

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EFFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA Y LA EDAD DE  
REBROTE SOBRE LA PRODUCCION Y ALGUNAS CARACTERISTICAS  
NUTRICIONALES DEL PASTO ESTRELLA AFRICANA  
(Cynodon nlemfuensis, Vanderyst var. nlemfuensis).

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa Conjunto  
de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la  
Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación  
y Enseñanza, para optar al grado de

**Magister Scientiae**

por

Milton Villarreal Castro

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA  
DEPARTAMENTO DE PRODUCCION ANIMAL

Turrialba, Costa Rica

1985

## DEDICATORIA

A mi esposa Lucía por todo lo que hemos  
compartido

A mi hijo José Andrés

A mis padres

## AGRADECIMIENTO

El autor desea dejar constancia de su reconocimiento y agradecimiento sincero:

Al Dr. Guillermo Gómez, Ph.D., consejero principal, por su compromiso en la continua supervisión de todas las etapas del trabajo, por las constantes sugerencias y enseñanzas, por su honradez científica y su amistad.

A los Drs. Rufo Bazán, Ph.D. y Carlos Chaves, Ph.D., por su particular interés en la participación como miembros del comité de tesis y por sus oportunas sugerencias y comentarios.

A la Dra. María L. Kass, Ph.D., Ing. Víctor Mares, M.Sc. y Dr. Matthew O'Callaghan, Ph.D., miembros del comité por sus atenta disposición cuando les fue solicitado, por sus consideraciones, valiosas observaciones y comentarios, por los conocimientos adquiridos a través de ellos en la estadía en el CATIE como estudiante graduado.

Al CATIE, por la oportunidad de contarme entre sus estudiantes.

Al Gobierno de Holanda, por el financiamiento de mis estudios de posgrado.

A mi esposa Lucía, por su incommensurable paciencia, colaboración, consideración y apoyo.

A mis padres, por su incondicional apoyo.

A Berta, Carmen, Guiselle, Lorena, Marlene, Mirna, Norma, Frank, Erick, Carlitos y Miguel, por su colaboración y amistad.

Un reconocimiento especial a la señorita Maricela Chaves, por su sincera amistad, por su interés y preocupada labor mecanográfica, por su siempre gentil ayuda.

## BIOGRAFIA

El autor nació en San José, Costa Rica. Concluyó sus estudios secundarios en 1975 en el colegio Luis Dobles Segreda. Ingresó a la Universidad de Costa Rica en 1976 donde realizó estudios en la Escuela de Zootecnia, Facultad de Agronomía. Se graduó como Ingeniero Agrónomo en noviembre de 1981.

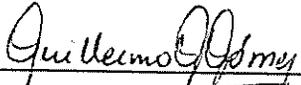
Trabajó como parte del personal docente de la Escuela de Zootecnia de febrero de 1981 a febrero de 1982, y además participó durante ese período en las acciones de esa unidad académica en la finca experimental de Río Frío.

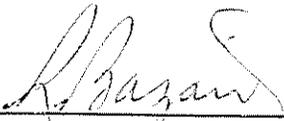
En marzo de 1983 ingresó como estudiante graduado al Programa de Producción Animal del Sistema de Estudios de Posgrado UCR/CATIE; finalizó sus estudios en 1985 para obtener el grado de Magister Scientiae en el mismo año.

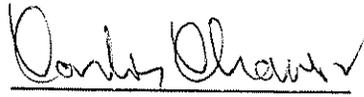
Esta tesis ha sido aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agrónomico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito parcial para optar el grado de

## Magister Scientiae

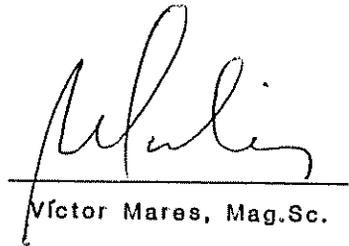
JURADO:

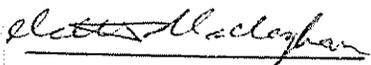
  
\_\_\_\_\_  
Guillermo Gómez, Ph.D. Profesor Consejero

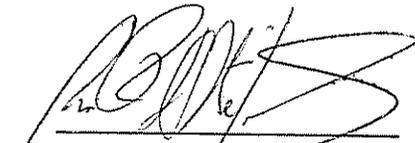
  
\_\_\_\_\_  
Rufo Bazán, Ph.D. Miembro del Comité

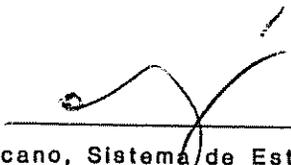
  
\_\_\_\_\_  
Carlos Chaves, Ph.D. Miembro del Comité

  
\_\_\_\_\_  
María L. Kass, Ph.D. Miembro del Comité

  
\_\_\_\_\_  
Víctor Mares, Mag.Sc. Miembro del Comité

  
\_\_\_\_\_  
Matthew O'Callaghan, Ph.D. Miembro del Comité

  
\_\_\_\_\_  
Director, Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales (UCR-CATIE)

  
\_\_\_\_\_  
Decano, Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica

  
\_\_\_\_\_  
Milton Villarreal Castro Candidato

## INDICE

	Página
RESUMEN .....	viii
SUMMARY .....	x
Lista de Cuadros .....	xii
Lista de Figuras .....	xv
1. INTRODUCCION .....	1
2. REVISION DE LITERATURA .....	3
2.1 Producción de materia seca .....	3
2.1.1 Efecto del nivel de la fertilización nitrogenada ...	3
2.1.2 Efecto de la frecuencia de corte .....	4
2.2 Efecto del nivel de la fertilización nitrogenada y de la edad de rebrote sobre el contenido de materia seca .....	6
2.3 Efecto del nivel de la fertilización nitrogenada y de la edad de rebrote sobre la eficiencia en la utilización del nitrógeno .....	7
2.4 Efecto de la fertilización nitrogenada sobre algunas características nutricionales de los pastos .....	7
2.4.1 Contenido de proteína cruda y fracciones nitrogenadas .....	8
2.4.2 Digestibilidad de la materia seca y contenido de pared celular .....	10
2.5 Resumen de la revisión de literatura .....	14
3. MATERIALES Y METODOS .....	16
3.1 Ubicación del experimento .....	16
3.2 Tratamientos y diseño experimental .....	16

	Página
3.3 Muestreo y análisis químico de pastos .....	17
3.4 Desaparición ruminal de la materia seca <u>in situ</u> .....	20
3.5 Muestreo y análisis de suelos .....	22
3.6 Análisis de la información .....	22
4. RESULTADOS Y DISCUSION .....	25
4.1 Efecto de los tratamientos sobre la composición botánica ...	25
4.2 Efecto de los tratamientos sobre el contenido y la produc- ción de materia seca .....	28
4.3 Efecto de los tratamientos sobre la eficiencia en la utili- zación de nitrógeno .....	34
4.4 Efecto de los tratamientos sobre algunas características de la calidad nutricional del pasto Estrella .....	37
4.4.1 Contenido de proteína cruda y fraccionamiento de los componentes nitrogenados .....	37
4.4.2 Contenido de pared celular .....	44
4.4.3 Desaparición ruminal de la materia seca <u>in situ</u> .....	45
4.5 Efecto de la fertilización nitrogenada sobre algunas carac- terísticas del suelo .....	52
5. DISCUSION GENERAL .....	54
6. CONCLUSIONES .....	59
7. LITERATURA CITADA .....	61
8. APENDICE .....	68

## RESUMEN

Los efectos del nivel de fertilización nitrogenada (0, 250, 500 y 750 kg/ha/año), en la forma de nitrato de amonio, en combinación con dos edades de rebrote (3 y 4 semanas) fueron estudiados, a través de un período de 24 semanas, sobre una pastura en la cual el pasto Estrella africana (Cynodon nlemfuensis, var. nlemfuensis) era la especie dominante. La respuesta de la pastura a los tratamientos experimentales fue evaluada en términos del contenido y del rendimiento de la materia seca del pasto Estrella y de la vegetación total (pasto Estrella más otras especies) y de algunas características nutricionales (proteína cruda, fracciones nitrogenadas, pared celular y digestibilidad ruminal in situ) del pasto Estrella. Parámetros tales como los cambios en la composición botánica de la pastura, la eficiencia en la utilización del nitrógeno y algunas medidas de la fertilidad del suelo fueron también evaluadas.

Las mayores producciones de materia seca del pasto Estrella y de la vegetación total fueron obtenidas con los niveles de 500 y 750 kg de nitrógeno/ha/año, no encontrándose diferencia entre ambos niveles ( $P > 0.05$ ); estos rendimientos (promedios a través de 3 y 4 semanas de edad de rebrote) fueron de 1857 y 885 kg MS/ha/corte para la vegetación total y el pasto Estrella, respectivamente, y prácticamente triplicaron las producciones obtenidas en los tratamientos no fertilizados. Las producciones acumulativas (24 semanas) fueron de 12969 y 5942 kg MS/ha para la vegetación total y el pasto Estrella, respectivamente. La producción acumulativa de la vegetación total fue algo más del doble de la obtenida con el pasto Estrella, lo cual reflejó la relativa baja proporción del pasto Estrella en la pastura. La producción de materia seca por corte del pasto Estrella obtenida a 4 semanas de edad de rebrote fue superior ( $P < 0.05$ ) a la obtenida a 3 semanas (781 vs. 470 kg MS/ha, respectivamente); sin embargo, no existió efecto de la edad de rebrote en la producción acumulativa. El contenido de materia seca del pasto Estrella osciló en el ámbito de 23.6 a 28.3%; los menores valores estuvieron asociados con los niveles más altos de nitrógeno y con la menor edad de rebrote. La proporción inicial (46%) del pasto Estrella disminuyó progresivamente a través del período experimental, pero el descenso fue menos notorio para los niveles más altos de fertilización nitrogenada.

Incrementos en el nivel de fertilización nitrogenada resultaron en aumentos de los contenidos de nitrógeno total y en consecuencia de la proteína cruda ( $N \times 6.25$ ) en el pasto Estrella. El nitrógeno insoluble (en "buffer" borato-fosfato) fue la fracción cuantitativamente más importante (60-72% del nitrógeno total), pero su proporción disminuyó al aumentar el nivel de fertilización. El incremento del nitrógeno total estuvo constituido por aumentos en la proporción del nitrógeno soluble no proteico, pues el nitrógeno soluble proteico (proteína verdadera) fue prácticamente constante (4.5% del nitrógeno total) en todos los tratamientos. La menor edad de rebrote determinó mayores contenidos de nitrógeno total, principalmente de la fracción de nitrógeno insoluble.

El contenido de pared celular del pasto Estrella osciló entre 72.9 y 76.9%; los valores menores correspondieron a los niveles más altos de fertilización y a la menor edad de rebrote. Conforme aumentó el nivel de fertilización nitrogenada se obtuvo la más alta digestibilidad ruminal potencial de la materia seca del pasto Estrella (72.2 vs. 67.9% para los tratamientos con 750 y 0 kg de nitrógeno/ha/año, respectivamente); además, con el nivel más alto de fertilización se redujo el tiempo de digestibilidad ruminal media en aproximadamente 4 horas. A la edad de rebrote de 4 semanas la digestibilidad potencial de la materia seca (68.2%) fue menor que la obtenida con el pasto cosechado a 3 semanas (71.8%); el tiempo de digestibilidad ruminal media de la materia seca fue reducido en 1.5 horas con la edad de rebrote de 3 semanas respecto al cosechado cada 4 semanas. La tasa de aceleración de la digestibilidad ruminal no fue afectada por los tratamientos.

Debido al corto período experimental (24 semanas) no fue posible detectar los efectos de los tratamientos sobre las características químicas y de fertilidad del suelo.

## SUMMARY

The effects of the level of nitrogen fertilization (0, 250, 500 and 750 kg/ha/yr), as ammonium nitrate, in combination with two cutting frequencies (3 and 4 wk) on a pasture lot based on African Star grass (Cynodon nlemfuensis var. nlemfuensis) were studied throughout a 24-week period. The content and yield of dry matter of both the Star grass and the total herbage (Star grass plus the rest of the vegetation of the pasture lot) as well as some nutritional characteristics (crude protein, nitrogenous fraction, cell wall and digestibility in situ) of Star grass were evaluated. Parameters such as changes in the botanical composition of the pasture, the efficiency of nitrogen utilization and certain soil fertility characteristics were also assessed.

The highest dry matter yields of Star grass and the total biomass were obtained with 500 and 750 kg nitrogen/ha/yr; the yields by these two nitrogen levels were similar ( $P > 0.05$ ) and represented a three-fold increase as compared with the non-fertilized treatment. The average dry matter yield per cutting for the 500 and 750 kg nitrogen/ha/yr were 1857 and 885 kg/ha for the total herbage and the Star grass, respectively; the corresponding accumulated (24-week) dry matter yields were 12969 and 5942 kg/ha, which reflected the relative low proportion of the Star grass in the pasture lot. The overall dry matter yield production for the Star grass harvested every 4 wk was higher ( $P < 0.05$ ) than that of the 3 wk cutting frequency (781 vs. 470 kg/ha, respectively); however, no effect of the cutting frequency on the accumulated dry matter production was observed. The dry matter content in the Star grass was in the range from 23.6 to 28.3%; the lowest values were associated with the highest level of nitrogen fertilization and the shortest cutting frequency. The initial proportion (46%) of the Star grass in the pasture lot declined progressively throughout the experimental period, but this decline was less notable in the treatments with the highest levels of nitrogen fertilization.

Increasing the level of nitrogen fertilization resulted in increments of the total nitrogen content and consequently of the crude protein (N x 6.25) content of the Star grass. The insoluble (in borate-phosphate buffer) nitrogen was quantitatively the most important fraction (60-72% of the total nitrogen), but its proportion declined as the level of nitrogen fertilization increased.

The increase in total nitrogen was accounted for by the increments in the soluble non-protein nitrogen fraction, since the soluble protein (true protein) fraction was unaffected by the experimental treatments (~ 4.5% of total nitrogen). The shortest cutting frequency resulted in the highest total nitrogen content, mainly of the insoluble nitrogen fraction.

The cell wall content in the Star grass was in the range from 72.9 to 76.9%; the lowest values corresponded to the highest nitrogen fertilization level and the shortest cutting frequency. As the level of nitrogen fertilization was incremented the potential ruminal digestibility or disappearance of the Star grass dry matter improved (72.2 vs. 67.9% for 750 and 0 kg nitrogen/ha/yr, respectively); furthermore, the half-time of ruminal digestibility with the highest nitrogen fertilization level was reduced in approximately 4 h. The potential digestibility of the Star grass dry matter when harvested every 4 wk was lower (68.2 vs. 71.8%) than that found with the 3 wk cutting frequency; the half-time of ruminal digestibility of the latter was reduced in 1.5 h when compared to the former. The rate of dry matter disappearance in the rumen was not affected by the experimental treatments.

Due to the short duration (24 weeks) of the experimental period, no effect of the treatments on some chemical and fertility characteristics of the soil was noted.

LISTA DE CUADROS

<u>En el Texto</u>		Página
1	Contenido de materia seca (MS) en la vegetación total y en el pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada .....	28
2	Producción de materia seca (MS) de la vegetación total y del pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada .....	31
3	Producción acumulativa de materia seca (MS) de la vegetación total y del pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada .....	34
4	Rendimiento de materia seca (MS) por kilogramo de nitrógeno aplicado en la vegetación total y en el pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada .....	36
5	Proporción de las fracciones nitrogenadas en el pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada .....	42
6	Desaparición (%) ruminal de la materia seca <u>in situ</u> de las muestras de pasto Estrella .....	46
7	Parámetros de desaparición ruminal de la materia seca <u>in situ</u> del pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada .....	47
8	Parámetros de desaparición ruminal de la materia seca <u>in situ</u> del pasto Estrella según la edad de rebrote .....	48
9	Características químicas y de fertilidad del suelo al inicio y finalización del período experimental ..	53
 <u>En el Apéndice</u>		
1A	ANDEVA para la composición botánica: proporción de pasto Estrella en base fresca .....	69
2A	ANDEVA para el contenido de materia seca en la vegetación total .....	69
3A	ANDEVA para el contenido de materia seca en el pasto Estrella .....	70

4A	ANDEVA para la producción de materia seca de la vegetación total .....	70
5A	ANDEVA para la producción de materia seca del pasto Estrella .....	70
6A	ANDEVA para la producción de materia seca acumulativa de la vegetación total .....	71
7A	ANDEVA para la producción de materia seca acumulativa del pasto Estrella .....	71
8A	ANDEVA para la eficiencia en la utilización del nitrógeno aplicado por la vegetación total .....	71
9A	ANDEVA para la eficiencia en la utilización del nitrógeno aplicado por el pasto Estrella .....	72
10A	ANDEVA para la recuperación de nitrógeno aplicado en el pasto Estrella cosechado .....	72
11A	ANDEVA para el contenido de proteína cruda en el pasto Estrella .....	72
12A	Contenido de las fracciones nitrogenadas en el pasto Estrella fertilizado y cortado a una edad de rebrote de 3 semanas, a través del período experimental ....	73
13A	Contenido de las fracciones nitrogenadas en el pasto Estrella fertilizado y cortado a una edad de rebrote de 4 semanas, a través del período experimental ....	74
14A	ANDEVA para el contenido de nitrógeno total en el pasto Estrella .....	75
15A	ANDEVA para el contenido de nitrógeno insoluble en el pasto Estrella .....	75
16A	ANDEVA para el contenido de nitrógeno soluble en el pasto Estrella .....	75
17A	ANDEVA para el contenido de nitrógeno proteico soluble en el pasto Estrella .....	76
18A	ANDEVA para el contenido de nitrógeno no-proteico soluble en el pasto Estrella .....	76
19A	ANDEVA para la proporción de nitrógeno insoluble en el pasto Estrella .....	76

20A	ANDEVA para la proporción de nitrógeno soluble en el pasto Estrella .....	77
21A	ANDEVA para la proporción de nitrógeno proteico soluble en el pasto Estrella .....	77
22A	ANDEVA para la proporción de nitrógeno no-proteico soluble en el pasto Estrella .....	77
23A	Correlaciones del contenido de proteína cruda con los contenidos y proporciones de las fracciones <u>ni</u> trogenadas.....	78
24A	ANDEVA para el contenido de pared celular del pasto Estrella .....	78
25A	Parámetros de regresión que definieron la desaparición (digestibilidad) de la materia seca del pasto Estrella a nivel ruminal en función al tiempo de incubación .....	79
26A	ANDEVA para la digestibilidad potencial de la materia seca del pasto Estrella .....	80
27A	ANDEVA para la digestibilidad inicial de la materia seca del pasto Estrella .....	80
28A	ANDEVA para la tasa de aceleración de la digestibilidad ruminal de la materia seca del pasto Estrella .....	81
29A	ANDEVA para el tiempo de digestibilidad ruminal <u>me</u> dia de la materia seca del pasto Estrella .....	81

## LISTA DE FIGURAS

<u>En el Texto</u>	Página
1	Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la proporción del pasto Estrella ..... 26
2	Contenido de materia seca (MS) de la vegetación total y del pasto Estrella a través del tiempo y según la edad de rebrote, y su relación con la precipitación durante el período experimental ..... 30
3	Producción de materia seca (MS) de la vegetación total y del pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada y la edad de rebrote ..... 32
4	Producción acumulativa de materia seca (MS) de la vegetación total y del pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada y la edad de rebrote ..... 35
5	Contenido de proteína cruda (PC) en el pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada y la edad de rebrote ..... 39
6	Nitrógeno (N) total y fracciones nitrogenadas en el pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada ..... 40
7	Correlaciones entre el contenido de proteína cruda (PC) y los contenidos de las fracciones nitrogenadas en el pasto Estrella ..... 43
8	Desaparición acumulativa de la materia seca (MS) del pasto Estrella a nivel ruminal, según el nivel de fertilización nitrogenada ..... 49
9	Desaparición acumulativa de la materia seca (MS) del pasto Estrella a nivel ruminal, según la edad de rebrote ..... 50

## 1. INTRODUCCION

La producción bovina en el trópico se basa en el uso extensivo de praderas o pasturas naturalizadas. Una de las formas de incrementar la producción animal es a través del mejoramiento del rendimiento y de la calidad de los pastos; factores de manejo tales como la fertilización nitrogenada y el período de descanso o intervalo entre cortes afectan en forma determinante la producción de la pradera. Los estudios de estos factores sobre la calidad nutricional de las gramíneas, las cuales son componentes principales de las pasturas, adquieren especial relevancia al intensificarse la producción animal en el trópico.

Los estudios sobre la calidad nutricional de los forrajes incluyen parámetros cuya determinación involucra técnicas costosas o laboriosas; por esta razón, la mayoría de las investigaciones realizadas principalmente con pastos del trópico se limitan solo a los contenidos de proteína cruda, digestibilidad in vitro, composición mineral, y en menor grado a los contenidos y caracterización de la fracción fibrosa, como únicos índices del valor nutricional de los pastos.

El desarrollo de nuevas técnicas de laboratorio y métodos químicos, así como las modificaciones y simplificaciones de los métodos biológicos, permiten ampliar y mejorar el conocimiento acerca de ciertos cambios en la calidad del pasto producido bajo sistemas intensivos. La técnica del fraccionamiento de los componentes nitrogenados por solubilidad en el "buffer" borato-fosfato y el método de desaparición ruminal de la materia seca in situ han sido empleados en esta investigación para la evaluación de los tratamientos experimentales sobre la calidad nutritiva del pasto Estrella africana (Cynodon nlemfuensis, Vanderyst var. nlemfuensis).

El pasto Estrella es una de las gramíneas más utilizadas en los sistemas intensivos de producción; se encuentra ampliamente difundida en las zonas bajas del trópico húmedo en Costa Rica donde se ha caracterizado por su agresividad, alto rendimiento, calidad nutricional aceptable y buena respuesta a la fertilización nitrogenada.

El presente trabajo fue realizado para complementar y ampliar la información en relación a los efectos de la fertilización nitrogenada (0, 250, 500 y 750 kg de nitrógeno/ha/año) y de la edad de rebrote (3 y 4 semanas) sobre la producción de una pradera donde el pasto Estrella fue la especie dominante y sobre algunas características nutricionales de este pasto.

## 2. REVISION DE LITERATURA

La revisión de literatura versará sobre los niveles de fertilización nitrogenada y las frecuencias de corte ensayadas con pastos tropicales, especialmente con pasto Estrella, y sobre los efectos que estos factores ejercen tanto en la productividad como en la calidad nutricional de las gramíneas fertilizadas.

### 2.1 Producción de materia seca

#### 2.2.1 Efecto del nivel de la fertilización nitrogenada

El nitrógeno es uno de los elementos generalmente deficientes (Hutton, 1978) en la mayoría de los suelos del trópico y por lo tanto es considerado como una de las más serias limitantes del rendimiento potencial de las pasturas de la región tropical (Sánchez, 1972; 1981; Vicente-Chandler et al., 1983). Por esta razón, numerosos ensayos en diferentes latitudes y tipos de suelo han sido realizados demostrando resultados favorables de la fertilización nitrogenada, a través de diferentes especies forrajeras.

Los estudios de la fertilización con niveles crecientes de nitrógeno sobre el rendimiento de la materia seca de pastos de los géneros *Cynodon*, *Digitaria*, *Brachiaria* y *Panicum* han mostrado una respuesta lineal hasta el nivel del 400 ó 500 kg de nitrógeno/ha/año; con niveles más altos las tasas de incremento de la producción forrajera fueron menores (Vicente-Chandler et al., 1959 a, b; 1961; 1972; Herrero, Lotero y Crowder, 1967; Caro-Costas, Abruña y Figarella, 1972; Vélez-Santiago y Arroyo-Aguilú, 1983). La recopilación y análisis de los resultados obtenidos en 84 experimentos de fertilización nitrogenada en diferentes ecosistemas ratifican este tipo de respuesta con la mayoría de los pastos evaluados (Sparrow, 1979). En términos generales, se ha demostrado que a nivel de 440 kg nitrógeno/ha/año se triplica la producción de materia seca del pasto Estrella alcanzando valores superiores a 30 toneladas métricas (t) de materia seca/ha/año (Vicente-Chandler et al., 1983). En evaluaciones con las especies *Cynodon nlemfuensis*, *Digitaria decumbens* y

Hemarthria altissima se ha logrado incrementar las producciones de 24.9 a 36.8 t de materia seca/ha/año al aumentar el nivel de nitrógeno de 224 a 896 kg/ha/año (Vélez-Santiago y Arroyo-Aguilú, 1983).

En otros ensayos, los pastos Napier (Pennisetum purpureum) y Estrella fueron los que mejor respondieron a las aplicaciones de nitrógeno hasta un nivel de 440 kg/ha/año, pero el pasto Estrella mostró una respuesta a un ritmo mucho menor que el pasto Napier cuando el nivel de fertilización se aumentó hasta 880 kg/ha/año (Vicente-Chandler et al., 1983). En todos los casos, la producción de pasto por kilogramo de nitrógeno aplicado disminuyó progresivamente a medida que el nivel de nitrógeno aumentó. Para el pasto Estrella y otros pastos tropicales se han reportado valores de 50, 30 y 12 kg de materia seca/kg de nitrógeno aplicado conforme el nivel de fertilización nitrogenada aumentó a 220, 440 y 880 kg/ha, respectivamente (Vicente-Chandler et al., 1983).

En las condiciones de Turrialba, la fertilización nitrogenada en la forma de nitrato de amonio ha mostrado un claro efecto sobre la producción y tasa de crecimiento del pasto Estrella (Zañartu, 1975; Lemus, 1977). Por otra parte, los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la producción del pasto Estrella han sido el resultado de las interacciones del nitrógeno aplicado con otros factores tales como el período de descanso y presión de pastoreo (Ramírez, 1974); la frecuencia de aplicación del nitrógeno y la frecuencia y altura de corte (Ricardo, 1973); y la frecuencia de pastoreo (Carrillo, 1974).

#### 2.1.2 Efecto de la frecuencia de corte

La frecuencia de corte o de pastoreo también afecta el rendimiento de los pastos. Vicente-Chandler et al. (1972) han reportado que aunque el pasto Congo (Brachiaria ruziziensis) responde positivamente en producción con niveles crecientes de nitrógeno, independiente del intervalo entre cortes, una mayor producción de forraje por kilogramo de nitrógeno aplicado se obtuvo conforme se aumentaba el intervalo entre cortes. La producción de materia seca se logró incrementar alrededor de un 100% al pasar de 30 a 90 días de intervalo entre cortes cuando los niveles de nitrógeno aplicado estuvieron entre 220 y 440 kg/ha/año; con niveles superiores de nitrógeno (660 y 880 kg/ha/

año) los incrementos en el rendimiento de la materia seca fueron del orden del 56% en promedio al variar la edad de corte de 30 a 90 días (Vicente-Chandler et al., 1972). Incrementos superiores al 100% del rendimiento de materia seca al pasar de 40 a 90 días de intervalo entre cortes han sido también experimentados usando niveles de nitrógeno hasta 880 kg/ha/año en otras gramíneas forrajeras (Vicente-Chandler et al., 1983). Repuestas similares de los diferentes intervalos entre cortes han sido publicados en otros pastos de zonas tropicales (Sotomayor-Ríos et al., 1976; Ramos, Herrera y Curbelo, 1982), así como en pastos de regiones templadas (Prine y Burton, 1956; Monson y Burton, 1982).

Aunque la producción de materia seca de los pastos fertilizados aumenta conforme se incrementa el intervalo entre cortes, el valor nutricional tiende a disminuir cuando se aumenta dicho intervalo. Por lo tanto, varias investigaciones han sido realizadas para determinar la frecuencia de corte óptima. Trabajos realizados en Puerto Rico sugieren como óptima la frecuencia de corte de 45 días (Vélez-Santiago y Arroyo-Aguilú, 1983) para el pasto Estrella; sin embargo, el intervalo óptimo entre cortes dependerá de las condiciones climáticas y de la especie forrajera considerada (Ducca, 1984).

Investigaciones realizadas en Turrialba (Ricardo, 1973) han mostrado que durante los meses de mayor precipitación pluvial la frecuencia de corte fue la variable que más influyó en la producción de materia seca y además estuvo asociada con la frecuencia de aplicación del fertilizante. El mayor rendimiento del pasto se obtuvo con una frecuencia de corte de 30 días cuando la frecuencia de aplicación de nitrógeno fue igualmente espaciada (Ricardo, 1973). Cuando el período de evaluación incluyó los meses de menor precipitación (Carrillo, 1974), las mayores producciones de materia seca y las mayores tasas de crecimiento del pasto Estrella ocurrieron con una frecuencia de pastoreo de 14 días. Otras investigaciones en Turrialba a través de prácticamente un año sugieren un período de descanso óptimo de 21 días (Ramírez, 1974). Estos resultados sobre los efectos de la frecuencia de corte son poco consistentes debido principalmente a las múltiples interacciones con los otros factores estudiados y dificultan la interpretación real de los efectos simples y sus implicaciones sobre el manejo de las pasturas.

## 2.2 Efecto del nivel de la fertilización nitrogenada y de la edad de rebrote sobre el contenido de materia seca

En vista de que los rendimientos y concentración de nutrimentos en los pastos son normalmente expresados en base al contenido de materia seca, es importante considerar los efectos de la fertilización nitrogenada y las frecuencias de corte sobre este parámetro. Sin embargo, el contenido de materia seca de los pastos fertilizados depende también de factores ecológicos (principalmente precipitación y temperatura) así como de la especie misma.

En general, el contenido de materia seca de los pastos, a un mismo nivel de fertilización nitrogenada, aumenta conforme el intervalo entre cortes incrementa (Vicente-Chandler et al., 1961; 1983). Por otra parte, a una misma frecuencia de corte el contenido de materia seca de los pastos disminuye conforme se incrementa el nivel de fertilización nitrogenada; este efecto ha sido reportado para varias especies de pastos de zonas tropicales (Caro-Costas, Abruña y Figarella, 1972; Ramos, Herrera y Curbelo, 1982; Vicente-Chandler et al., 1983).

Las diferencias en el contenido de materia seca de seis especies de pastos de áreas tropicales evaluadas a un mismo intervalo de corte (60 días) y con tres niveles de fertilización nitrogenada (0, 440 y 880 kg/ha/año) han sido bastante notorias (Vicente-Chandler et al., 1983). Los pastos Napier o Elefante y Estrella mostraron los menores y mayores contenidos de materia seca, respectivamente, del orden de 16.6, 16.8 y 16.9% y de 31.2, 28.2 y 27.9% para los niveles de fertilización de 0, 440 y 880 kg de nitrógeno/ha/año, respectivamente (Vicente-Chandler et al., 1983); las otras especies forrajeras evaluadas mostraron contenidos de materia seca en el ámbito de 20 a 25%. En estudios con pasto Estrella, al variar la edad de rebrote de 4 a 6 semanas se produjo un incremento de 24 a 28% de materia seca cuando el pasto recibió 400 kg de nitrógeno/ha/año, y de 30 a 34% cuando el pasto no fue fertilizado (Ramos, Herrera y Curbelo, 1982).

### 2.3 Efecto del nivel de la fertilización nitrogenada y de la edad de rebrote sobre la eficiencia en la utilización del nitrógeno

La eficiencia en la utilización del nitrógeno por la planta o el pasto es un parámetro a menudo estudiado cuando se evalúan diferentes sistemas de manejo de praderas. Los niveles altos de fertilización nitrogenada han demostrado ser poco eficientes en la utilización del elemento ya sea expresado como el porcentaje de nitrógeno recuperado respecto al aplicado o como el rendimiento de materia seca del forraje por unidad de nitrógeno aplicado (Vicente-Chandler et al., 1964). En una investigación conducida sobre pasto Pangola (*Digitaria decumbens*) (Herrera, Lotero y Crowder, 1967) se encontró que la mayor eficiencia en la utilización del nitrógeno, expresada como producción de forraje y de proteína por kilogramo de nitrógeno (en forma de úrea) aplicado, ocurrió con el nivel de 100 kg/ha/año, con un valor de 49.9 kg de materia seca/kg de nitrógeno, equivalente a 4.6 kg de proteína cruda/ kg de nitrógeno.

Otros investigadores (Caro-Costas, Abruña y Figarella, 1972) han concluido que el nivel de fertilización nitrogenada e intervalo de cosecha no afectan significativamente el porcentaje de nitrógeno recuperado en el pasto Estrella; un valor promedio de 39.5% de nitrógeno recuperado en el pasto fue encontrado para tratamientos con niveles de fertilización de 220 a 880 kg de nitrógeno/ha/año e intervalos de cosecha de 30 a 90 días. La ausencia del efecto de la frecuencia de corte ha sido también observada en experimentos en zonas templadas (Prine y Burton, 1956), aunque en este caso las mayores aplicaciones de nitrógeno estuvieron asociadas con bajos porcentajes de recuperación.

### 2.4 Efecto de la fertilización nitrogenada sobre algunas características nutricionales de los pastos

Los ensayos de fertilización de pasturas complementados con evaluaciones usando animales en pastoreo son reconocidos como los métodos más confiables para medir los efectos de los tratamientos experimentales sobre la calidad nutricional de los pastos. Sin embargo, este tipo de ensayos prácticos son costosos, requieren de un largo plazo y deben limitarse a un reducido número de factores. Por estas razones, la mayoría de los estudios de fertilización de pasturas

tropicales se han desarrollado utilizando métodos de evaluación indirectos basados sobre principios de nutrición bien establecidos, complementándose con técnicas de laboratorio y evaluaciones con animales estabulados (Minson, 1971).

Debido a que la fertilización nitrogenada tiende a reflejarse en un aumento en el contenido de nitrógeno en los pastos (Simpson y Stobbs, 1981), el mayor énfasis de los efectos de la fertilización sobre la calidad nutricional de las pasturas se ha concentrado principalmente en el contenido de proteína cruda ( $N \times 6.25$ ). También se han evaluado otros componentes de la calidad nutricional en los pastos fertilizados tales como la digestibilidad in vitro y la concentración de algunos elementos minerales, y en menor grado el contenido de pared celular.

#### 2.4.1 Contenido de proteína cruda y fracciones nitrogenadas

Cuando el contenido de proteína cruda en los pastos es menor del 6 al 8%, el consumo del forraje por los animales disminuye como consecuencia de una deficiencia proteica (Minson, 1981). Generalmente, las gramíneas forrajeras de las regiones tropicales tienen menor contenido de proteína que las gramíneas forrajeras de climas templados. Más aún, la distribución de frecuencias para la proteína cruda en los pastos muestra que el 22% de todas las observaciones en gramíneas forrajeras tropicales, en comparación con solo el 6% de las observaciones en gramíneas forrajeras de climas templados, presentaron contenidos de proteína menores que el 6% (Minson, 1981).

Por lo expuesto, las pasturas de gramíneas de las regiones tropicales mostrarían una tendencia a ser limitantes en su aporte de proteína. Las tres formas principales para superar esta probable deficiencia proteica son: la aplicación de fertilizante nitrogenado a las praderas, la introducción o incorporación de leguminosas forrajeras y la alimentación suplementaria al animal con compuestos o alimentos nitrogenados o proteicos (Minson, 1971). Debido a la poca o limitada factibilidad de aplicación práctica de las últimas dos soluciones en condiciones del trópico, la aplicación y efectividad de la fertilización nitrogenada en las pasturas de gramíneas forrajeras del trópico ha recibido mayor atención y ha sido ampliamente estudiada.

Un efecto generalizado de la fertilización es el incremento del contenido de proteína cruda en las pasturas fertilizadas; sin embargo, las respuestas han sido variables dependiendo en parte de las condiciones experimentales empleadas. En condiciones de Puerto Rico, y con un intervalo de corte de 60 días, la mayoría de las forrajeras estudiadas mostraron niveles de proteína cruda entre 6 y 7% cuando no eran abonadas con nitrógeno y todas respondieron favorablemente cuando los niveles de fertilización fueron del orden de 440 o más kg de nitrógeno/ha/año; a nivel de 880 kg de nitrógeno/ha/año el ámbito de proteína cruda fue entre 9 y 11% para un total de 7 gramíneas forrajeras (Vicente-Chandler et al., 1983). La aplicación de 800 kg de nitrógeno/ha/año a suelos con pasto Pangola bajo diferentes intervalos o frecuencias de cortes resultó en contenidos de 14.3% de proteína cruda comparado con el nivel de 9.2% cuando la pastura recibió 100 kg de nitrógeno/ha/año (Herrera, Lotero y Crowder, 1967).

Además del nivel de fertilización nitrogenada, el intervalo o frecuencia de corte afecta considerablemente el contenido de proteína cruda de los pastos. Disminuciones de 14 a 7.3% de proteína cruda se han reportado en el pasto Estrella en suelos no fertilizados al incrementar el intervalo entre cortes de 30 a 90 días, y de 17 a 10% de proteína cruda cuando se fertilizó (880 kg de nitrógeno/ha/año) (Caro-Costas, Abruña y Figarella, 1972). Resultados mostrando tendencias similares han sido publicados en 19 pastos tropicales en Puerto Rico (Sotomayor et al., 1976), con varios cultivares de Bermuda (Cynodon dactylon) en los Estados Unidos de Norteamérica (Prine y Burton, 1956; Monson y Burton, 1982) y con pasto Estrella en Turrialba (Ricardo, 1973; Carrillo, 1974). El pasto Estrella ha sido una de las gramíneas forrajeras que ha mostrado respuesta notable a la fertilización nitrogenada en términos de los contenidos de proteína cruda alcanzados, especialmente en Puerto Rico (Vicente-Chandler et al., 1983), pero las respuestas han sido menos notorias en las investigaciones realizadas en Turrialba (Ramírez, 1974; Zañartu, 1975; Lemus, 1977).

La evaluación de la proteína cruda en pasturas fertilizadas se ha basado en la determinación del contenido de nitrógeno total. Investigaciones recientes han demostrado la importancia de algunas características de las fracciones nitrogenadas que pueden afectar la eficiencia de utilización de la proteína

o del nitrógeno de los alimentos por parte de los rumiantes. La solubilidad o insolubilidad del nitrógeno en el rumen es uno de los factores importantes que afectan su utilización (Waldo y Goering, 1979).

La medida de la solubilidad de la proteína ha sido considerada como una alternativa a los métodos de evaluación in vivo usados para el estudio de la degradación proteica a nivel ruminal (Ørskov y Mc Donald, 1979; Stern y Satter, 1984). Diferentes métodos usando líquido o fluido ruminal o diferentes soluciones "buffer" han sido recientemente investigados y empleados especialmente para la evaluación de alimentos proteicos (Wohlt, Sniffen y Hoover, 1973; Crooker et al., 1978; Waldo y Goering, 1979; Krishnamoorthy et al., 1982).

De acuerdo a la solubilidad del nitrógeno en una solución "buffer" de borato-fosfato (Krishnamoorthy et al., 1982), el contenido de nitrógeno total de los alimentos puede ser dividido en tres fracciones: nitrógeno soluble proteico y no proteico, y nitrógeno insoluble (Pichard y Van Soest, 1977). Las proporciones de estas fracciones pueden afectar la utilización del nitrógeno del pasto por los rumiantes. En general, el contenido de nitrógeno proteico soluble en los pastos es bastante limitado (Pichard y Van Soest, 1977).

Con excepción de un trabajo sobre fertilización nitrogenada en pasto Ryegrass (Lolium sp.) en el cual se hizo un fraccionamiento de los compuestos nitrogenados a través de una extracción con solución de etanol al 80% (Goswami y Willcox, 1969), no hay reportes en la literatura sobre los efectos de diferentes tratamientos de manejo (fertilización e intervalo de corte) sobre las fracciones nitrogenadas de los pastos.

#### 2.4.2 Digestibilidad de la materia seca y contenido de pared celular

La calidad nutritiva de los pastos o forrajes está asociada con los cambios fisiológicos y morfológicos de las plantas los cuales se reflejan en su composición química; al aumentar la edad de la planta se obtienen incrementos en la producción de materia seca, pero paralelamente conforme la planta madura hacia los estadios reproductivos y la senescencia, el contenido de los componentes estructurales, especialmente celulosa y lignina se va incremen-

tando cada vez más (Blaser, 1964). Estos cambios provocan aumentos en la fracción fibrosa del pasto, en consecuencia la digestibilidad disminuye progresivamente conforme avanza la edad de la planta (Minson, 1971).

Existen varias técnicas para estimar la digestibilidad de los pastos tales como la proporción hoja:tallo, composición química y métodos in vitro especialmente a través de la fermentación con las bacterias del rumen (Minson, 1971). Los cambios morfológicos a través de la edad de la planta fueron estudiados en 6 gramíneas sometidas a una fertilización de 3 t con un fertilizante de fórmula 15-5-10 por hectárea y por año durante un período de dos años en Puerto Rico (Vicente-Chandler et al., 1983), usando además tres intervalos de corte (40, 60 y 90 días). Los resultados indicaron que la proporción hoja:tallo fue variable entre las especies estudiadas; en los pastos Napier o Elefante y Guinea, la disminución de la proporción hoja:tallo conforme se ampliaba el intervalo entre corte fue notoria pero en otros pastos (Pará, Pangola, Estrella y Congo) la proporción de hojas permaneció casi constante; sin embargo, en todos los casos se observó un claro y notorio incremento del contenido de lignina conforme se alargaba el intervalo entre cortes (Vicente-Chandler et al., 1983).

Se ha reconocido también la existencia de grandes diferencias estructurales entre hojas y tallos especialmente en pastos tropicales (Minson, 1981), así como en su digestibilidad (Van Soest, 1982) lo cual se debe posiblemente a las características funcionales de ambas partes de la planta (Hacker y Minson, 1981). También se han reportado cambios morfológicos en el pasto por efecto de la frecuencia de corte y de la fertilización nitrogenada (Prine y Burton, 1956); se encontró que incrementos en el intervalo de corte o en el nivel de nitrógeno disminuían el porcentaje de hojas en el pasto Cynodon dactylon.

Entre los métodos químicos comúnmente usados para predecir la digestibilidad de los pastos, las determinaciones de fibra cruda, fibra detergente-ácido y lignina han mostrado errores de predicción relativamente altos comparados con la evaluación de la digestibilidad in vitro (Minson, 1971). Esta es una de las razones por la cual los cambios en el contenido de fibra total o contenido de pared celular han sido menos estudiados en las evaluaciones de la calidad nutricional de los pastos. Sin embargo, basados en los datos experi-

mentales anteriormente expuestos, se podría suponer que factores de manejo tales como fertilización nitrogenada y edades de corte del pasto afectarían los contenidos de fibra y en consecuencia la digestibilidad de la materia seca.

Algunos trabajos no han encontrado efectos de la fertilización nitrogenada, de la edad de la planta, ni de sus interacciones sobre la fracción fibra detergente-ácido (Herrera, 1977), ni fibra detergente-neutro o pared celular (Ramírez, 1974); sin embargo, otras investigaciones (Vicente-Chandler *et al.*, 1983), reportan que incrementos en los niveles de fertilización nitrogenada (0, 440 y 880 kg/ha/año) a una misma frecuencia de corte (60 días) se reflejaron en un aumento en el contenido de lignina en tres especies forrajeras (Napier, Guinea y Malojillo).

La digestibilidad in vitro ha demostrado ser un método de laboratorio más confiable y con un error de predicción bajo por lo cual ha sido ampliamente utilizada en las evaluaciones sobre la calidad nutricional de los forrajes. Las evaluaciones de factores de manejo sobre este parámetro han indicado que la edad del pasto pareciera ser el elemento determinante (Blaser, 1964); así, utilizando el método de digestibilidad in vitro de Tilley y Terry modificado (Goering y Van Soest, 1970), se ha reportado que con mayores intervalos entre cortes disminuyó la digestibilidad, desde 70 hasta 51% para 30 y 90 días de edad de la planta, respectivamente (Vicente-Chandler *et al.*, 1983). Utilizando el método de dos fases (Tilley y Terry, 1963), Carrillo (1974) no encontró efecto de la frecuencia de pastoreo sobre la digestibilidad in vitro de la materia seca al evaluar seis gramíneas tropicales; los valores oscilaron entre 53.2, 58.4 y 55.4% para las frecuencias de pastoreo de 14, 28 y 42 días, respectivamente. Variaciones entre 52.5 y 46.1% de digestibilidad in vitro de la materia orgánica fueron reportados en el pasto Estrella cuando el período de descanso osciló entre 7 y 35 días (Ramírez, 1974).

Al estudiar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la digestibilidad de las gramíneas (Carrillo, 1974) se observó que únicamente existió diferencia entre los tratamientos no fertilizados versus los fertilizados (250, 500 y 1000 kg de nitrógeno/ha/año), con valores de 36.7 y 56.4% de digestibilidad in vitro, respectivamente. Otros trabajos con pasto Estrella no han

encontrado efectos simples de la fertilización nitrogenada sobre la digestibilidad in vitro de la materia seca (Lemus, 1977) o de la materia orgánica (Ramírez, 1974). Los resultados en la literatura de la digestibilidad de los pastos como consecuencias de la fertilización nitrogenada parecieran no ser consistentes; al respecto, una amplia revisión (Hacker y Minson, 1981) señala que tales efectos son pequeños y variables en dirección y que son los factores climáticos y la madurez de la planta los que principalmente afectan este parámetro; se ha argumentado además que la fertilización nitrogenada per se, generalmente no mejora el valor energético de los pastos (Blaser, 1964).

Una alternativa a la técnica in vitro para medir la digestibilidad de los forrajes es la técnica de la desaparición ruminal de la materia seca in situ o in sacco, como también ha sido denominada. Sus ventajas en cuanto a menor costo y laboriosidad (Weakley, Stern y Satter, 1983) así como la posibilidad no solo de medir la degradabilidad potencial sino también de dar un rápido estimado de la tasa y grado de degradación o velocidad con la cual los procesos fermentativos proceden dentro del rumen (Ørskov, DeB Hovell y Mould, 1980; Mehrez, Ørskov y Mc Donald, 1977; Mehrez y Ørskov, 1977) han determinado su aceptación y uso en investigaciones que estudian los procesos de degradación de los alimentos a nivel ruminal y sus implicaciones sobre el consumo.

La técnica de la desaparición in situ de la materia seca ha sido utilizada principalmente en el estudio del valor nutricional de alimentos energéticos y proteicos (Deville, Figon, Emmanuel, 1980; Mapoon, 1980; Espinoza, 1984), en estudios de algunos pastos de zonas templadas (Bailey, 1962; Neathery, 1972) y otros forrajes de zonas tropicales (Ørskov, DeB Hovell, 1978) o bien, en estudios sobre la utilización de fuentes proteicas (Roldán, 1981) y fibrosas (Medina, 1980; San Martín, 1980; Pérez, 1983) en función de la suplementación energética en la dieta.

En la literatura consultada no se han encontrado resultados acerca del uso de la técnica de la bolsa de dacrón para estimar la degradabilidad de los pastos tropicales manejados bajo diferentes sistemas; se desconoce por lo tanto los efectos que puedan tener los factores tales como la fertilización nitrogenada y la edad de rebrote del pasto sobre la tasa y grado de digestión a nivel ruminal.

## 2.5 Resumen de la revisión de literatura

El nitrógeno ha sido identificado como uno de los elementos comúnmente deficitarios en la mayoría de los suelos de áreas tropicales y por lo tanto constituye una limitante importante de la productividad de las pasturas de esa región. Por esta razón, la fertilización nitrogenada al suelo ha sido ampliamente estudiada y su efecto principal ha consistido en aumentos de los rendimientos de la producción de materia seca por unidad de superficie. Sin embargo, la eficiencia de utilización del nitrógeno con niveles altos de fertilizante (del orden de 500 ó más kg/ha/año) ha probado ser inferior a los resultados obtenidos con niveles medios y bajos pues los incrementos en la producción son proporcionalmente menores conforme se aumentan los niveles de fertilización.

La frecuencia o intervalo entre cortes, o frecuencia de pastoreo de las especies forrajeras es un factor importante a considerar ya que períodos prolongados entre cortes (o de descanso) aumentan la producción de materia seca, pero tienden a disminuir la calidad nutritiva de los pastos como consecuencia del aumento de la concentración de componentes estructurales, resultando en una disminución de la digestibilidad. La fertilización nitrogenada ha permitido altas producciones (con intervalos entre cortes prolongados) sin disminución sustancial del contenido de proteína cruda de los pastos.

El aumento del contenido de proteína cruda en los pastos ha sido uno de los efectos logrados con niveles crecientes de fertilización nitrogenada; sin embargo, estos incrementos pueden ser el resultado de formas de nitrógeno tales que promuevan una ineficiente utilización del nitrógeno del forraje por los rumiantes. La técnica de solubilidad del nitrógeno en medios químicos puede aportar información sobre los efectos de la fertilización en las proporciones de las fracciones nitrogenadas de los pastos.

La digestibilidad de los forrajes es uno de los factores determinantes de la calidad nutricional de los pastos. Los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la digestibilidad de los pastos han sido poco consistentes. Por otro lado, existe poca información de los efectos de la fertilización

nitrogenada sobre la degradabilidad de la materia seca a nivel ruminal. La técnica de la desaparición ruminal de la materia seca in situ provee un medio para estimar esos efectos.

Con base en la información expuesta, la presenta investigación fue llevada a cabo para:

- Evaluar los efectos de cuatro niveles de nitrógeno (0, 250, 500 y 750 kg/ha/año) en combinación con dos edades de rebrote (3 y 4 semanas) sobre el rendimiento del pasto Estrella africana y la vegetación total (Estrella y otras especies) y sobre la eficiencia en la utilización del nitrógeno.
  
- Estudiar los efectos de los tratamientos experimentales sobre algunos parámetros nutricionales del pasto Estrella, tales como el contenido de proteína cruda y de las fracciones nitrogenadas, el contenido de pared celular y la desaparición ruminal de la materia seca in situ.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Ubicación del experimento

El estudio fue realizado sobre una pastura establecida en la Finca Experimental del Departamento de Producción Animal del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba (602 msnm; 9°52'20" y 9°53'20" latitud norte y 83°38'40" y 83°42'00" longitud oeste). La precipitación anual promedio es de 2647 mm, con 87% de humedad relativa y una temperatura media de 22°C.

El suelo del área experimental corresponde al orden de los Inceptisoles; el régimen de humedad y temperatura del suelo permite clasificarlo además como Ustico e Isohipertérmico, respectivamente. Aguirre (1971) ubica estos suelos dentro de la Serie Instituto, Fase Normal, cuyas características son: pendiente del cero al 3%, erosión moderada a ninguna, pedregosidad del cero al 2%, drenaje imperfecto a moderado, textura franco arcillosa y moderadamente profundo.

#### 3.2 Tratamientos y diseño experimental

El ensayo fue precedido de una etapa pre-experimental (8 semanas) durante la cual se practicó un control manual y químico (2,4-D 2,4,5-T; dosis: 3.8 g/l) de las malezas; además, un mes antes del inicio del experimento todo el pasto fue uniformizado con un corte a aproximadamente 10 cm del suelo y el pasto cortado fue retirado del área.

La etapa experimental tuvo una duración de 24 semanas desde octubre de 1984 hasta marzo de 1985. Los tratamientos fueron definidos según un arreglo factorial 4 x 2 y en un diseño de parcelas divididas (Steel y Torrie, 1960) con 3 repeticiones; los niveles de fertilización nitrogenada (0, 250, 500 y 750 kg N/ha/año) constituían las parcelas principales y las edades de rebrote o frecuencias de corte (3 y 4 semanas) las subparcelas. El tamaño de cada parcela fue de 100 m<sup>2</sup> (15.4 y 6.5 m). Las parcelas estuvieron separadas por espacios de 1.0 m dentro de bloques y 2.0 m entre bloques.

Con base en los resultados tanto del análisis de suelo en la etapa pre-experimental así como de ensayos previamente realizados en este tipo de suelo en Turrialba (Guerrero, 1969; Ricardo, 1973; Carrillo, 1974; Zañartu, 1975; Lemus, 1977), toda el área experimental recibió una aplicación de fósforo, en la forma de superfosfato triple (45% de  $P_2O_5$ ), a razón de 50 kg de fósforo/ha, aplicados al inicio del experimento.

El fertilizante nitrogenado empleado fue el nitrato de amonio ( $NH_4NO_3$ , 35% de nitrógeno) y fue aplicado al voleo entre las 15:00 y 17:00 horas del segundo día después de cada corte. Cada nivel de fertilización fue aplicado en cantidades proporcionales según el número de cortes durante el período experimental (8 y 6 cortes para edades de rebrote de 3 y 4 semanas, respectivamente). Después de cada muestreo de pasto y antes de la aplicación del nivel correspondiente del fertilizante, cada subparcela fue uniformizada mediante un corte aproximadamente a 8 cm del suelo; el pasto fue luego retirado del área experimental.

### 3.3 Muestreo y análisis químicos de pastos

El efecto de los tratamientos fue medido sobre los cambios en la composición botánica de la pradera, sobre la producción de la vegetación consumible (total y pasto Estrella) y sobre algunas características nutricionales del pasto Estrella.

La determinación de la composición botánica en cada subparcela se realizó mediante el método de doble muestreo (Wilm, Costelo y Klipple, 1944) al inicio, a la 12ª y a la 24ª semana del período experimental. Para esta determinación se tomaron nueve apreciaciones visuales por subparcela utilizando un marco de  $1.0\text{ m}^2$  ( $1.0 \times 1.0\text{ m}$ ); adicionalmente se hizo una apreciación visual por parcela utilizando un marco de  $0.25\text{ m}^2$  ( $0.5 \times 0.5\text{ m}$ ) y todo el pasto incluido en este marco fue cortado a ras del suelo, separándose y pesándose luego el pasto Estrella y el resto de la otra vegetación; de esta forma se determinó la proporción de pasto Estrella, en base fresca, en relación a la vegetación total cosechada. Mediante una regresión lineal entre la estimación por peso fresco (Y) y la apreciación visual (X), se estableció una ecuación, en cada

muestreo, para corregir los promedios de las apreciaciones visuales por subparcela y estimar la proporción real del pasto Estrella.

Durante el período experimental (24 semanas) se realizaron 8 y 6 cortes correspondientes a las frecuencias de corte de 3 y 4 semanas, respectivamente. En cada fecha de corte, los lugares de muestreo en las subparcelas fueron determinados al azar, utilizando un sistema de coordenadas y números aleatorios. Para la toma de las muestras (vegetación total) en cada subparcela se utilizó un marco de  $0.25 \text{ m}^2$  ( $0.5 \times 0.5 \text{ m}$ ) y se cosecharon por lo menos 8 áreas para hacer un total de una área mínima muestreada de  $2 \text{ m}^2$ . Todo el material vegetal comprendido en cada marco se cortó con tijeras podadoras a una altura de 8 cm del suelo aproximadamente, el pasto cosechado fue transportado en bolsas de tela al Laboratorio del Departamento de Producción Animal. La muestra de pasto de cada subparcela fue separada en pasto Estrella y otra vegetación, cada fracción fue pesada y luego secada en un horno con aire forzado a  $50^\circ\text{C}$  por 60 horas. El peso del pasto seco en relación a su peso fresco se usó para estimar el contenido de la materia seca parcial (a  $50^\circ\text{C}$ ) tanto de pasto Estrella como de la vegetación total (pasto Estrella y otra vegetación).

Con la información del peso fresco del pasto, de la proporción de pasto Estrella y de los contenidos de materia seca parcial se estimó la producción de la materia seca (MS) tanto de la vegetación total como del pasto Estrella. Estos estimados son expresados como producción (kg) de la materia seca por hectárea y por corte o como producción acumulativa (por hectárea) durante los 24 semanas del período experimental; se calculó también la eficiencia en la utilización del nitrógeno aplicado (kg de materia seca de la vegetación total y de pasto Estrella/kg de nitrógeno), y recuperación (%) del nitrógeno en el pasto Estrella; se consideró para el cálculo de ambos parámetros solo el material aéreo cosechado.

El pasto Estrella secado a  $50^\circ\text{C}$  fue molido en un molino Wiley a través de una criba de 3 mm. Con excepción de las muestras usadas para la determinación de la desaparición ruminal de la materia seca in situ, para la cual se usó el material molido a 3 mm, el resto de los análisis fueron hechos sobre muestras remolidas a través de una criba de 1 mm.

El contenido de pared celular se determinó usando detergente-neutro según el método descrito por Goering y Van Soest (1970). La proteína cruda del pasto Estrella se determinó por micro-Kjeldahl (Bateman, 1960). Estas determinaciones fueron realizadas para todas las muestras del experimento y los contenidos de estos componentes fueron expresados en base seca (secado en horno a 105°C).

Debido a la cantidad de pasto necesaria y al costo de los análisis de fracciones nitrogenadas y desaparición ruminal de la materia seca in situ, muestras compuestas fueron obtenidas mediante la reunión de las tres repeticiones para cada tratamiento en cada uno de los cortes; se consideró además que las mayores variaciones cualitativas del pasto estaban asociadas con cambios a través de los cortes realizados en el período experimental. Adicionalmente, solo las muestras obtenidas en el primer corte, a la 12ª (4ª y 3er corte para 3 y 4 semanas de rebrote, respectivamente) y a la 24ª semana (8ª, y 6ª corte para 3 y 4 semanas de rebrote, respectivamente) fueron analizadas estadísticamente.

El fraccionamiento de los componentes nitrogenados en muestras de 2 g de pasto Estrella se realizó empleando el método de solubilidad en bufer borato-fosfato (12.20 g  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  y 8.91 g  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  en un litro de agua destilada; pH 6.8), descrito por Krishnamoorthy et al. (1982). Los contenidos de nitrógeno de la muestra (N total) y en el residuo (N insoluble) se determinaron por macro-Kjeldahl (Bateman, 1960); el N soluble se estimó por diferencia. El nitrógeno soluble proteico fue determinado sobre una alícuota (3 ml) de filtrado mediante la precipitación con ácido tricloroacético (concentración final del 10% de ácido tricloroacético) y la inclusión de deoxicolato de sodio<sup>1/</sup> para eliminar interferencias (Bensadoun y Weinstein, 1976). La determinación del nitrógeno soluble proteico se realizó por el método espectrofotométrico descrito por Lowry et al. (1951), usando albúmina serica bovina<sup>2/</sup> como estándar. Los contenidos de las fracciones nitrogenadas fueron expresados en base seca (105°C).

---

1/ Sal sódica del ácido deoxicólico (7-Deoxycholic Acid), SIGMA Chemical Company. St. Louis, MD, U.S.A.

2/ Albúmina bovina. Grado reactivo. SIGMA Chemical Company. St. Louis, MD, U.S.A.

### 3.4 Desaparición ruminal de la materia seca in situ

Este análisis se llevó a cabo en muestras compuestas de 3 g. Para realizar los análisis se usaron 2 novillos con un peso medio de 360 kg y con fístula permanente en el rumen. Durante aproximadamente un mes antes del análisis de las muestras, los dos animales fueron sometidos a una fase de adaptación a la dieta basal y al nivel de alimentación propios del período de medición de la degradación ruminal de la materia seca de las muestras.

La dieta basal consistió de pasto King Grass picado, ofrecido a voluntad y distribuido en dos porciones diarias (a las 10:00 y 17:00 h); el consumo promedio diario de materia seca por animal fue de 8 kg. En comedero separado se suministró un suplemento compuesto de 325 g de harina de soya más 50 g de una mezcla de sal común:premezcla minerales-vitaminas en proporción 65:35. Los 375 g del suplemento se suministraron una vez por día a las 10:00 horas. La composición de la premezcla de minerales y vitaminas, en porcentaje tal como ofrecido fue: fosfato dicálcico, 89; cloruro de sodio, 6; óxido de magnesio, 2; microelementos<sup>1/</sup>, 2; y vitaminas<sup>2/</sup>, 1. Las cantidades de la dieta basal y del suplemento fueron calculadas para cubrir los requerimientos nutricionales de los animales fistulados (N.R.C., 1984).

La determinación de la desaparición de la materia seca de las muestras de pasto Estrella colocadas en el rumen e incubadas por diferentes períodos se hizo siguiendo el procedimiento y modificaciones descritas por Rodríguez (1968 a, b), Mehrez y Ørskov (1977) y Kempton (1980). Cada muestra fue analizada por cuadruplicado (2 veces x 2 animales) utilizando 3 g de pasto seco y molido a través de una criba de 3 mm, colocada en bolsa de dacrón<sup>3/</sup> con un área interna de 280 cm<sup>2</sup> (16 cm de largo x 10 de ancho con el extremo inferior redondeado), similares a las empleadas por Ørskov, DeB Hovell y Mould (1980).

---

1/ Suministrado en mg/animal/día: Zn, 42; Mn, 17.5; Fe, 17.5; Cu, 8.75; I, 0.53; Co, 0.53; Mo, 0.18 y Se, 0.18.

2/ Cantidad suministrada/animal/día: Vit A, 5250 U.I.; Vit. D<sub>3</sub>, 875 U.I.; y Vit.E, 1.75 mg.

3/ Marvelaire, Beaconway Fabric and Yarn Center, Bangor, Maine, U.S.A.

La porosidad del dacrón utilizado fue de 1878 poros/cm<sup>2</sup>, comparable a la utilizada por otros autores (Rodríguez, 1968 a; Deville, Figon y Emmanuel, 1980).

Las bolsas de dacrón con las muestras de pasto fueron atadas con un hilo de nylon y sujetadas a una longitud de 30 cm (Rodríguez, 1968 b; Kempton, 1980) de una pesa o ancla rectangular (26.5 x 10.0 cm) construída con tubos de cloruro de polivinilo de 2.0 cm de diámetro y con barras de hierro en su interior para proporcionar un peso aproximado de 1.0 kg (San Martín, 1980). Antes de introducir la pesa con las bolsas dentro del rumen, las bolsas se sumergieron en un recipiente con agua potable por aproximadamente un minuto y luego se presionaron manual y ligeramente para extraer el exceso de agua y aire dentro de las bolsas (Mehrez y Ørskov, 1977; Deville, Figon y Emmanuel, 1980). Los tiempos de incubación ruminal estudiados fueron 1, 4, 8, 16, 24, 48 y 72 horas; la secuencia de introducción de las bolsas en el rumen se hizo siguiendo el método descrito por Paine, Crawshaw y Barber (1982).

Después de retirar un grupo de bolsas del rumen, éstas fueron enjuagadas en agua potable hasta que el líquido de lavado no presentara coloración (aproximadamente 10 minutos), exprimidas para eliminar excesos de agua y secadas a 105°C por 24 horas. Las bolsas con el residuo seco se dejaron enfriar en un desecador hasta peso constante para luego determinar gravimétricamente el peso del residuo. La desaparición o degradabilidad de la materia seca (IMS) se calculó según la fórmula:

$$IMS = \frac{MS \text{ incubada inicial} - MS \text{ residual}}{MS \text{ incubada inicial}} \times 100$$

Los cálculos de la desaparición de la materia seca en el rumen no incluyen la corrección por entrada de partículas del contenido ruminal al interior de las bolsas, pues esta sub-estimación suele ser menor del 1%, según se comprobó en verificaciones preliminares realizadas en este estudio y las cuales concuerdan con lo reportado en la literatura (Mehrez y Ørskov, 1977; Playne, Khumnualthong y Echevarría, 1978; Weakley, Stern y Satter, 1983). Tampoco se hicieron correcciones por la posible pérdida pasiva de la materia seca (material rápidamente soluble en agua o de tamaño de partícula que favorece el escape a través de los poros de la bolsa) ya que las características de la

bolsa (tamaño y porosidad) y de la muestra (tamaño de partículas y relación peso de la muestra:área de tela) minimizan estas posibles sobre-estimaciones (Playne, Khumnualthong y Echevarría, 1978). Además, la desaparición de partículas indigeridas consistirá principalmente de material potencialmente digestible la cual ocurre en mayor grado durante las primeras 24 horas de incubación (Lindberg y Varvikko, 1982); por lo tanto, estas pérdidas estarían consideradas en los períodos de incubación iniciales usados en este ensayo.

### 3.5 Muestreo y análisis de suelos

Para estimar el efecto de la fertilización nitrogenada a través del tiempo sobre las características químicas del suelo, se tomaron muestras del suelo del área experimental al inicio y al final (24ª semana) del período experimental. Por cada parcela principal se obtuvo una muestra compuesta de 20 submuestras tomadas a una profundidad de 0 a 0.20 m; las muestras fueron secadas al aire y pasadas a través de un tamiz de 2 mm.

Los análisis de las muestras del suelo fueron: pH, acidez extraíble, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo, capacidad de intercambio catiónico, calcio, potasio y magnesio; estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos del CATIE siguiendo los procedimientos descritos por Díaz-Romeu y Hunter (1978).

### 3.6 Análisis de la información

Los cambios en la composición botánica fueron analizados mediante un diseño de parcelas divididas en el tiempo y en el espacio, mientras que las producciones y contenidos de materia seca de la vegetación total y del pasto Estrella, los contenidos de pared celular, de la proteína cruda y la eficiencia en la utilización del nitrógeno total fueron analizados según el diseño de parcelas divididas (Steel y Torrie, 1960). Las variables consideradas en el estudio de solubilidad y fraccionamiento de los componentes nitrogenados se evaluaron a través de un diseño en arreglo factorial (4 niveles de fertilización x 2 edades de rebrote x 3 fechas de muestreo) con una sola repetición (Steel y Torrie, 1960). Los parámetros sobre la composición química y la fertilidad

del suelo fueron estudiados a través de un diseño en bloques al azar (Steel y Torrie, 1960).

Para los estudios sobre la desaparición ruminal de materia seca in situ se probaron 12 modelos de regresión<sup>1/</sup> para obtener la función que mejor explicara el comportamiento de la digestibilidad acumulativa de la materia seca a través del tiempo de incubación ruminal. La ecuación de regresión que mejor se ajustó con la información generada con todos los datos de todas las muestras y con los datos promedio para edad de rebrote fue definida por la fórmula:  $Y = 1/(A + Be^{-Ct})$ ; donde:

Y = Desaparición (%) de la materia seca del pasto Estrella

$\frac{1}{A}$  = Límite de Y cuando t tiende a infinito; o sea, la desaparición (%) potencial de la materia seca

$\frac{1}{A+B}$  = Límite de Y cuando t tiende a cero; o sea, la desaparición (%) inicial de la materia seca

C = Tasa de aceleración de la desaparición (%/h) de la materia seca

t = Tiempo (h) de incubación ruminal

e = Base del logaritmo natural

Este modelo demostró ser el mejor según los análisis de los coeficientes de regresión ( $R^2$ ), de correlación y de los residuales; además ha sido utilizado para medir la degradación de la materia seca en función al tiempo de incubación ruminal en otros trabajos (Medina, 1980; San Martín, 1980; Pérez, 1983).

Como parámetros de comparación entre las curvas de desaparición de la materia seca generadas por cada muestra se consideraron: la desaparición potencial ( $1/A$ ), la desaparición inicial ( $1/A+B$ ), la tasa de aceleración de la desaparición (C) y el tiempo de desaparición ruminal media simbolizado por  $t_{50}$ . Estos parámetros fueron evaluados a través de un diseño en arreglo factorial (4 niveles de fertilización x 2 edades de rebrote x 3 fechas de muestreo) con una sola repetición (Steel y Torrie, 1960). El tiempo de desaparición

<sup>1/</sup> Programa INTNLIN, Análisis de Regresión no Lineal, PALMERS STATISTICAL PACKAGE. Unidad de Metodología Experimental y Procesamiento de Datos. CATIE.

ruminal media de la materia seca (tiempo al que se degrada el 50% del material potencialmente digestible) se calculó según la fórmula:

$$t_{50} = \frac{1}{C} - [\ln (A/B)/C]$$

donde:

$t_{50}$  = Tiempo (h) de desaparición ruminal media de la materia seca

A, B y C = Coeficientes definidos por el modelo de regresión anteriormente descrito

En los análisis de varianza en los cuales se detectó efecto de los factores en estudio, las diferencias entre las medias de los tratamientos fueron establecidas a través de la prueba de rangos múltiples de Duncan (Steel y Torrie, 1960).

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

Los efectos de los tratamientos estudiados (nivel de fertilización nitrogenada y edad de rebrote) se evaluaron a través de un período de 24 semanas. Los cambios en la composición botánica de la pastura, la producción de materia seca del pasto Estrella y de la vegetación total, la eficiencia en la utilización del nitrógeno y algunas características nutricionales del pasto Estrella fueron los parámetros usados para evaluar los efectos de los tratamientos experimentales sobre la pradera. Adicionalmente, algunas características químicas y de fertilidad del suelo fueron también evaluadas.

##### 4.1 Efecto de los tratamientos sobre la composición botánica

La determinación inicial de la composición botánica de la pastura experimental estableció la proporción del pasto Estrella, así como la identificación de las otras especies presentes. El análisis inicial reveló diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los bloques experimentales, con un ámbito entre 53 y 38% de pasto Estrella (en base fresca) como valores máximo y mínimo, respectivamente. La proporción inicial promedio de pasto Estrella fue del orden de 46% y estuvo igualmente representada en los tratamientos distribuidos a través de los tres bloques. Las especies restantes en la pastura o campo experimental fueron principalmente las siguientes gramíneas: Digitaria sp., Digitaria decumbens, Axonopus compressus, Paspalum conjugatum, Paspalum boscianum y Panicum laxum<sup>1/</sup>. En menor grado se observaron algunas ciperáceas y muy pocas especies de hoja ancha (leguminosas nativas y otras). La baja proporción de las malezas de hoja ancha fue una consecuencia del control químico realizado en la etapa pre-experimental.

La Figura 1 presenta los cambios en la proporción de pasto Estrella como efecto del nitrógeno de acuerdo a las determinaciones de la composición botánica en la pastura realizadas al inicio, a la mitad y al final del período experimental. La información del análisis estadístico de la composición botánica se presenta en el Cuadro 1A.

---

<sup>1/</sup> La identificación de estas especies fue hecha por la Dra. Mayra Montiel L. de la Universidad de Costa Rica.

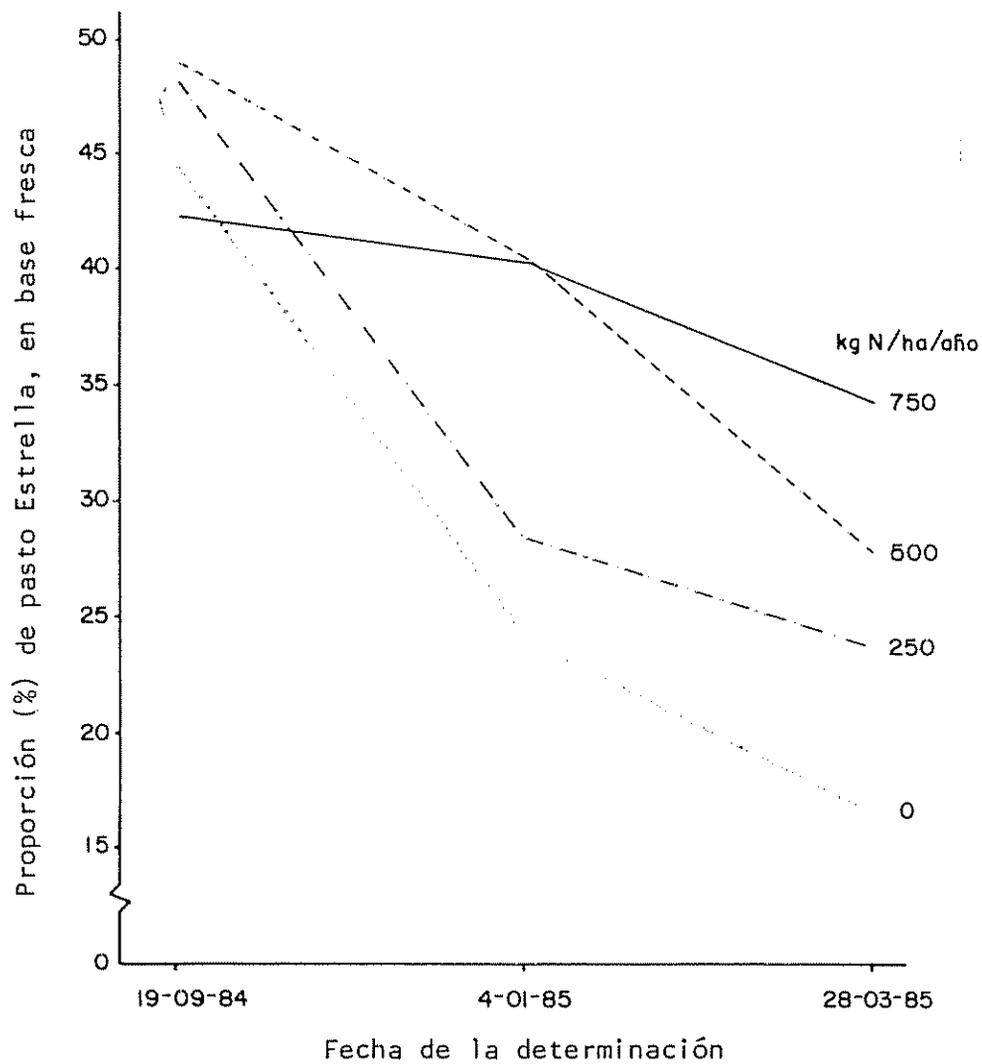


Fig. 1. EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA SOBRE LA PROPORCION DE PASTO ESTRELLA.

El análisis global (Figura 1) del comportamiento de la composición botánica a través del período experimental reveló una marcada disminución ( $P < 0.01$ ) de la proporción del pasto Estrella conforme avanzó el experimento; sin embargo, la disminución del pasto Estrella fue menos drástica para los tratamientos con niveles de nitrógeno más altos (500 y 750 kg/ha/año). Aunque, no se observaron efectos simples ( $P > 0.05$ ) del factor fertilización nitrogenada, si hubo un efecto ( $P < 0.05$ ) de la interacción fertilización x etapa (Cuadro 1A).

Las proporciones promedio de pasto Estrella a través del período experimental fueron 28.4, 33.4, 39.2 y 39.0%, para los tratamientos con 0, 250, 500 y 750 kg de nitrógeno/ha/año, respectivamente. Ningún nivel de fertilización nitrogenada evaluado fue capaz de mantener la proporción inicial del pasto Estrella; un comportamiento similar fue observado con ésta y otras gramineas en un estudio anterior en Turrialba (Carrillo, 1974). Sin embargo, Lemus (1977) logró mantener la cobertura inicial o la proporción del pasto Estrella con niveles de nitrógeno del orden de 375 y 500 kg/ha/año.

La edad de rebrote no afectó ( $P > 0.05$ ) la proporción del pasto Estrella en las parcelas experimentales; se obtuvo un promedio a través del período experimental de 33.7 y 36.3% de pasto Estrella en base fresca para los tratamientos con 3 y 4 semanas de edad de rebrote, respectivamente. Investigaciones anteriores (Carrillo, 1974; Ramírez, 1974) realizadas en Turrialba encontraron, sin embargo, que el efecto de la frecuencia de corte fue de mayor significancia que el efecto del nivel de fertilización nitrogenada; a mayor intervalo entre cortes más alta fue la proporción del pasto Estrella en la pradera. Es posible que la ausencia del efecto de la frecuencia de corte o edad de rebrote en el presente trabajo se deba a que los intervalos evaluados (3 y 4 semanas) fueron menores a los estudiados anteriormente (42 días, Carrillo, 1974; 35 días, Ramírez, 1974). La disminución general en la proporción del pasto Estrella obtenida en este experimento podría deberse al estado inicial de la pradera, o sea, a su baja cobertura de pasto Estrella.

#### 4.2 Efecto de los tratamientos sobre el contenido y la producción de materia seca

El efecto del nivel de fertilización nitrogenada sobre el contenido de materia seca en la vegetación total y en el pasto Estrella se presenta en el Cuadro 1 y los resultados detallados se encuentran en los Cuadros 2A y 3A. El contenido de materia seca disminuyó conforme aumentó el nivel de fertilización; este efecto fue evidente tanto para el contenido de materia seca de la vegetación total ( $P < 0.05$ ) como para el contenido de materia seca del pasto Estrella ( $P < 0.01$ ). Cabe notar, sin embargo, que aunque el análisis de varianza (Cuadro 2A) para el contenido de materia seca en la vegetación total presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) del factor fertilización nitrogenada, la prueba de rangos múltiples de Duncan no detectó las diferencias entre las medidas de los niveles correspondientes. La disminución del contenido de materia seca de los pastos en el trópico conforme aumenta el nivel de fertilización ha sido reportada en varias investigaciones (Caro-Costas, Abruña y Figarella, 1972; Ramos, Herrera y Curbelo, 1981; Vicente-Chandler et al., 1983).

Cuadro 1. Contenido de materia seca (MS) en la vegetación total<sup>1/</sup> y en el pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada<sup>2/</sup>

Parámetro	Nivel de nitrógeno (kg/ha/año)				D.E. <sup>2/</sup>
	0	250	500	750	
	----- % MS -----				
Vegetación total	24.4	23.8	24.2	22.9	0.7
Pasto Estrella	28.3 <sup>a3/</sup>	26.5 <sup>ab</sup>	25.9 <sup>ab</sup>	23.6 <sup>b</sup>	1.4

<sup>1/</sup> Cada valor es la media de 14 cortes (8 y 6 cortes para 3 y 4 semanas de rebrote, respectivamente).

<sup>2/</sup> Desviación estándar:  $\sqrt{\text{Cuadrado medio del error}}$

<sup>3/</sup> Valores con diferente letra exponencial difieren estadísticamente ( $P < 0.05$ )

La edad de rebrote también afectó ( $P < 0.05$ ) el contenido de la materia seca del pasto Estrella (25.2 vs. 26.9% de materia seca para 3 y 4 semanas de edad de rebrote, respectivamente), pero este efecto no fue observado en la vegetación total (23.8% de materia seca promedio para las dos edades de rebrote). La magnitud de la diferencia entre las medias de los niveles del factor edad de rebrote en el pasto Estrella tampoco pudo ser detectada como significativa a través de la prueba de rangos múltiples de Duncan.

Los resultados del contenido de materia seca en la vegetación total y en el pasto Estrella a través del período experimental se presentan en la Figura 2, en la cual se ha sobrepuesto la curva de precipitación registrada durante dicho período. Puede observarse la relación inversa entre la precipitación y el contenido de materia seca.

Los resultados del efecto de la fertilización nitrogenada sobre los rendimientos promedio de materia seca por hectárea y por corte se resumen en el Cuadro 2 y la información detallada se presenta en los Cuadros 4A y 5A. La fertilización tuvo un marcado efecto ( $P < 0.01$ ) sobre la producción de materia seca tanto de la vegetación como del pasto Estrella (Cuadro 2). Este efecto fue más pronunciado hasta el nivel de 500 kg de nitrógeno/ha/año, siendo prácticamente lineal hasta este punto; los resultados con los niveles más altos (500 y 750 kg de nitrógeno/ha/año) fueron similares entre sí ( $P > 0.05$ ).

La edad de rebrote afectó ( $P < 0.05$ ) la producción de materia seca del pasto Estrella, 781 vs. 470 kg de materia seca/ha/corte para las edades de rebrote de 4 y 3 semanas, respectivamente. Una tendencia similar se observó con la producción de la vegetación total, 1422 vs. 1366 kg de materia seca/ha/corte para 4 y 3 semanas, respectivamente, pero las diferencias no fueron significativas ( $P > 0.05$ ). El efecto de la frecuencia de corte sobre la producción de gramíneas tropicales ha sido ampliamente documentado en el pasto Estrella africana (Caro-Costas, Abruña y Figarella, 1972; Ramos, Herrera y Curbelo, 1982) y en otras gramíneas forrajeras (Vicente-Chandler *et al.*, 1972; Sotomayor-Ríos, Julía y Arroyo-Aguilú, 1974; Sotomayor-Ríos *et al.*, 1976); en general, los resultados obtenidos en el presente ensayo coinciden con las anteriores publicaciones.

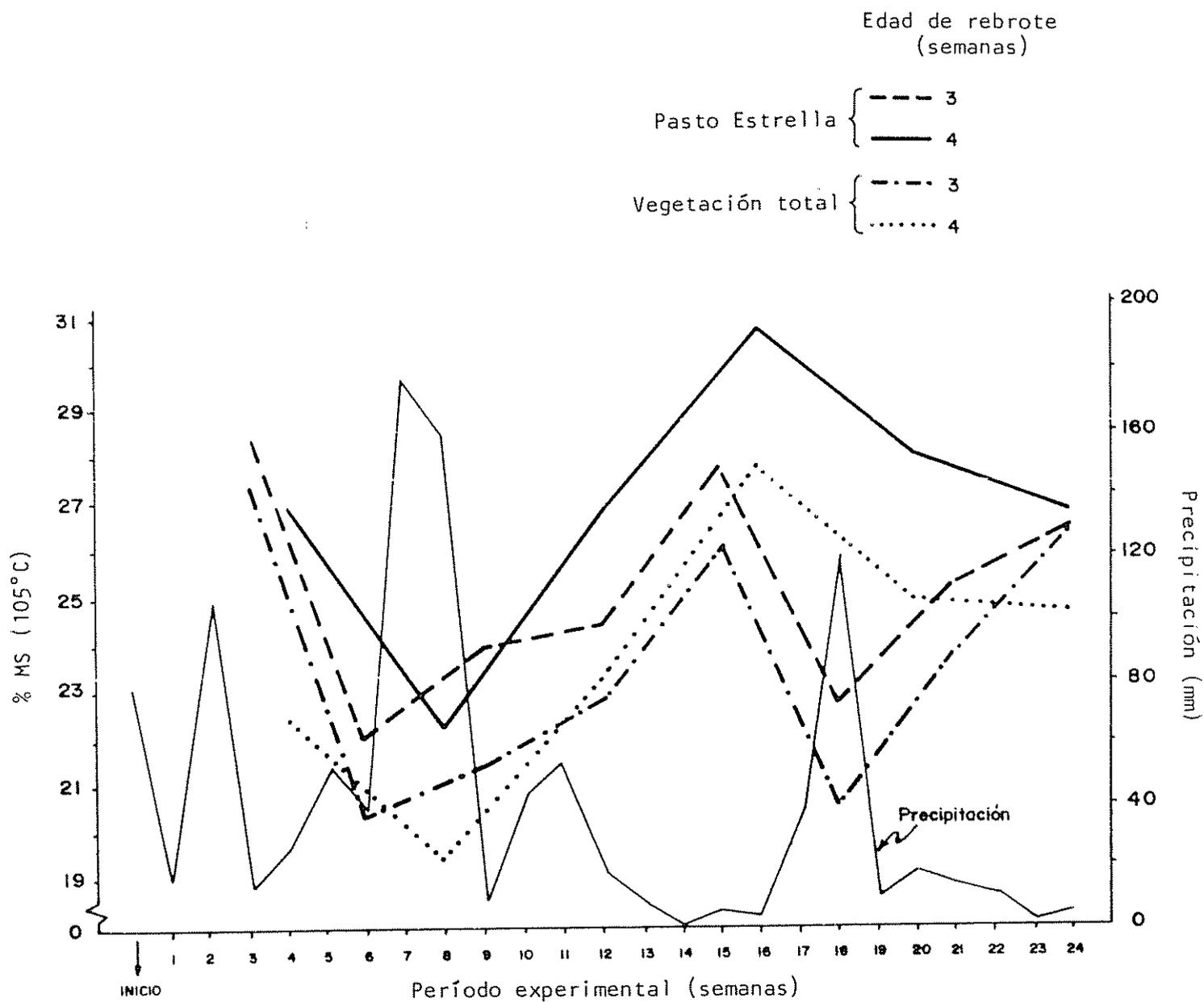


Fig. 2. CONTENIDO DE MATERIA SECA (MS) DE LA VEGETACIÓN TOTAL Y DEL PASTO ESTRELLA A TRAVÉS DEL TIEMPO Y SEGUN LA EDAD DE REBROTE<sup>1/</sup>, Y SU RELACION CON LA PRECIPITACION DURANTE EL PERIODO EXPERIMENTAL<sup>2/</sup>.

<sup>1/</sup> Cada punto representa el promedio de los 4 niveles de fertilización.

<sup>2/</sup> Medición realizada en pluviómetro ubicado en el campo experimental.

Cuadro 2. Producción de materia seca (MS) de la vegetación total y del pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada<sup>1/</sup>

Parámetro	Nivel de nitrógeno (kg/ha/año)				D.E. <sup>2/</sup>
	0	250	500	750	
	kg MS/ha/corte				
Vegetación total	657 <sup>c3/</sup>	1206 <sup>b</sup>	1784 <sup>a</sup>	1929 <sup>a</sup>	204
Pasto Estrella	242 <sup>b</sup>	491 <sup>ab</sup>	869 <sup>a</sup>	901 <sup>a</sup>	252

1/ Cada valor es la media de 14 cortes (8 y 6 cortes, para 3 y 4 semanas de rebrote, respectivamente).

2/ Desviación estándar:  $\sqrt{\text{Cuadrado medio del error}}$

3/ Valores con diferente letra exponencial difieren estadísticamente ( $P < 0.05$ )

Los resultados del efecto de la fertilización nitrogenada y de la edad de rebrote sobre la producción de materia seca de la vegetación total y del pasto Estrella se presentan gráficamente en la Figura 3. La respuesta al nivel de fertilización nitrogenada en la vegetación total fue similar para las dos edades de rebrote. Sin embargo, la producción de materia seca del pasto Estrella para la edad de rebrote de 4 semanas fue superior a la producción correspondiente a la edad de rebrote de 3 semanas. Los resultados presentados en la Figura 3 sugieren que la proporción (%) del pasto Estrella (en base seca) en las parcelas fue mejor en los tratamientos fertilizados que en los no fertilizados; esta tendencia fue corroborada con la información sobre la composición botánica analizada anteriormente (Figura 1); sin embargo, a diferencia de ese análisis, la Figura 3 muestra que independientemente del nivel de fertilización se obtuvo una mayor producción de pasto Estrella en los tratamientos cosechados a 4 semanas de edad de rebrote y este efecto fue más pronunciado con los niveles más altos de fertilización nitrogenada (500 y 750 kg/ha/año). Esto indicaría que las mayores ventajas de la edad de rebrote de 4 sobre 3 semanas para la producción de materia seca del pasto Estrella ocurrieron en presencia de los niveles más altos de fertilización nitrogenada.

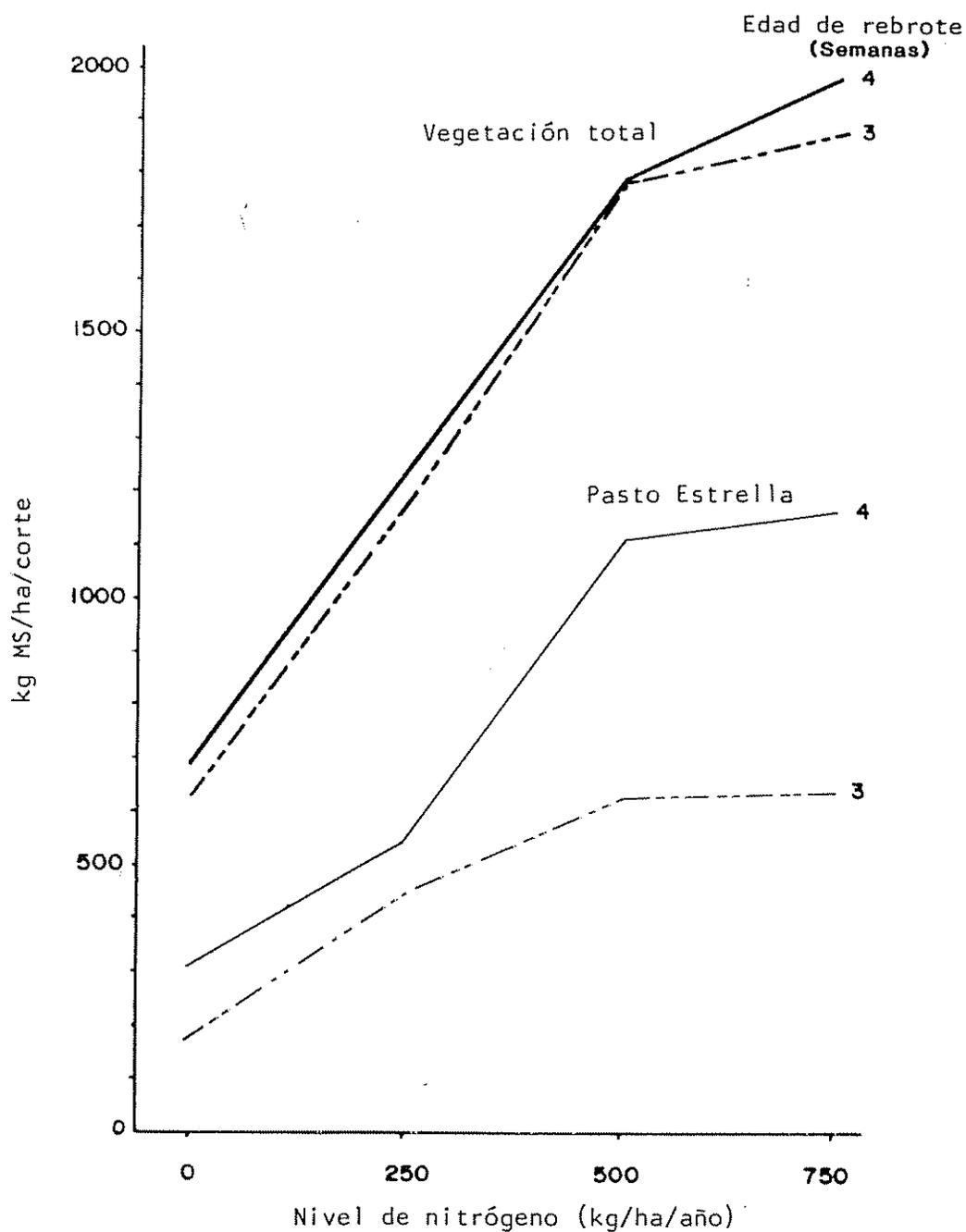


Fig. 3. PRODUCCION DE MATERIA SECA (MS) DE LA VEGETACION TOTAL Y DEL PASTO ESTRELLA SEGUN EL NIVEL DE FERTILIZACION NITROGENADA Y LA EDAD DE REBROTE.

1/ Cada punto representa el promedio de 8 ó 6 cortes para 3 ó 4 semanas de edad de rebrote, respectivamente.

A pesar de las diferencias observadas entre las dos edades de rebrote en la producción de materia seca del pasto Estrella, no existió efecto ( $P > 0.05$ ) de la interacción fertilización x edad de rebrote. Sin embargo, un trabajo anterior (Ramírez, 1974) mostró que la tendencia a aumentar los rendimientos de materia seca al ampliarse el intervalo entre cortes se contrarrestaba con la aplicación de altos niveles de nitrógeno.

La producción acumulativa de materia seca de la vegetación total y del pasto Estrella, a través de las 24 semanas de observación, mostró la superioridad ( $P < 0.05$ ) de los niveles más altos de nitrógeno (500 y 750 kg/ha/año) sobre los niveles más bajos (Cuadro 3). Los análisis de varianza correspondientes se presentan en los Cuadros 6A y 7A. Al igual que en la producción de materia seca por corte, las producciones acumulativas de materia seca para los dos niveles de nitrógeno superiores fueron similares ( $P > 0.05$ ) entre sí. Esta tendencia es comparable a los resultados de otras investigaciones y la variación en la magnitud de los rendimientos podría deberse a la época y edades de rebrote consideradas (Vicente-Chandler *et al.*, 1983) y además a las condiciones intrínsecas del campo experimental (tipo de suelo y cobertura de pasto Estrella). La edad de rebrote no afectó ( $P > 0.05$ ) la producción acumulativa de materia seca del pasto Estrella (4687 vs. 3761 kg de materia seca para las edades de rebrote de 4 y 3 semanas, respectivamente), pero sí influyó ( $P < 0.05$ ) sobre la producción acumulativa de la vegetación total (8531 vs. 10926 kg de materia seca para las edades de rebrote de 4 y 3 semanas, respectivamente).

Las producciones acumulativas de materia seca para la vegetación total y el pasto Estrella, según el nivel de fertilización nitrogenada y la edad de rebrote, se presentan en la Figura 4. Las producciones acumulativas de materia seca de la vegetación total fueron algo más del doble de las producciones de pasto Estrella. Los rendimientos de materia seca del pasto Estrella fertilizado con 500 y 750 kg de nitrógeno/ha/año fueron equivalentes a menos de 12 t de materia seca/ha/año, nivel de producción bastante más bajo y que los resultados reportados para este pasto en Puerto Rico (Caro-Costas, Abruña y Figarella, 1972; Vicente-Chandler *et al.*, 1983) y ligeramente inferiores a los obtenidos en otras investigaciones en Turrialba (Carrillo, 1974; Ramírez, 1974).

Cuadro 3. Producción acumulativa de materia seca (MS) de la vegetación total y del pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada.

Parámetro	Nivel de nitrógeno (kg/ha/año)				D.E. <sup>1/</sup>
	0	250	500	750	
	kg MS/ha/24 semanas				
Vegetación total	4565 <sup>c2/</sup>	8413 <sup>b</sup>	12490 <sup>a</sup>	13447 <sup>a</sup>	1368
Pasto Estrella	1625 <sup>b</sup>	3390 <sup>ab</sup>	5842 <sup>a</sup>	6041 <sup>a</sup>	1786

1/ Desviación estándar:  $\sqrt{\text{Cuadrado medio del error}}$

2/ Valores con diferente letra exponencial difieren estadísticamente (P < 0.05)

Durante la primera mitad del período experimental se obtuvieron las mayores producciones de materia seca especialmente para la vegetación total y el pasto Estrella cosechados cada 3 semanas. Los rendimientos en la segunda mitad fueron inferiores observándose una disminución en el ritmo de producción comparado con el de la primera mitad del período experimental. El análisis de las principales condiciones climáticas a través del período experimental mostró que el cambio más importante fue el de la precipitación, registrándose niveles de 759 y 281 mm durante la primera y segunda mitad del período experimental, respectivamente; además, las temperaturas máxima, media y mínima registradas fueron de 25.7, 20.6 y 16.7 °C, respectivamente. Estos datos apoyan las observaciones sobre los efectos de la estacionalidad en la producción de materia seca de las forrajeras tropicales (Carrillo, 1974; Ramírez, 1974; Vicente-Chandler *et al.*, 1983). El efecto del período fue menos evidente cuando el pasto se cosechó cada 4 semanas y principalmente cuando se emplearon niveles altos de nitrógeno (500 y 750 kg/ha/año).

#### 4.3 Efecto de los tratamientos sobre la eficiencia en la utilización del nitrógeno

La eficiencia en la utilización del nitrógeno fue evaluada a través de la producción de la vegetación total y del pasto Estrella por unidad (kg)

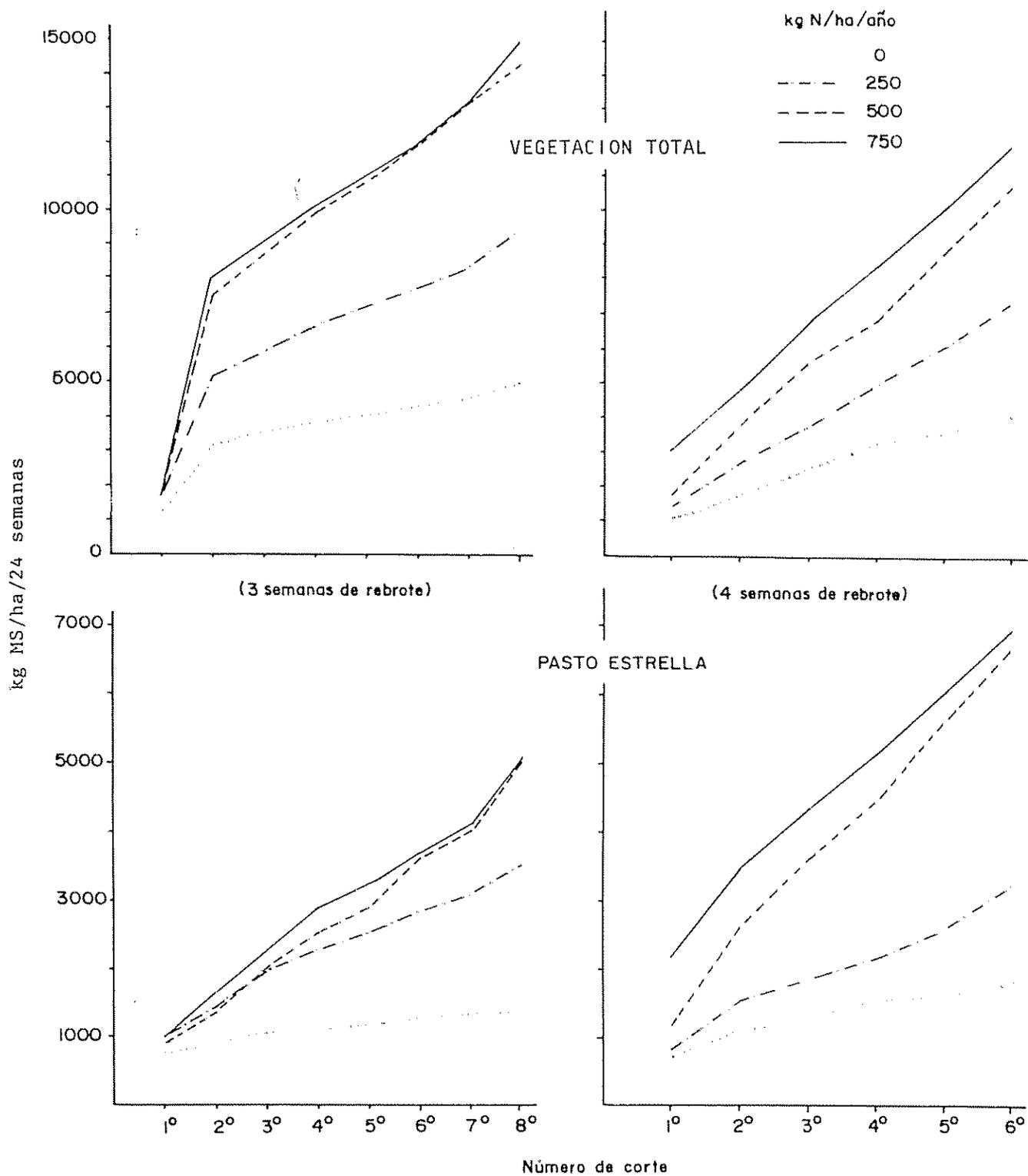


Fig. 4. PRODUCCION ACUMULATIVA DE MATERIA SECA (MS) DE LA VEGETACION TOTAL Y DEL PASTO ESTRELLA SEGUN EL NIVEL DE FERTILIZACION NITROGENADA Y LA EDAD DE REBROTE.

de nitrógeno aplicado. Además, se determinó la proporción de nitrógeno recuperado en la parte aérea del pasto Estrella, pero no en el resto de la vegetación de la pastura experimental.

La producción de materia seca, tanto de la vegetación total como del pasto Estrella, por kilogramo de nitrógeno aplicado no fue afectada ( $P > 0.05$ ) por el nivel de fertilización (Cuadro 4), ni por la edad de rebrote. Los resultados obtenidos mostraron una tendencia aparente hacia la disminución en la eficiencia de utilización del nitrógeno conforme se incrementó el nivel de fertilización sobre los 500 kg de nitrógeno/ha/año. La eficiencia en la utilización del nitrógeno por la vegetación total según la edad de rebrote fue de 37.1 y 28.4 kg de materia seca/kg de nitrógeno aplicado, para 3 y 4 semanas, respectivamente. Los resultados para el pasto Estrella fueron 17.1 y 15.5 kg de materia seca/kg de nitrógeno aplicado para 4 y 3 semanas, respectivamente. La información detallada del efecto del nivel de nitrógeno y de la edad de rebrote sobre la eficiencia en la utilización del nitrógeno se presenta en los Cuadros 8A y 9A.

Cuadro 4. Rendimiento de materia seca (MS) por kilogramo de nitrógeno aplicado en la vegetación total y en el pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada<sup>1/</sup>

Parámetro	Nivel de nitrógeno (kg/ha/año)			D.E. <sup>2/</sup>
	250	500	750	
	————— kg de MS/kg de nitrógeno —————			
Vegetación total	35.1	36.2	27.1	9.1
Pasto Estrella	16.1	19.4	13.5	8.4

<sup>1/</sup> Cada valor proviene de la producción de materia seca obtenida en 24 semanas sobre la cantidad de nitrógeno aplicado en igual período.

<sup>2/</sup> Desviación estándar:  $\sqrt{\text{Cuadrado medio del error}}$

En términos generales, la producción de materia seca de la vegetación total por kilogramo de nitrógeno aplicado fue alrededor del doble de las

cantidades registradas para el pasto Estrella, lo cual refleja el efecto de la fertilización sobre el resto de la vegetación presente en las parcelas experimentales. La eficiencia en la utilización del nitrógeno por pastos como Napier, Guinea, Pará y Pangola disminuyó (51, 30 y 12 kg de materia seca/kg de nitrógeno aplicado) conforme incrementaron los niveles de fertilización nitrogenada (220, 440 y 880 kg de nitrógeno/ha/año, respectivamente) (Vicente-Chandler, et al., 1964).

La recuperación del nitrógeno aplicado en el pasto Estrella no fue afectada ( $P > 0.05$ ) por los tratamientos experimentales; el valor promedio general para los cuatro niveles de fertilización nitrogenada y las dos edades de rebrote fue de 41% (Cuadro 10A). La mayor (47%) recuperación del nitrógeno aplicado se obtuvo con el nivel de 500 kg de nitrógeno/ha/año. La ausencia del efecto del nivel de fertilización y de la edad de rebrote, coincide con los resultados encontrados en Puerto Rico (Caro-Costas, Abruña y Figarella, 1972); sin embargo, los valores obtenidos se consideran altos puesto que solo corresponden a la medición en el pasto Estrella (26 al 46% de la vegetación total); ésto se debe a que en el cálculo de la recuperación de nitrógeno no se descontó aquel contenido en el pasto Estrella en los tratamientos no fertilizados.

#### 4.4 Efecto de los tratamientos sobre algunas características de la calidad nutricional del pasto Estrella

Las características de la calidad nutricional del pasto Estrella evaluadas fueron el contenido de proteína cruda y el fraccionamiento de los componentes nitrogenados, el contenido de pared celular, y la desaparición ruminal de la materia seca in situ.

##### 4.4.1 Contenido de proteína cruda y fraccionamiento de los componentes nitrogenados

El contenido de proteína cruda ( $N \times 6.25$ ) del pasto Estrella fertilizado aumentó ( $P < 0.05$ ) conforme se incrementó el nivel de nitrógeno (11.1, 12.5, 14.3 y 17.1% de proteína cruda en base seca para 0, 250, 500 y 750 kg de nitrógeno/ha/año; Cuadro 11A). Por otra parte, el pasto Estrella cosechado

cada tres semanas tuvo un contenido de proteína cruda superior ( $P < 0.05$ ) al del pasto cosechado cada cuatro semanas (14.7 vs. 12.8%).

Los valores antes descritos son promedios del período experimental total. El efecto del nivel de fertilización y la edad de rebrote sobre el contenido de proteína cruda a través del período experimental se muestra en la Figura 5. En general, las fluctuaciones a través del período experimental son bastante similares para los cuatro niveles de fertilización nitrogenada en cada edad de rebrote y en particular para el intervalo de corte de 3 semanas. La comparación de estos resultados con la curva de precipitación y de los contenidos de materia seca, presentados anteriormente en la Figura 2, sugiere una relación inversa entre los contenidos de materia seca y de proteína cruda.

El efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de proteína cruda obtenido en el pasto Estrella es más alto que aquel presentado para otras gramíneas tropicales (Herrera, Lotero y Crowder, 1967; Vicente-Chandler et al., 1983) y para el pasto Estrella (Ramírez, 1974; Zañartu, 1975; Lemus, 1977) en otros estudios; sin embargo, en la mayoría de esas investigaciones las edades de rebrote o frecuencias de corte fueron más extensas que las evaluadas en este trabajo.

El fraccionamiento de los componentes nitrogenados basado en la solubilidad en el "buffer" borato-fosfato (Pichard y Van Soest, 1977; Krishnamoorthy et al., 1982) fue realizado sobre todas las muestras compuestas (Cuadros 12A y 13A). Los resultados de la fertilización nitrogenada en el pasto Estrella sobre el contenido de las diferentes fracciones nitrogenadas se presentan gráficamente en la Figura 6 y los análisis de varianza correspondientes se encuentran en los Cuadros 14A al 18A.

La fertilización nitrogenada tuvo un marcado efecto ( $P < 0.01$ ) sobre los contenidos de las fracciones nitrogenadas del pasto Estrella, incrementándose todas ellas conforme se aumentaron los niveles del fertilizante. Los valores de todos los componentes nitrogenados para el pasto Estrella fertilizado con 750 kg de nitrógeno/ha/año fueron siempre superiores a los valores de los otros tratamientos (Figura 6), mientras que los valores obtenidos con 500 y 250 kg

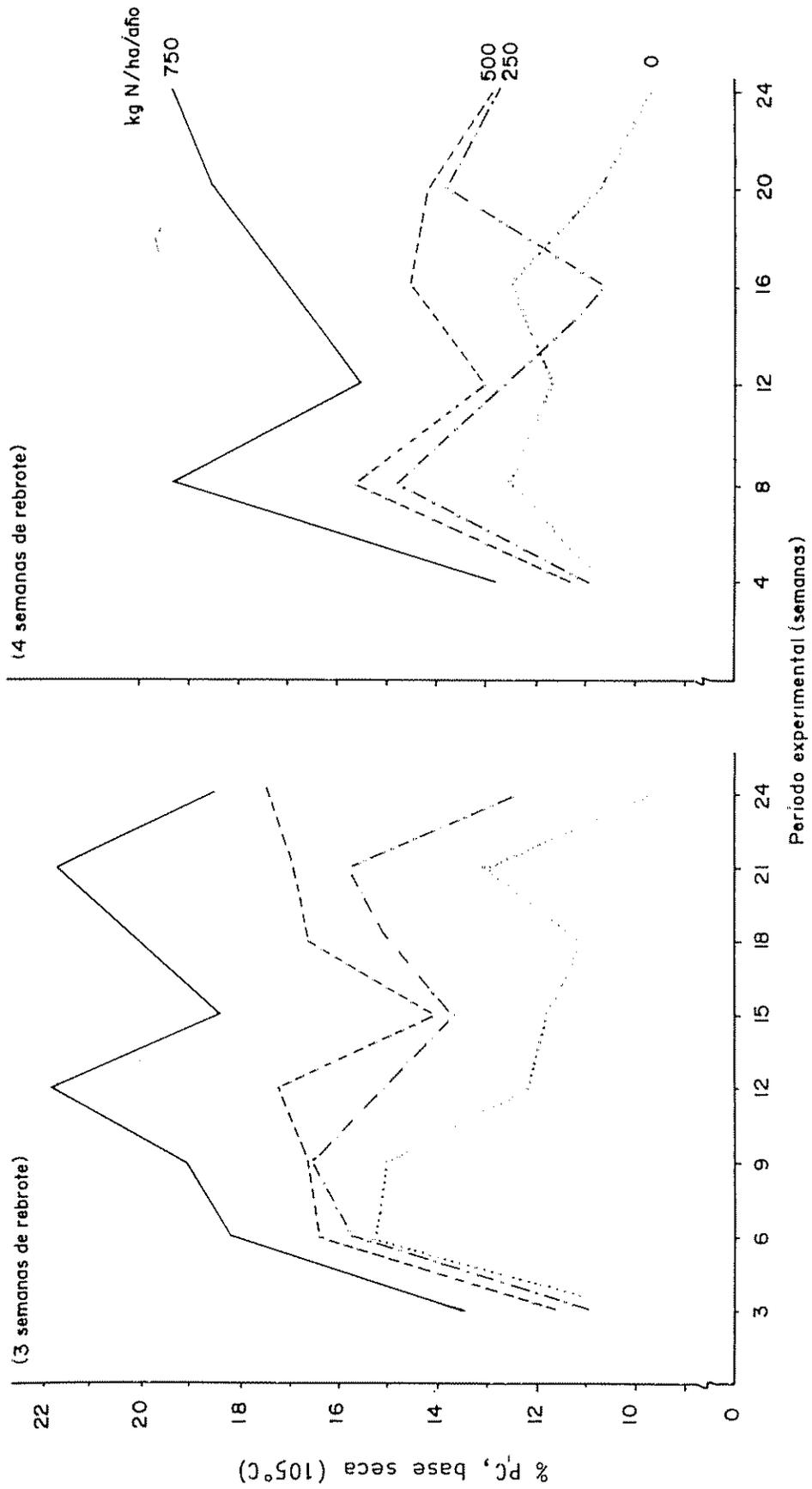


Fig. 5. CONTENIDO DE PROTEINA CRUDA (PC) EN EL PASTO ESTRELLA SEGUN EL NIVEL DE FERTILIZACION NITROGENADA Y LA EDAD DE REBROTE.

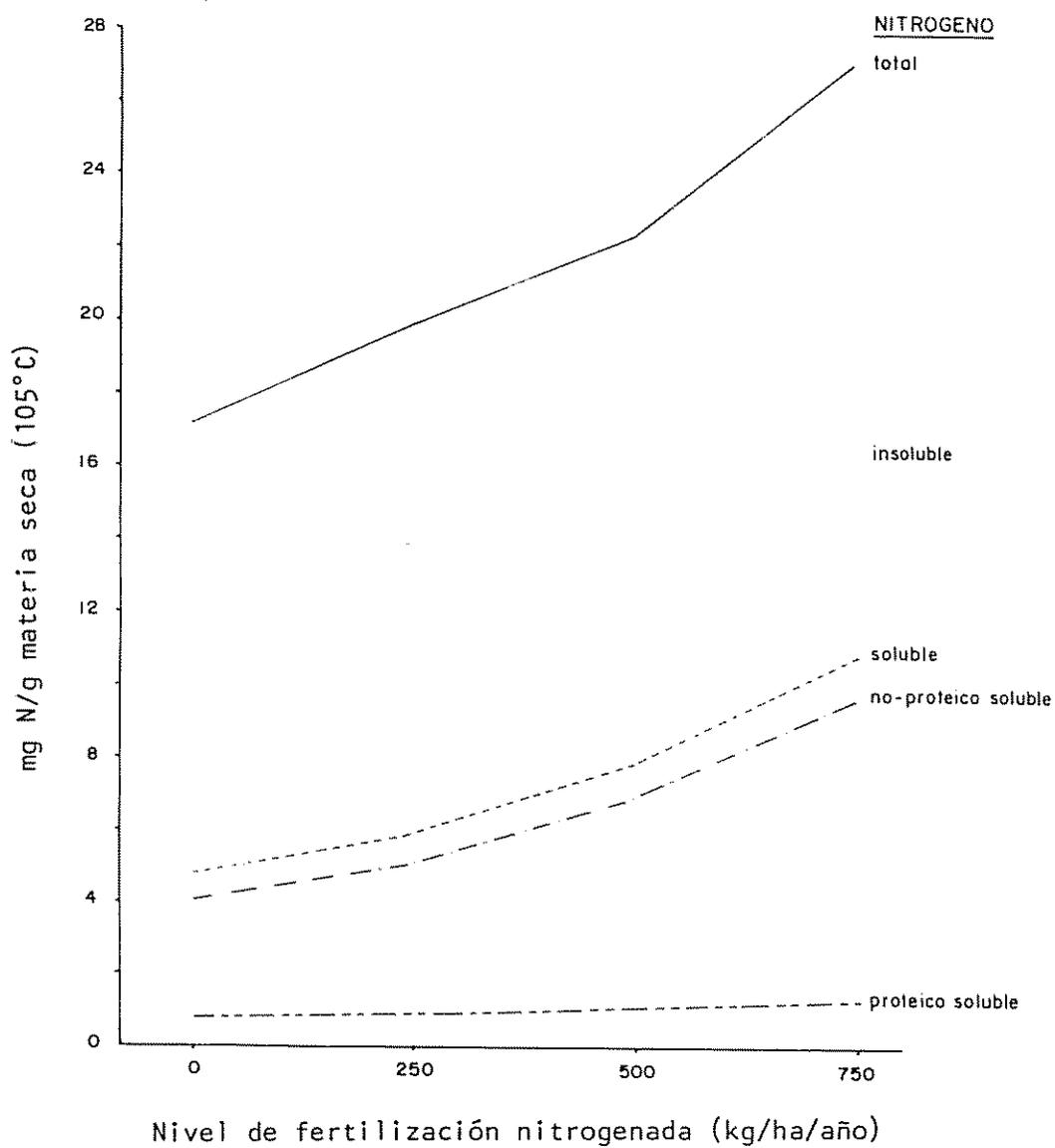


Fig. 6. NITROGENO (N) TOTAL Y FRACCIONES NITROGENADAS EN EL PASTO ESTRELLA SEGUN EL NIVEL DE FERTILIZACION NITROGENADA.

nitrógeno/ha/año fueron similares ( $P > 0.05$ ) entre sí. La edad de rebrote afectó ( $P < 0.05$ ) la cantidad de nitrógeno total (22.75 vs. 20.39 mg/g de materia seca para 3 y 4 semanas de rebrote, respectivamente) y de nitrógeno insoluble (15.12 vs. 13.32 mg/g de materia seca para 3 y 4 semanas de rebrote, respectivamente).

La transformación de los contenidos de las fracciones nitrogenadas como proporciones del contenido de nitrógeno total dio como resultado los valores que se presentan en el Cuadro 5. Los análisis de varianza de estos valores se presentan en los Cuadros 19A al 22A. La proporción de nitrógeno insoluble disminuyó ( $P < 0.05$ ) desde 72.1 hasta 60.6% cuando el nivel de fertilización se incrementó de cero a 750 kg/ha/año; esta disminución se contrarrestó con incrementos de la proporción de la fracción de nitrógeno soluble (Cuadro 5). El análisis de los resultados de la fracción correspondiente al nitrógeno proteico o proteína verdadera soluble indicó claramente que la proporción de esta fracción no fue afectada ( $P > 0.05$ ) por la fertilización nitrogenada. Mientras la fracción de nitrógeno proteico soluble fue en promedio de  $4.5 \pm 0.3\%$ , la fracción de nitrógeno no-proteico incrementó de 23.4 a 30.5 al aumentar la fertilización de cero a 750 kg de nitrógeno/ha/año.

Estos resultados indican que el efecto de la fertilización nitrogenada sobre las fracciones nitrogenadas del pasto Estrella se traduce normalmente en un incremento del nitrógeno total, pero este incremento está constituido principalmente por la fracción de nitrógeno soluble no-proteico, ya que la proporción de nitrógeno proteico permaneció prácticamente inalterable. Posiblemente parte de esos compuestos solubles no-proteicos estarían constituidos por aminoácidos libres, aminos, amidas, péptidos, polipéptidos, nitratos, nitritos y amonio (Goswami y Willcox, 1969; Pichard y Van Soest, 1977; Simpson y Stobbs, 1981).

Para estudiar las relaciones entre los contenidos de las fracciones nitrogenadas con la concentración de proteína cruda ( $N \times 6.25$ ), dentro del ámbito de valores obtenidos en este estudio (10 a 19%), se establecieron correlaciones lineales las cuales se presentan en la Figura 7 y en el Cuadro 23A. Las correlaciones ( $r$ ) encontradas ( $P < 0.01$ ) fueron del orden de 0.92 a 0.98

Cuadro 5. Proporción de las fracciones nitrogenadas en el pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada <sup>1/</sup>

Fracción nitrogenada	Nivel de nitrógeno (kg/ha/año)				D.E. <sup>2/</sup>
	0	250	500	750	
	----- % del N total -----				
Insoluble	72.1 <sup>a3/</sup>	69.7 <sup>ab</sup>	64.8 <sup>bc</sup>	60.6 <sup>c</sup>	3.9
Soluble <sup>4/</sup>	27.9 <sup>c</sup>	30.3 <sup>bc</sup>	35.2 <sup>ab</sup>	39.4 <sup>a</sup>	3.9
Proteico soluble	4.5	4.4	4.6	4.3	0.3
No-proteico soluble <sup>5/</sup>	23.4 <sup>c</sup>	25.8 <sup>bc</sup>	30.6 <sup>ab</sup>	35.0 <sup>a</sup>	3.9

1/ Determinaciones hechas sobre muestras compuestas; cada valor corresponde a la media de 6 cortes: 1<sup>o</sup>, 4<sup>o</sup> y 8<sup>o</sup>, y 1<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> y 6<sup>o</sup> para 3 y 4 semanas de rebrote, respectivamente

2/ Desviación estándar:  $\sqrt{\text{Cuadrado medio del error}^1}$

3/ Valores con diferente letra exponencial difieren estadísticamente (P < 0.05)

4/ Nitrógeno total - Nitrógeno insoluble

5/ Nitrógeno soluble - Nitrógeno proteico soluble

entre los diferentes parámetros. El estudio de las proporciones de las fracciones nitrogenadas con el contenido de proteína cruda del pasto Estrella resultó en correlaciones más bajas (0.82 a 0.84; P < 0.05) que las anteriores. La proporción de nitrógeno insoluble estuvo correlacionada negativamente con el contenido de proteína cruda; por otra parte, no se encontró correlación (P > 0.05) entre el contenido de proteína cruda y la proporción del nitrógeno proteico soluble o proteína verdadera (Cuadro 23A).

Muy poca información ha sido publicada referente al efecto de la fertilización nitrogenada sobre los componentes nitrogenados de los pastos. Un estudio realizado por Goswami y Willcox (1969) en pasto Ryegrass muestra que con incrementos en el nivel de fertilización nitrogenada de cero a 880 kg/ha se obtienen incrementos en el nitrógeno total debido principalmente a un aumento

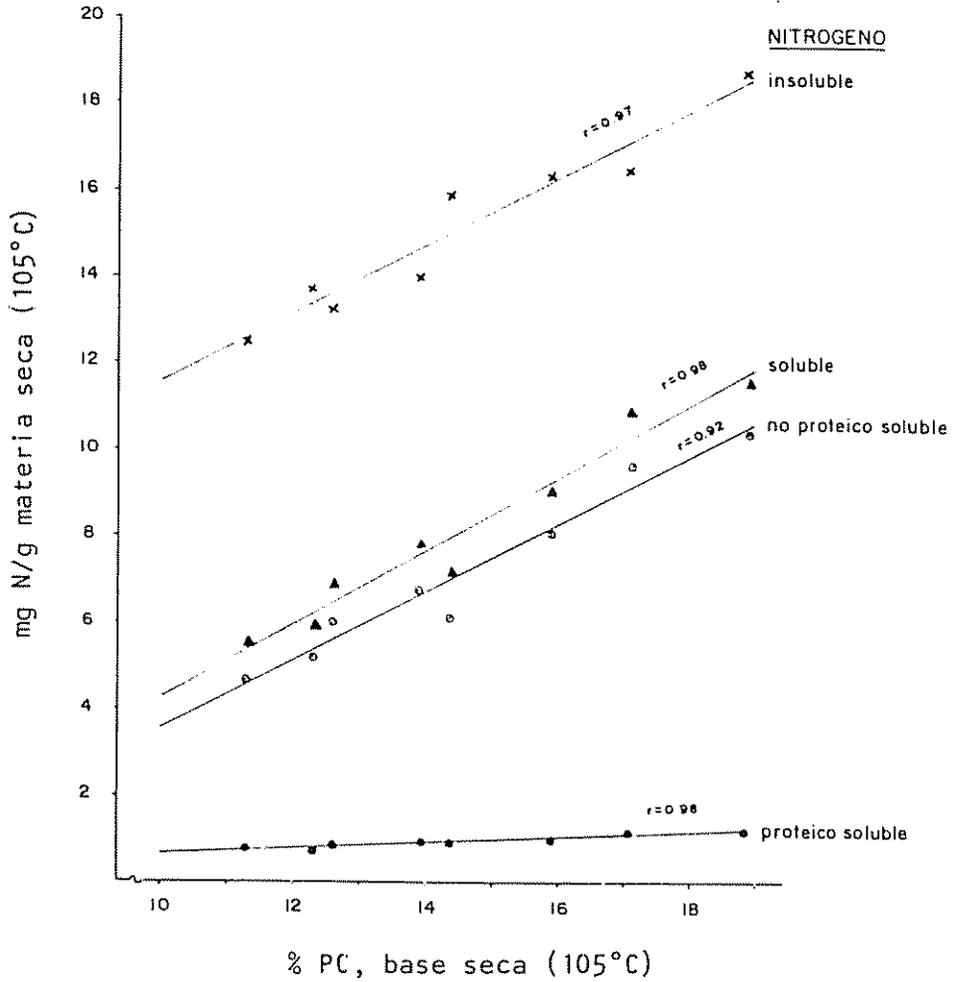


Fig. 7. CORRELACIONES ENTRE EL CONTENIDO DE PROTEINA CRUDA (PC) Y LOS CONTENIDOS DE LAS FRACCIONES NITROGENADAS EN EL PASTO ESTRELLA.

en el contenido (%) de nitrógeno no-proteico. Sin embargo, existen divergencias entre los valores de las diferentes fracciones nitrogenadas reportadas por Goswami y Willcox (1969) y las encontradas en el presente trabajo, debido principalmente a que los métodos analíticos sobre los cuales se ha basado el fraccionamiento de los componentes nitrogenados son diferentes. En general se ha encontrado que en muestras de diferentes forrajes la proporción de nitrógeno en la forma de proteína es menos del 5% del nitrógeno total (Krishnamoorthy et al., 1982).

#### 4.4.2 Contenido de pared celular

La fertilización nitrogenada y la edad de rebrote afectaron ( $P < 0.01$ ) el contenido de la pared celular del pasto Estrella, determinado como la fracción fibra detergente-neutro; los resultados detallados se presentan en el Cuadro 24A. Los valores promedio para los niveles de fertilización de 0, 250, 500 y 750 kg de nitrógeno/ha/año fueron 76.9, 75.7, 74.0 y 72.9%, respectivamente. Los valores correspondientes a las edades de rebrote fueron 73.9 y 75.7% de pared celular para 3 y 4 semanas, respectivamente.

Los valores de pared celular del pasto Estrella en el presente estudio fueron más altos que los reportados para pastos tropicales en otra investigación (Minson, 1981), pero coinciden con la tendencia a la disminución de la pared celular conforme se aumenta el nivel de fertilización (65.1 vs. 61.4% para niveles bajos y altos de fertilización; Minson, 1981).

Las causas que produjeron las variaciones en los contenidos de pared celular no fueron identificadas en este ensayo. Sin embargo, la relación hoja:tallo parece ser uno de los factores alterados por efecto de la fertilización (Minson, 1981) y por la edad de corte (Prine y Burton, 1956; Vicente-Chandler et al., 1983); así, la relación hoja:tallo tiende a disminuir con altos niveles de fertilización nitrogenada y al prolongar el intervalo de corte, provocando aumentos en la fracción fibrosa del pasto (Minson, 1981; Van Soest, 1982; Vicente-Chandler et al., 1983). Puesto que la relación hoja:tallo no fue determinada en este estudio es imposible atribuir a este parámetro el factor causal de los resultados encontrados en relación al contenido de pared celular.

#### 4.4.3 Desaparición ruminal de la materia seca in situ

La determinación de la desaparición ruminal de la materia seca in situ (DMSIS) fue realizada sobre las muestras compuestas obtenidas en el muestreo inicial, a la 12ª y 24ª semanas. Los valores reales obtenidos en cada muestra, según los tiempos de incubación ruminal evaluados, se presentan en el Cuadro 6. En todos los casos, la desaparición (%) de la materia seca incrementó rápidamente durante las primeras 24 horas de incubación ruminal; a partir de este punto y hasta 72 horas de incubación el aumento en la desaparición de la materia seca fue menos pronunciado. Pudo observarse también que consistentemente al aumentar el nivel de fertilización nitrogenada, se obtuvo mayor desaparición de la materia seca a nivel ruminal. En términos generales y como promedio de las dos edades de rebrote, los datos oscilaron de 15.9 a 19.8% de desaparición ruminal de la materia seca para cero y 750 kg nitrógeno/ha/año, respectivamente, cuando el tiempo de incubación fue de 1 hora; y de 67.9 a 73.0% de desaparición de la materia seca para cero y 750 kg nitrógeno/ha/año, respectivamente, cuando el tiempo de incubación ruminal fue de 72 horas.

La evaluación del efecto de los tratamientos sobre la DMSIS hecha a través de la medición de los parámetros desaparición inicial  $[1/(A+B)]$ , desaparición potencial  $(1/A)$ , tasa de aceleración de la desaparición  $(C)$  y tiempo de desaparición ruminal media en la materia seca  $[-\ln(A/B)/C]$ , apoyan las observaciones anteriores. Los parámetros de las regresiones  $(Y = 1/A+B e^{-Ct})$  para cada tratamiento se presentan en el Cuadro 25A.

Con excepción de la tasa de desaparición ruminal de la materia seca, los otros tres parámetros fueron afectados ( $P < 0.01$ ) por la fertilización nitrogenada (Cuadro 7 y Cuadros 26A al 29A). La mayor desaparición, tanto inicial como potencial, correspondió al nivel más alto de fertilización nitrogenada (750 kg/ha/año), mientras que los valores más bajos se obtuvieron con el pasto Estrella sin fertilizar o con el nivel más bajo de aplicación de nitrógeno (250 kg/ha/año). La fertilización nitrogenada afectó también el tiempo de desaparición ruminal media de la materia seca; a mayor nivel de fertilización, menor fue el tiempo de desaparición media ( $P < 0.05$ ).

Cuadro 6. Desaparición (%) ruminal de la materia seca in situ de las muestras de pasto Estrella.

TRATAMIENTOS		Fecha de corte	Tiempo (h) de incubación ruminal						
Nivel de nitrógeno, kg/ha/año	Edad de rebrote, semanas		1	4	8	16	24	48	72
			% de desaparición de la MS						
0	3	Inicial	17.3	20.3	26.2	36.2	47.0	64.7	70.0
250	3		17.2	21.4	27.4	35.3	47.5	62.9	68.4
500	3		18.7	23.2	29.9	40.4	52.2	65.2	69.5
750	3		19.0	23.4	30.9	43.5	52.8	64.9	74.0
0	3	Mitad	17.3	20.3	26.2	36.2	47.0	64.7	70.0
250	3		17.5	21.5	25.7	39.2	53.2	68.1	75.1
500	3		20.2	23.6	29.4	41.6	55.0	69.8	75.0
750	3		22.3	26.0	33.5	46.1	60.6	74.0	76.8
0	3	Final	17.3	20.3	26.2	36.2	47.0	64.7	70.0
250	3		18.9	22.9	28.8	40.0	51.5	64.7	70.4
500	3		22.0	26.1	33.4	43.4	55.7	68.6	72.2
750	3		22.2	26.4	32.8	43.4	57.1	69.0	74.5
0	4	Inicial	14.8	17.8	24.8	32.5	43.7	60.2	65.9
250	4		16.6	18.8	26.9	35.5	47.6	62.7	67.7
500	4		17.2	20.2	27.0	35.4	48.1	63.4	67.8
750	4		18.0	21.7	29.3	38.5	47.5	62.6	68.1
0	4	Mitad	12.9	16.9	23.5	31.3	42.7	58.4	66.4
250	4		16.1	18.9	24.2	37.8	45.6	62.5	70.0
500	4		16.3	19.9	26.0	36.0	46.6	62.7	68.8
750	4		18.5	23.1	26.2	38.1	51.8	66.2	71.5
0	4	Final	15.9	18.8	24.1	34.1	42.9	56.7	65.0
250	4		16.7	20.8	27.1	37.4	48.1	62.7	68.7
500	4		16.7	20.7	25.7	36.3	49.8	63.8	70.0
750	4		18.9	23.2	30.1	45.2	54.3	68.7	73.0

Cuadro 7. Parámetros de desaparición ruminal de la materia seca in situ del pasto Estrella según el nivel de fertilización nitrogenada<sup>1/</sup>

Parámetro	Nivel de nitrógeno (kg/ha/año)				D.E. <sup>2/</sup>
	0	250	500	750	
Desaparición potencial, %	67.9 <sup>c3/</sup>	69.5 <sup>b</sup>	70.2 <sup>b</sup>	72.2 <sup>a</sup>	1.3
Desaparición inicial, %	15.7 <sup>c</sup>	16.6 <sup>bc</sup>	17.8 <sup>b</sup>	19.2 <sup>a</sup>	0.5
Tasa de aceleración de la desaparición ruminal, %/h	0.077	0.082	0.084	0.086	0.005
Tiempo de desaparición ruminal media, h	15.7 <sup>a</sup>	14.1 <sup>b</sup>	13.0 <sup>c</sup>	11.9 <sup>d</sup>	0.7

1/ Cada valor proviene de la media de seis cortes: 1º, 4º y 8º, y 1º, 3º y 6º para 3 y 4 semanas de rebrote, respectivamente.

2/ Desviación estándar:  $\sqrt{\text{Cuadrado medio del error}}$

3/ Valores con diferente letra exponencial difieren estadísticamente ( $P < 0.05$ )

La edad de rebrote no afectó ( $P > 0.05$ ) la tasa de desaparición, pero si los otros tres parámetros (Cuadro 8 y Cuadros 26A al 29A). Al incrementar la edad de rebrote, la desaparición inicial y potencial disminuyeron y el tiempo de desaparición media aumentó.

Las curvas de DMSIS acumulativas del pasto Estrella a través del tiempo de incubación ruminal en función del nivel de fertilización y de la edad de rebrote se presentan en las Figuras 8 y 9, respectivamente. En general, las mayores DMSIS del pasto Estrella se obtuvieron con el nivel más alto de fertilización nitrogenada y con la menor edad de rebrote. En todas las curvas (Figuras 8 y 9) se observa una primera fase de incrementos crecientes de desaparición de la materia seca hasta aproximadamente 24 horas de incubación

ruminal, pero luego la tasa de desaparición fue disminuyendo hasta alcanzar los valores asintóticos después de aproximadamente 60 horas de incubación. La magnitud de las diferencias entre las curvas fue similar a través de todo el período de incubación ruminal, lo cual determinó la similitud ( $P > 0.05$ ) de las tasas de aceleración de la desaparición ruminal entre los tratamientos.

Cuadro 8. Parámetros de desaparición ruminal de la materia seca in situ del pasto Estrella según la edad de rebrote<sup>1/</sup>

Edad de rebrote, semanas	Desaparición potencial, %	Desaparición inicial, %	Tasa de aceleración desaparición ruminal, %/h	Tiempo de desaparición ruminal media, h
3	71.8 <sup>a2/</sup>	18.4 <sup>a</sup>	0.08	13.0 <sup>b</sup>
4	68.2 <sup>b</sup>	16.3 <sup>b</sup>	0.08	14.4 <sup>a</sup>

<sup>1/</sup> Cada valor proviene de la media de tres cortes: 1<sup>o</sup>, 4<sup>o</sup> y 8<sup>o</sup> ó 1<sup>o</sup>, 3<sup>o</sup> y 6<sup>o</sup> para 3 ó 4 semanas de rebrote, respectivamente.

<sup>2/</sup> Valores con diferente letra exponencial en una misma columna difieren estadísticamente ( $P < 0.05$ )

La desaparición inicial (intercepto) de la materia seca varió entre 15.7 y 19.2% cuando el nivel de nitrógeno aumentó de cero a 750 kg/ha/año. Estos valores sugieren que aproximadamente una quinta parte de la materia seca desaparece inmediatamente después de que se coloca la muestra en el rumen. Esta parte de la materia seca estaría constituida de componentes rápidamente degradables y por lo tanto altamente digestibles. Uno de estos componentes sería la fracción de nitrógeno soluble cuya proporción aumentó con el nivel de fertilización (Cuadro 5). La fracción de nitrógeno soluble ha demostrado estar altamente correlacionada con la degradación ruminal del nitrógeno en alimentos fibrosos (henos de leguminosas y gramíneas) principalmente durante las primeras cuatro horas de incubación (Crawford et al., 1978).

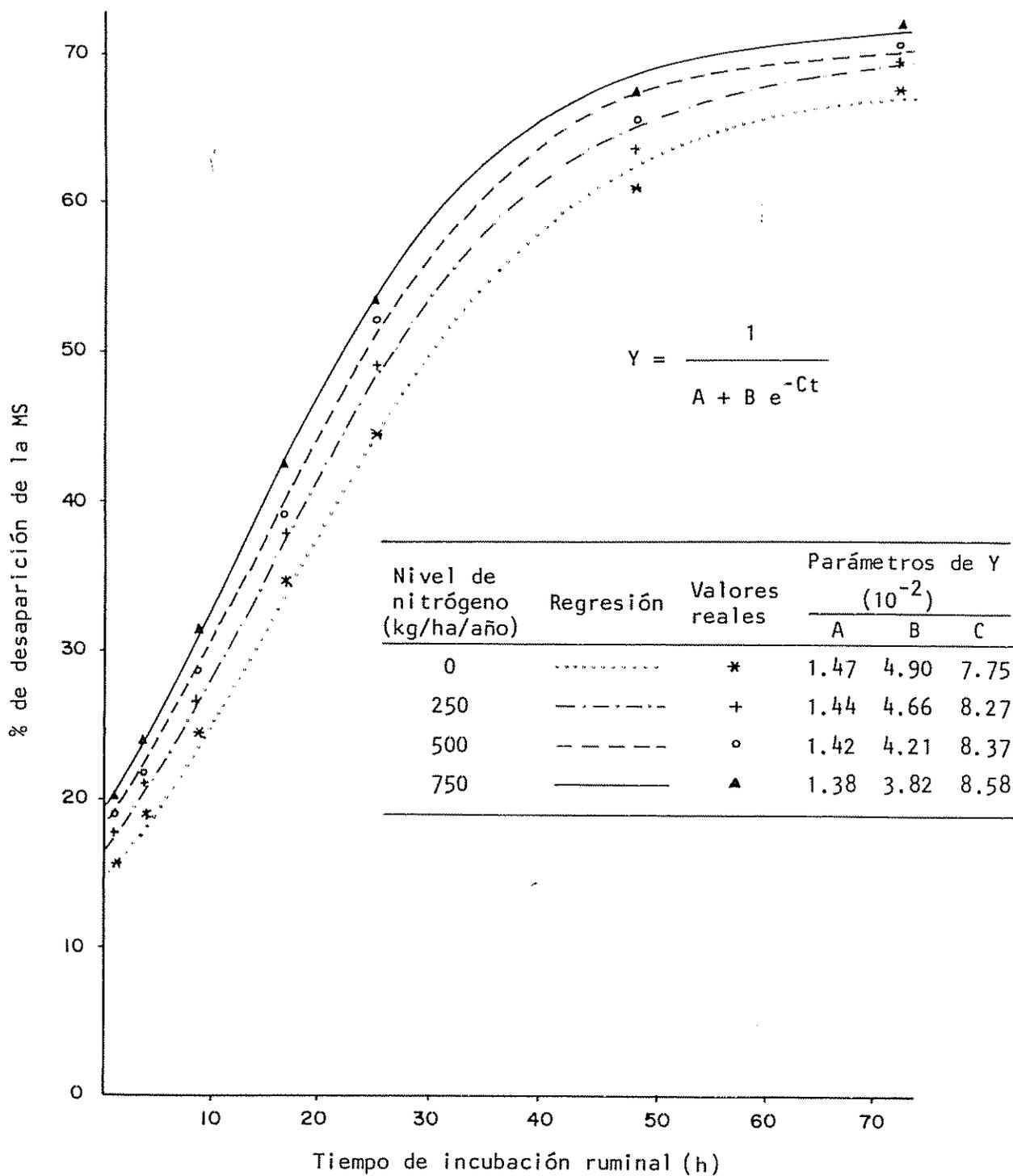


Fig. 8. DESAPARICION ACUMULATIVA DE LA MATERIA SECA (MS) DEL PASTO ESTRELLA A NIVEL RUMINAL, SEGUN EL NIVEL DE FERTILIZACION NITROGENADA.

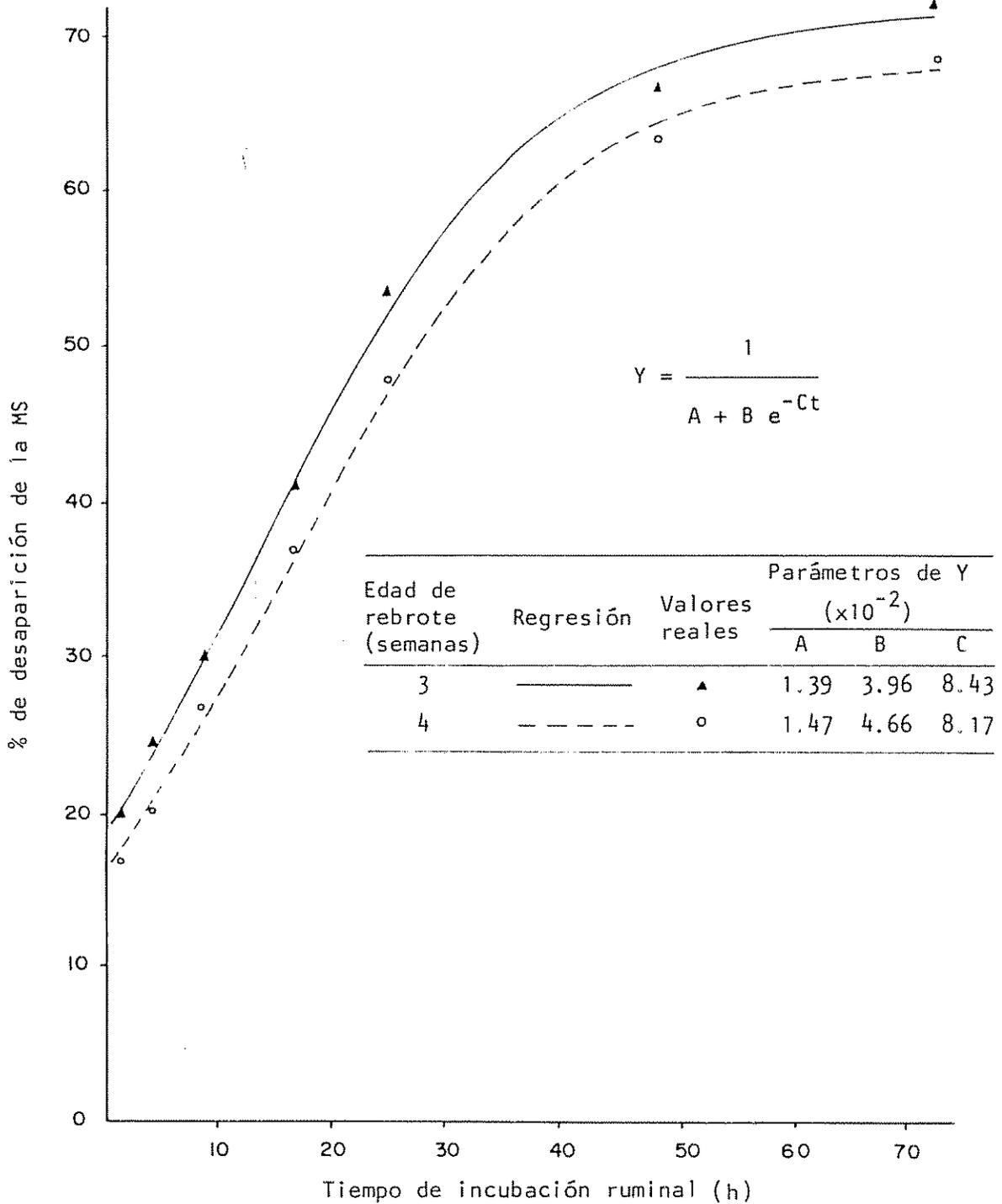


Fig. 9. DESAPARICIÓN ACUMULATIVA DE LA MATERIA SECA (MS) DEL PASTO ESTRELLA A NIVEL RUMINAL, SEGUN LA EDAD DE REBROTE.

Por otra parte, los aumentos del nivel de nitrógeno condujeron a disminuciones ( $P < 0.01$ ) en los contenidos de pared celular y aumentos ( $P < 0.01$ ) en las fracciones nitrogenadas en general, lo cual probablemente determinó mayor desaparición potencial al incrementar el nivel de nitrógeno. Los efectos de la edad de rebrote sobre la DMSIS podrían ser explicados por el aumento en el contenido de pared celular al aumentar la edad de rebrote ya que la fracción nitrogenada soluble no fue afectada ( $P > 0.05$ ) por este factor.

Los datos obtenidos revelaron que la desaparición potencial de la materia seca medida por la técnica in situ fue afectada por el nivel de nitrógeno aplicado obteniéndose valores de 67.9 y 72.2% para los tratamientos no fertilizados y fertilizados con 750 kg de nitrógeno/ha/año, respectivamente. Las variaciones de la desaparición potencial a través de los niveles crecientes de nitrógeno no fueron tan espectaculares como las reportadas por Carrillo (1974), quien utilizó la técnica in vitro. Los resultados mostrados en el presente trabajo señalan que las diferencias entre los niveles de fertilización fueron del orden de una o dos unidades porcentuales tanto para la desaparición inicial como potencial (Cuadro 7); este hecho concuerda con lo expresado por Hacker y Minson (1981) y Minson (1982) quienes encontraron que en pastos tropicales la desaparición de la materia seca aumentaba de 59 a 61% cuando se aplicaron niveles bajos y altos de fertilización nitrogenada, respectivamente.

El efecto de la edad de rebrote sobre la desaparición in situ encontrada en este ensayo ha sido también reportado en otras investigaciones (Blaser, 1964; Vicente-Chandler *et al.*, 1983) al estudiar la desaparición in vitro. Sin embargo, el descenso diario en la desaparición potencial entre 3 y 4 semanas (alrededor de 0.5 %/día) fue superior al valor sugerido por Minson (1981) de 0.1 a 0.2 %/día para pastos tropicales. En general, la curva de desaparición acumulativa de la materia seca obtenida en el tratamiento no fertilizado y cosechado cada 4 semanas, coincide con la encontrada en un estudio en Turrialba (Medina, 1980) en el cual se evaluó la desaparición in situ de la materia seca del pasto Estrella, aunque no se hace referencia al tipo de manejo que recibió la gramínea.

#### 4.5 Efecto de la fertilización nitrogenada sobre algunas características del suelo

Las características químicas y de fertilidad del suelo fueron evaluadas a través de los siguientes parámetros: pH, fósforo, potasio, magnesio, calcio, acidez extraíble, nitrógeno total, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. Estas determinaciones se hicieron antes de iniciar el experimento y al final del mismo. El Cuadro 9 presenta un resumen de los resultados obtenidos. No ocurrieron cambios importantes en el pH por efecto del nivel de fertilización durante el período de observación. La materia orgánica y el nitrógeno total tendieron a disminuir según avanzó el experimento, independientemente del nivel de fertilización, pues este factor no tuvo efecto sobre ambos parámetros.

En términos generales, los contenidos de potasio, calcio y magnesio disminuyeron según avanzó el experimento, pero no existió efecto consistente del nivel de fertilización. Los contenidos de potasio fueron elevados, sin embargo, las relaciones Mg/K y (Ca+Mg)/K estuvieron dentro del rango normal (Díaz-Romeu y Hunter, 1978), lo cual indica que existió poca probabilidad de desbalance entre estos nutrimentos. Por otra parte, el fósforo disminuyó notoriamente entre la primera y la última determinación; además, las parcelas que recibieron los mayores niveles de nitrógeno mostraron menores contenidos de fósforo en el suelo, efecto que pudo deberse a una mayor extracción de fósforo por la planta como consecuencia de la producción de vegetación obtenida.

La acidez extraíble y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se mantuvieron prácticamente constantes en el tiempo y con diferencias pequeñas y no consistentes por efecto de la fertilización. Con observaciones realizadas mediante muestreo del suelo a diferentes profundidades se pudo comprobar cierto grado de saturación del suelo por humedad en los períodos de alta precipitación, lo cual ha sido identificado en estudios específicos en un ensayo previo (Aguirre, 1971). La información obtenida sobre las características del suelo fue muy limitada dado lo corto del período experimental y por esta razón no pudieron ser detectados cambios significativos en este componente por efecto de los tratamientos.

Cuadro 9. Características químicas y de fertilidad del suelo al inicio y finalización del período experimental<sup>1/</sup>

Nivel de nitrógeno (kg N/ha año)	pH <sup>2/</sup>	M.O. (%)	N total (%)	p <sup>3/</sup> (µg/ml suelo)	K <sup>3/</sup> (meq/100 ml suelo)	Ca <sup>4/</sup> (meq/100 ml suelo)	Mg <sup>4/</sup> (meq/100 ml suelo)	Acidez 4/ extraíble	C.a.C. <sup>5/</sup> (meq/100 g)	
										6.8 <sup>bc</sup>
0	5.3	5.3 <sup>b</sup>	0.35	0.33	11.66	0.73 <sup>ab</sup>	6.37	1.34	0.25	30.5
250	5.5	5.5 <sup>a</sup>	0.37	0.30	10.33	0.61 <sup>b</sup>	6.44	1.32	0.25	31.3
500	5.7	5.7 <sup>a</sup>	0.40	0.34	11.42	0.84 <sup>a</sup>	6.67	1.40	0.23	31.7
750	5.7	5.7 <sup>a</sup>	0.38	0.34	10.24	0.73 <sup>ab</sup>	5.94	1.30	0.28	30.8

<sup>1/</sup> Para cada parámetro, los valores de la primera y segunda columna corresponden a las determinaciones inicial y final (24<sup>ta</sup> semana), respectivamente. Cada valor es el promedio de 3 repeticiones.

<sup>2/</sup> pH medido en agua.

<sup>3/</sup> P y K determinados mediante Olsen modificado; NaCO<sub>3</sub> EJMA.

<sup>4/</sup> Ca, Mg y acidez extraíble determinados mediante KCl 1N.

<sup>5/</sup> CIC determinado mediante acetato de amonio 1N, pH7.

<sup>6/</sup> Valores con diferente letra exponencial en una misma columna difieren estadísticamente (P < 0.05)

## 5. DISCUSION GENERAL

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron el marcado efecto ( $P < 0.01$ ) que la fertilización nitrogenada ejerció sobre la producción de la materia seca de la vegetación total y del pasto Estrella. Cabe destacar, sin embargo, que los niveles de 500 y 750 kg de nitrógeno/ha/año produjeron resultados similares ( $P > 0.05$ ) entre sí, tanto en la producción de materia seca por corte como en la producción acumulativa durante el período experimental. Por otro lado, la edad de rebrote de 4 semanas resultó en una mayor producción de materia seca por corte, especialmente para el pasto Estrella.

La combinación de los niveles altos de nitrógeno (500 y 750 kg/ha/año) con la edad de rebrote de 4 semanas resultó en producciones de vegetación total y del pasto Estrella más sostenidas en el tiempo que la combinación con 3 semanas. Las parcelas cortadas cada 3 semanas parecieron agotarse más rápidamente, pues el ritmo de producción durante la segunda mitad del experimento fue menor al obtenido en la primera mitad (Figura 4). Bajo las condiciones de la presente investigación, la edad de rebrote de 3 semanas fue insuficiente para lograr los máximos beneficios de la fertilización nitrogenada. Para las condiciones de Turrialba se han sugerido frecuencias de pastoreo o de corte de 14 (Carrillo, 1974), 21 (Ramírez, 1974) y 30 días (Ricardo, 1973), dependiendo del período de evaluación. Los resultados de este estudio sugieren que son necesarias al menos 4 semanas de edad de rebrote para lograr las mayores producciones de materia seca.

Aunque los resultados experimentales muestran que los efectos de la fertilización nitrogenada concuerdan con y presentan tendencias similares a aquellos publicados en la literatura, las producciones especialmente del pasto Estrella, con los niveles mayores de nitrógeno (500 y 750 kg/ha/año), fueron más bajas (12 t MS/ha/año, en promedio) que las logradas con este mismo pasto en otras regiones tropicales y bajo condiciones de fertilización similares (Caro-Costas, Abruña y Figarella, 1972; Herrera, Lotero y Crowder, 1982; Vicente-Chandler et al., 1983) y cuyos rendimientos han sido superiores a 20 t MS/ha/año.

Las diferencias en la producción de materia seca entre ésta y otras investigaciones pueden ser parcialmente explicadas por las características de la composición botánica de la pastura evaluada. Las parcelas experimentales usadas en este estudio contenían inicialmente una proporción de pasto Estrella de alrededor de 46%, pero a través del período experimental se observó una reducción progresiva del pasto Estrella. Aunque los factores estudiados (nivel de fertilización y edad de rebrote) no afectaron ( $P > 0.05$ ) la composición botánica de la pastura, se pudo observar una mayor persistencia del pasto Estrella en las parcelas que recibieron los niveles más altos de nitrógeno (500 y 750 kg/ha/año). Trabajos anteriores realizados en Turrialba (Ricardo, 1973; Zañartu, 1975) no obtuvieron efectos claros sobre los cambios en la proporción del pasto Estrella tanto con proporciones iniciales bajas ( $\sim 54\%$ , Ricardo, 1973) como altas ( $\sim 90\%$ , Zañartu, 1975). La información obtenida sugiere que un aspecto que merece especial atención es el efecto de la fertilización y de los intervalos de corte o de pastoreo sobre la composición botánica de la pastura a través del tiempo.

La duración del período experimental no permite derivar conclusiones sobre parámetros tan importantes como la eficiencia en la utilización o recuperación del nitrógeno en la pastura fertilizada y el mantenimiento o cambios en la fertilidad del suelo, como resultado de la fertilización nitrogenada. Los resultados de la presente investigación mostraron que con niveles de fertilización más altos de 500 kg de nitrógeno/ha/año se observó una tendencia a la disminución de la eficiencia de utilización del fertilizante. Trabajos en Puerto Rico (Vicente-Chandler *et al.*, 1964) encontraron que la eficiencia en la utilización del nitrógeno disminuyó desde valores de 51 hasta 12 kg de materia seca/kg de nitrógeno aplicado, conforme el nivel de nitrógeno aumentaba de 220 a 880 kg/ha/año. Esta clase de información requiere de períodos experimentales más prolongados, preferencialmente complementados con la utilización, por parte de los animales, de las pasturas fertilizadas y sustentadas con una evaluación económica.

Los resultados relacionados con los efectos de la fertilización nitrogenada y la edad de rebrote sobre algunas características nutricionales del pasto Estrella son los que aportan información adicional, la cual no fue encontrada

en la literatura. Dada la heterogeneidad del resto de la vegetación diferente al pasto Estrella en las parcelas experimentales, no se estudió los efectos de los tratamientos sobre la calidad nutricional de la pastura total. Este es un aspecto que requiere mayor consideración en futuros estudios.

El contenido de proteína cruda ( $N \times 6.25$ ) del pasto Estrella se incrementó marcadamente ( $P < 0.01$ ) al elevar el nivel del nitrógeno, desde 11.1 hasta 17.1% de proteína cruda (en base seca) al pasar de cero a 750 kg de nitrógeno/ha/año. Por otro lado, el contenido de proteína cruda fue mayor a la menor edad de rebrote. Estos efectos y tendencias han sido ampliamente documentados en la literatura (Herrera, Lotero y Crowder, 1967; Caro-Costas, Abruña y Figarella, 1972; Ricardo, 1973; Carrillo, 1974; Sotomayor-Ríos *et al.*, 1976; Vicente-Chandler *et al.*, 1983). En general, los contenidos de proteína cruda del pasto Estrella evaluados en este ensayo fueron mayores que los obtenidos en otros estudios; además, las diferencias en los contenidos de proteína cruda entre las dos edades de rebrote no fueron tan notorias al compararlas con los resultados de otros trabajos en los cuales los periodos entre cortes fueron mayores (dentro del ámbito de 30 a 90 días; Caro-Costas, Abruña y Figarella, 1972).

El fraccionamiento del contenido de nitrógeno del pasto Estrella reveló que entre 60 y 72% del nitrógeno total correspondió a la fracción de nitrógeno insoluble y el resto estuvo constituido por formas de nitrógeno soluble. La fertilización nitrogenada hasta 750 kg/ha/año se manifestó en incrementos de todas las fracciones nitrogenadas (Figura 6), pero la proporción de nitrógeno insoluble disminuyó conforme se incrementó el nivel de nitrógeno, mientras que la proporción de nitrógeno soluble aumentó (Cuadro 5).

El análisis de los resultados de las fracciones nitrogenadas indicó que la proporción de proteína verdadera soluble (nitrógeno proteico soluble) no fue afectada por la fertilización nitrogenada, ni por la edad de rebrote, y fue sólo alrededor de 4.5% del nitrógeno total. Valores similares para otros forrajes han sido reportados por Krishnamoorthy *et al.* (1982).

La identificación de los componentes de la fracción de nitrógeno soluble no-proteico requiere especial atención, ya que fue la fracción que se incrementó en mayor proporción por efecto de la fertilización nitrogenada. Parte de estos compuestos nitrogenados solubles no-proteicos estarían constituidos por aminoácidos libres, aminos, amidas, péptidos, polipéptidos, nitratos, nitritos y amonio (Goswani y Willcox, 1969; Pichard y Van Soest, 1977; Simpson y Stobbs, 1981). Los tres últimos compuestos podrían constituir, dependiendo de sus concentraciones, sustancias potencialmente tóxicas para los animales en pastoreo. Los resultados de las extensas investigaciones sobre fertilización nitrogenada de pastos tropicales en Puerto Rico (Vicente-Chandler *et al.*, 1983) indican, sin embargo, que solo fueron detectadas trazas de nitratos aún con los más altos niveles de fertilización nitrogenada. La determinación de nitratos y nitritos en la fracción de nitrógeno no-proteico soluble debería ser un complemento en los estudios sobre la identificación de las fracciones nitrogenadas de los pastos fertilizados.

Aumentos en el nivel de nitrógeno y la menor edad de rebrote (3 semanas) produjeron disminuciones en el contenido de la pared celular. Estos efectos pueden ser posiblemente causados por cambios morfológicos en la planta por efecto de la fertilización y del intervalo entre cortes (Prine y Burton, 1956; Minson, 1981; Van Soest, 1982; Vicente-Chandler *et al.*, 1983). La relación hoja:tallo no fue determinada en este estudio y es uno de los parámetros que debería ser evaluado en futuras investigaciones.

Los efectos de la fertilización nitrogenada y la edad de rebrote sobre los componentes nutricionales antes descritos fueron reafirmados con los incrementos en la desaparición potencial de la materia seca *in situ* a nivel ruminal (Figuras 8 y 9). La desaparición potencial mejoró de un 68 a 72% al pasar de cero a 750 kg de nitrógeno/ha/año y en la misma magnitud al reducir la edad de rebrote de 4 a 3 semanas. Por otro lado, los niveles más altos de nitrógeno produjeron una disminución en el tiempo de desaparición media de la materia seca; así, el nivel más alto de fertilización nitrogenada (750 kg/ha/año) produjo una calidad del pasto Estrella que se manifestó en una reducción de aproximadamente 4 horas en el tiempo de desaparición media al compararlo con el pasto no fertilizado. La reducción en este tiempo por efecto de la edad de

rebrote (3 vs. 4 semanas) fue de 1.5 horas. Los pastos no fertilizados o que recibieron los menores niveles de fertilizante tuvieron menor desaparición y requirieron de mayores tiempos para alcanzar la degradabilidad ruminal media; sin embargo, no se detectaron efectos significativos en las tasas de aceleración de la desaparición dada la naturaleza de las curvas obtenidas (Figuras 8 y 9).

Estos resultados sugieren posibles efectos sobre la tasa de flujo o pasaje del pasto consumido por los animales a través de los compartimentos digestivos del rumiante, que podrían resultar en incrementos del consumo de forraje. Estas suposiciones necesitan ser confirmadas a través de investigaciones más detalladas con animales.

En resumen, los resultados de la presente investigación aportan información importante especialmente en lo relacionado con el fraccionamiento del nitrógeno y con la desaparición ruminal de la materia seca in situ del pasto Estrella, sometido a niveles crecientes de fertilización nitrogenada en combinación con dos edades de rebrote. La información obtenida sugiere varias líneas adicionales de investigación que han sido expuestas a través de la discusión general. Los trabajos futuros deberán ser ejecutados a través de períodos más prolongados y en lo posible complementados con evaluaciones in vivo y estimaciones económicas.

## 6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten proponer las siguientes conclusiones:

- a. Las más altas producciones de materia seca (por corte o acumulativas y por unidad de área) de la vegetación total y del pasto Estrella se obtuvieron con los niveles de fertilización nitrogenada de 500 y 750 kg/ha/año. Las producciones en ambos niveles fueron similares ( $P > 0.05$ ) entre sí.
- b. La producción acumulativa de materia seca del pasto Estrella fue similar ( $P > 0.05$ ) para las dos edades de rebrote de 3 y 4 semanas.
- c. La eficiencia de utilización del nitrógeno por el pasto Estrella no fue afectada ( $P > 0.05$ ) por los tratamientos experimentales. Sin embargo, se observó la tendencia a una menor utilización del nitrógeno con el nivel más alto (750 kg de nitrógeno/ha/año).
- d. El aumento del nivel de nitrógeno provocó una disminución del contenido de materia seca y de pared celular y un incremento del contenido de nitrógeno o proteína cruda ( $N \times 6.25$ ). La mayor edad de rebrote estuvo asociada con un mayor contenido de materia seca y de pared celular, pero con menor contenido de proteína cruda.
- e. La proporción del nitrógeno proteico soluble o proteína verdadera soluble fue solo alrededor de 4.5% del nitrógeno total y no fue alterada por los tratamientos experimentales. El aumento del nitrógeno total del pasto Estrella fertilizado corresponde principalmente a la fracción de nitrógeno soluble no-proteico. La proporción de nitrógeno insoluble disminuyó conforme el nivel de fertilización aumentó.

- f. Los incrementos en el nivel de fertilización nitrogenada produjeron un aumento del contenido de nitrógeno y una disminución del contenido de pared celular, cambios que se manifestaron en una mayor desaparición de la materia seca a nivel ruminal. El tiempo de desaparición media de la materia seca en el rumen fue disminuído ( $P < 0.05$ ) al incrementar el nivel de nitrógeno. la desaparición ruminal del pasto Estrella cortado cada 4 semanas fue menor que la del pasto cortado cada 3 meses.

## 7. LITERATURA CITADA

- AGUIRRE, A., V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA-Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA-CTEI, 1971. 139 p.
- BAILEY, C.B. Rates of digestion of swallowed and unswallowed dried grass in the rumen. Canadian Journal of Animal Science 42:49-54. 1962.
- BATEMAN, J.V. Nutrición Animal. Manual de métodos analíticos. México, D.F., Herrero, 1970. 468 p.
- BLASER, R.E. Symposium on forage utilization: Effects of fertility levels and stage of maturity on forage nutritive value. Journal of Animal Science 23:246-253. 1964.
- BENSADOUN, A. y WEINSTEIN, D. Assay of proteins in the presence of interfering materials. Analytical Biochemistry 70:241-250. 1976.
- CARO-COSTAS, R., ABRUÑA, F. y FIGARELLA, J. Effect of nitrogen rates, harvest interval and cutting heights on yield and composition of star grass in Puerto Rico. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 56:267-279. 1972.
- CARRILLO G., F. Frecuencia de pastoreo y fertilización nitrogenada en la producción de seis gramíneas tropicales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1974. 91 p.
- CRAWFORD, JR. R.J., HOOVER, W.H., SNIFFEN, C.J. y CROOKER, B.A. Degradation of feedstuff nitrogen in the rumen vs. nitrogen solubility in three solvents. Journal of Animal Science 46:1768-1775. 1978.
- CROOKER, B.A., SNIFFEN, C.J., HOOVER, W.H. y JOHNSON, L.L. Solvents for soluble nitrogen measurements in feedstuffs. Journal of Dairy Science 61: 437-447. 1978.
- DEVILLE, J., FIGON, C. y EMMANUEL, S. Comparación de la degradabilidad del rumen de algunos alimentos por medio de la técnica de la bolsa de fibra artificial. Producción Animal Tropical 5:54-57. 1980.
- DIAZ-ROMEU, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. 68 p.

- DUCCA, E. Intervalo de corte y fertilización nitrogenada en la producción, contenido de nitrógeno y digestibilidad in vitro de tres pastos en varias localidades de Costa Rica. Informe de Problema Especial, Seminario de Producción Animal. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1984. 23 p.
- ESPINOZA, J.E. Caracterización nutritiva de la fracción nitrogenada del forraje de madero negro Gliricidia sepium y poró Erythrina poeppigiana. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, 1984. 90 p.
- GOERING, H.K. y VAN SOEST, P.J. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook no. 379. 1970. 20 p.
- GOSWAMI, A.K. y WILLCOX, J.S. Effect of applying increasing levels of nitrogen to Ryegrass. I. Composition of various nitrogenous fractions and free amino acids. Journal of the Science of Food and Agriculture 20: 592-595. 1969.
- GUERRERO R., R. Estudio del efecto de dosis ascendentes de N, dosis ascendentes de  $P_2O_5$  en dos formas de aplicación y de cuatro combinaciones de N P sobre la producción y composición del pasto Elefante (Pennisetum purpureum Schum). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. 84 p.
- HACKER, J.B. y MINSON, D.J. The digestibility of plant parts. Herbage Abstracts 51:459-482. 1981.
- HERRERA, R.S. Fertilización nitrogenada y edad de rebrote en la composición química de Cynodon dactylon cv. Coast cross. Revista Cubana de Ciencias Agrícolas 11:331-345. 1977.
- HERRERA, G.P., LOTERO, J.C. y CROWDER, L.V. Influencia del nitrógeno y frecuencia de aplicación en la producción de forraje y proteína del pasto pangola. Agricultura Tropical (Colombia) 23:297-321. 1967.
- HUTTON, E.M. Problemas y éxitos en praderas de leguminosas y gramíneas, especialmente en América Latina Tropical. In Tergas, L.E. y Sánchez, P.A. eds. Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Cali, Colombia, CIAT, 1978. pp. 87-101.
- KEMPTON, T.J. El uso de bolsas de nylon para caracterizar el potencial de degradabilidad de alimentos para el rumiante. Producción Animal Tropical 5:115-126. 1980.

- KRISHNAMCORTHY, U., MUSCATO, T.V., SNIFFEN, C.J. y VAN SOEST, P.J. Nitrogen fraction in selected feedstuffs. *Journal of Dairy Science* 65:217-225. 1982.
- LEMUS P., A. Producción de carne bovina en praderas de pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*, Vanderyst var. *nlemfuensis*) bajo diferentes presiones de pastoreo y niveles de fertilización nitrogenada. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1977. 104 p.
- LINDBERG, J.E. The effect of basal diet on the ruminal degradation of dry matter, nitrogenous compounds and cell walls in nylon bags. *Swedish Journal of Agricultural research* 11:159-169. 1981.
- LINDBERG, J.E. y VARVIKKO, T. The effect of bag pore size on the ruminal degradation of dry matter, nitrogenous compounds and cell walls in nylon bags. *Swedish Journal of Agricultural Research* 12:163-171. 1982.
- LOWRY, O.H., ROSEBROUGH, N.J., FARR, A.L. y RANDALL, R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry* 193:265-275. 1951.
- MAPOON, L.K. Degradabilidad de algunos forrajes altos en proteínas en el rumen. *Producción Animal Tropical* 5:58-61. 1980.
- MEDINA, R. Tasas de digestión y digestibilidad potencial ruminal de materiales fibrosos en función de niveles de almidón suplementario. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1980. 69 p.
- MEHREZ, A.Z. y ØRSKOV, E.R. A study of the artificial fibre bag technique of determining the digestibility of feeds in the rumen. *Journal of Agricultural Science* 88:645-650. 1977.
- MEHREZ, A.Z., ØRSKOV, E.R. y McDONALD, I. Rate of rumen fermentation in relation to ammonia concentration. *British Journal of Nutrition* 38:437-442. 1977
- MINSON, D.J. The nutritive value of tropical pastures. *Journal of the Australian Institute of Agriculture Science* 37:255-263. 1971.
- MINSON, D.J. Nutritional differences between tropical and temperate pastures. In Morley, F.H.W., ed. *World Animal Science, B 1. Grazing Animals.* Amsterdam, Elsevier Scientific, 1981. pp. 143-157.

- MONSON, W.G. y BURTON, G.W. Harvest frequency and fertilizer effects on yield, quality, and persistence of eight Bermudagrasses. *Agronomy Journal* 74:371-374. 1982.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of beef cattle. 6th ed. Washington D.C., National Academic Press, 1984. 90 p.
- NEATHERY, M.W. Conventional digestion trials vs. nylon bag technique for determining seasonal difference in quality of midland Bermuda grass forage. *Journal of Animal Science* 34:1075-1084. 1972.
- ØRSKOV, E.R. y DEB HOVELL, F.D. Digestión ruminal del heno (medida a través de bolsas de dacrón) en el ganado alimentado con caña de azúcar o heno de Pangola. *Producción Animal Tropical* 3:9-11. 1978.
- ØRSKOV, E.R., DEB HOVELL, F.D. y MOULD, F. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de los alimentos. *Producción Animal Tropical* 5:213-233. 1980.
- ØRSKOV, E.R. y McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurement weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science* 92:499-503. 1979.
- PAINÉ, C.A., CRAWSHAW, R. y BARBER, W.P. A complete exchange method for the in sacco estimation of rumen digestibility on a routine basis. In Thomson, D.J., Beaver, D.E. y Gunn, R.G., eds. *Forage Protein in Ruminant Animal Production*. British Society of Animal Production. Occasional Publication no. 6. 1982. 193 p.
- PARETAS, J.J., LOPEZ, M. y CARDENAS, M. Influencia de la fertilización con N y la frecuencia de corte sobre tres cvs. del género *Cynodon*. *Pastos y Forrajes (Cuba)* 4:329-335. 1981.
- PEREZ, E. Efecto de la suplementación de bovinos con banano verde sobre la dinámica de su fermentación ruminal. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1983. 61 p.
- PICHARD, G. y VAN SOEST, P.J. Protein solubility of ruminant feeds. In *Proceedings Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*. New York, Cornell University, 1977. pp. 91-98.

- PLAYNE, M.J., KHUMNUALTHONG, W. y ECHEVARRIA, M.G. Factors affecting the digestion of oesophageal fistula samples and hay samples in nylon bags in the rumen of cattle. *Journal of Agricultural Science* 90:193-204. 1978.
- PRINE, G.M. y BURTON, G.W. The effect of nitrogen rate and clipping frequency upon the yield, protein content and certain morphological characteristics of coastal Bermudagrass (Cynodon dactylon, (L) Pers.). *Agronomy Journal* 48:296-301. 1956.
- RAMIREZ, P.A. Efecto del ciclo de uso, la presión de pastoreo y la fertilización nitrogenada en la producción de praderas de pasto Estrella. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 122 p.
- RAMOS, R., HERRERA, R.S. y CURBELO, F. Regrowth age and nitrogen levels in star grass (Cynodon nlemfuensis). I. Yield components and efficiency of nitrogen utilization. *Cuban Journal of Agricultural Science* 16:313-321. 1982.
- RICARDO R., F. Efecto del nitrógeno y del corte en la producción y composición del pasto Estrella africana [Cynodon nlemfuensis (K. Shum) Pilger]. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 99 p.
- RODRIGUEZ, H. La técnica de bolsa in vivo en estudios de digestibilidad. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 2:81-86. 1968 a.
- RODRIGUEZ, H. Digestibilidad con la bolsa in vivo: la posición relativa de la bolsa dentro del rumen. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 2:285-287. 1968 b.
- ROLDAN P., G. Degradación ruminal de algunos forrajes proteicos en función del consumo de banano verde suplementario. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1981. 71 p.
- SANCHEZ, P.A. Nitrogen fertilization. In Sánchez, P.A., ed. A review of soils research in tropical Latin America. North Carolina State University, Soil Science Department, 1972. pp. 121-166.
- SANCHEZ, P.A. Suelos del Trópico, características y manejo. San José, Costa Rica, IICA, 1981. 634 p.
- SAN MARTIN, F. Digestibilidad, tasas de digestión y consumo de forraje en función de la suplementación con banano verde. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1980. 59 p.

- SIMPSON, J.R. y STOBBS, T.H. Nitrogen supply and animal production from pastures. In Morley, F.H.W., ed. World Animal Science, B. 1. Grazing Animals. Amsterdam, Elsevier Scientific, 1981. pp. 261-287.
- SOTOMAYOR-RIOS, A., JULIA, F.J. y ARROYO-AGUILU, J.A. Effects of harvest intervals on the yield and composition of 10 forage grasses. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 58:448-455. 1974.
- SOTOMAYOR-RIOS, A., VELEZ-SANTIAGO, J., TORRES-RIVERA, S. y SILVA, S. Effect of three harvest intervals on yield and composition of nineteen forage grasses in the humid mountain region of Puerto Rico. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 60:294-309. 1976.
- SPARROW, P.E. The comparison of five response curves for representing the relationship between the annual dry-matter yield of grass herbage and fertilizer nitrogen. Journal of Agricultural Science 93:513-520. 1979.
- STEEL, R.G.D. y TORRIE, J.H. Principles and Procedures of Statistics. New York, McGraw Hill, 1960. 481 p.
- STERN, M.D. y SAUER, L.D. Evaluation of nitrogen solubility and the dacron bag technique as methods for estimating protein degradation in the rumen. Journal of Animal Science 58:714-724. 1984.
- TILLEY, J.M.A. y TERRY, R.A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Journal of the British Grassland Society 18:104-110. 1963.
- VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. Ruminant metabolism, nutritional strategies, the cellulolytic fermentation and the chemistry of forages and plant fibers. Corvallis, Oregon, O & B Books, 1982. 374 p.
- VELEZ-SANTIAGO, J. y ARROYO-AGUILU, J.A. Nitrogen fertilization and cutting frequency yield and chemical composition of five tropical grasses. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 67:61-69. 1983.
- VICENTE-CHANDLER, J., CARO-COSTAS, R., ABRUÑA, F. y SILVA, S. Producción y utilización intensiva de las forrajeras en Puerto Rico. Río Piedras, P.R., Estación Experimental Agrícola. Boletín 271. 1983. 229 p.
- VICENTE-CHANDLER, J., CARO-COSTAS, R., PEARSON, R.W., ABRUÑA, F., FIGARELLA, J. y SILVA, S. The intensive management of tropical forages in Puerto Rico. Río Piedras, P.R., Estación Experimental Agrícola. Boletín 187. 1964. 152 p.

- VICENTE-CHANDLER, J., FIGARELLA, J. y SILVA, S. Effect of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Pangola grass in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 45:37-45. 1961.
- VICENTE-CHANDLER, J., SILVA, S., ABRUÑA, F. y RODRIGUEZ, J.A. Effect of two cutting heights, four harvest intervals and five nitrogen rates on yield and composition of Congo grass under humid tropical conditions. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 56:280-291. 1972.
- VICENTE-CHANDLER, J., SILVA, S. y FIGARELLA, J. Effect of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Guinea grass in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 43:228-239. 1959 a.
- VICENTE-CHANDLER, J., SILVA, S. y FIGARELLA, J. Effect of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of Para grass in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 43:240-248. 1959 b.
- WALDO, D.R. y GOERING, H.K. Insolubility of proteins in ruminant feeds by four methods. *Journal of Animal Science* 49:1560-1568. 1979.
- WEAKLEY, D.C., STERN, M.D. y SATTER, L.D. Factors affecting disappearance of feedstuffs from bags suspended in the rumen. *Journal of Animal Science* 56:493-507. 1983.
- WILM, H.G., COSTELLO, D.F. y KLIPPLE, G.E. Estimating forage yield by the double sampling method. *Journal of American Society of Agronomy* 36:194-203. 1944.
- WOHLT, J.E., SNIFFEN, C.J. y HOOVER, W.H. Measurement of protein solubility in common feedstuffs. *Journal of Dairy Science* 58:1052-1057. 1973.
- ZAÑARTU R., D. Presión de pastoreo y fertilización nitrogenada en la producción de carne en praderas de pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*, Vandyke var. *nlemfuensis*). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1975. 99 p.

8. A P E N D I C E

Cuadro 1A. ANDEVA para la composición botánica: proporción de pasto Estrella en base fresca.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Bloques	2	1626.0	14.52	**
Nivel de fertilización	3	469.9	4.20	
Error (a)	6	112.0		
Edad de rebrote	1	117.6	0.68	
Fertilización x edad	3	135.5	0.79	
Error (b)	8	172.5		
Etapa	2	2518.0	68.59	**
Bloque x etapa	4	16.0	0.43	
Fertilización x etapa	6	169.0	4.60	*
Error (c)	12	36.7		
Edad x etapa	2	85.7	1.95	
Fertilización x edad x etapa	6	7.3	0.16	
Error (d)	16	44.1		
Total	71			

\* P &lt; 0.05

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 2A. ANDEVA para el contenido de materia seca en la vegetación total

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Bloques	2	28.83	51.90	**
Nivel de fertilización	3	2.78	5.00	*
Error (a)	6	0.56		
Edad de rebrote	1	0.22	0.17	
Fertilización x edad	3	1.11	0.85	
Error (b)	8	1.30	-	
Total	23			

\* P &lt; 0.05

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 3A. ANDEVA para el contenido de materia seca en el pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Bloques	2	67.17	33.25	**
Nivel de fertilización	3	22.56	11.17	**
Error (a)	6	2.02		
Edad de rebrote	1	18.90	9.09	*
Fertilización x edad	3	2.44	1.17	
Error (b)	8	2.08		
Total	23			

\* P &lt; 0.05

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 4A. ANDEVA para la producción de materia seca de la vegetación total

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Bloques	2	28291	0.68	
Nivel de fertilización	3	2034773	48.87	**
Error (a)	6	41640		
Edad de rebrote	1	18950	0.96	
Fertilización x edad	3	2344	0.13	
Error (b)	8	19835		
Total	23			

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 5A. ANDEVA para la producción de materia seca del pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Bloques	2	435038	6.84	*
Nivel de fertilización	3	600471	9.44	**
Error (a)	6	63604		
Edad de rebrote	1	580357	22.57	**
Fertilización x edad	3	75634	2.94	
Error (b)	8	25717		
Total	23			

\* P &lt; 0.05

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 6A. ANDEVA para la producción de materia seca acumulativa de la vegetación total

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Bloques	2	1211117	0.65	
Nivel de fertilización	3	99679264	53.27	**
Error (a)	6	1871272		
Edad de rebrote	1	34392204	41.94	**
Fertilización x edad	3	2137924	2.6	
Error (b)	8	820031		
Total	23			

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 7A. ANDEVA para la producción de materia seca acumulativa del pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Bloques	2	20454866	6.41	*
Nivel de fertilización	3	26741563	8.38	*
Error (a)	6	3189632		
Edad de rebrote	1	5143004	4.18	
Fertilización x edad	3	1549374	1.26	
Error (b)	8	1230078		
Total	23			

\* P &lt; 0.05

Cuadro 8A. ANDEVA para la eficiencia en la utilización del nitrógeno aplicado por la vegetación total

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Bloques	2	186.9	2.27	
Nivel de fertilización	2	149.1	1.81	
Error (a)	4	82.4		
Edad de rebrote	1	341.5	5.93	
Fertilización x edad	2	10.3	0.18	
Error (b)	6	57.6		
Total	17			

Cuadro 9A. ANDEVA para la eficiencia en la utilización del nitrógeno aplicado por el pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Bloques	2	358.0	5.13	
Nivel de fertilización	2	51.6	0.74	
Error (a)	4	69.7		
Edad de rebrote	1	11.5	0.38	
Fertilización x edad	2	69.0	2.24	
Error (b)	6	30.7		
Total	17			

Cuadro 10A. ANDEVA para la recuperación de nitrógeno aplicado en el pasto Estrella cosechado.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Bloques	2	1848.6	7.55	*
Nivel de fertilización	2	199.5	0.82	
Error (a)	4	244.8		
Edad de rebrote	1	2.7		
Fertilización x edad	2	313.1	2.10	
Error (b)	6	149.2		
Total	17			

\* P &lt; 0.05

Cuadro 11A. ANDEVA para el contenido de proteína cruda en el pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Bloques	2	1.67	18.98	**
Nivel de fertilización	3	40.59	461.25	**
Error (a)	6	0.09		
Edad de rebrote	1	21.47	54.35	**
Fertilización x edad	3	0.16	0.41	
Error (b)	8	0.40		
Total	23			

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 12A. Contenido de las fracciones nitrogenadas en el pasto Estrella fertilizado y cortado a una edad de rebrote de 3 semanas, a través del período experimental

Nivel de nitrógeno	no. de corte	Nitrógeno total	Nitrógeno insoluble	Nitrógeno soluble	Nitrógeno proteico soluble	Nitrógeno no-proteico soluble
kg/ha/año		mg/g MS	----- % del nitrógeno total -----			
0	1	16.54	75.6	24.4	4.2	20.2
	2	24.35	66.7	33.3	3.1	30.0
	3	24.09	70.6	29.4	3.4	25.9
	4	19.54	69.1	30.9	3.7	27.2
	5	18.97	75.3	24.7	3.2	21.4
	6	17.80	71.1	28.9	4.5	24.4
	7	20.65	56.3	43.7	4.9	38.7
	8	15.46	76.1	23.9	5.5	18.3
	Media	19.68	70.1	29.9	4.1	25.8
	±DE	3.25	6.5	6.5	0.9	6.5
250	1	17.50	69.4	30.6	4.0	26.6
	2	25.05	65.0	35.0	3.7	31.3
	3	26.35	61.7	38.3	3.8	34.4
	4	24.24	79.7	20.3	3.8	10.4
	5	21.97	73.1	26.9	3.4	23.5
	6	23.97	65.8	34.2	4.4	29.8
	7	25.33	69.6	30.4	4.8	25.6
	8	19.69	70.0	30.0	5.5	24.4
	Media	23.00	69.3	30.7	4.2	26.5
	±DE	3.06	5.5	5.5	0.7	5.5
500	1	18.59	67.3	32.7	4.5	28.8
	2	26.69	63.1	36.9	3.5	33.4
	3	26.64	66.4	33.6	4.0	29.5
	4	27.52	70.0	30.0	3.9	26.5
	5	22.63	70.3	29.7	4.1	25.6
	6	26.46	61.1	38.9	4.4	34.5
	7	26.96	65.1	34.9	4.1	30.7
	8	27.71	52.3	47.7	4.4	43.2
	Media	25.35	64.5	36.8	4.1	31.4
	±DE	3.16	5.8	5.5	0.3	5.7
750	1	21.69	63.7	36.3	4.6	31.7
	2	29.11	60.4	39.6	3.7	35.9
	3	30.62	67.5	32.5	3.9	28.6
	4	34.89	62.4	37.6	3.8	33.7
	5	29.37	63.2	36.8	3.8	33.0
	6	32.09	59.0	41.0	4.0	37.0
	7	34.70	61.6	38.4	3.6	34.8
	8	29.67	55.8	44.2	4.2	40.0
	Media	30.27	61.7	38.3	4.0	34.3
	±DE	4.15	3.5	3.5	0.3	3.5

Cuadro 13A. Contenido de las fracciones nitrogenadas en el pasto Estrella fertilizado y cortado a una edad de rebrote de 4 semanas, a través del período experimental.

Nivel de nitrógeno	no. de corte	Nitrógeno total	Nitrógeno insoluble	Nitrógeno soluble	Nitrógeno proteico soluble	Nitrógeno no-proteico soluble
kg/ha/año		mg/g MS	----- % del nitrógeno total -----			
0	1	17.05	72.8	27.2	3.9	23.3
	2	18.89	67.6	32.4	4.4	28.0
	3	18.68	73.1	26.9	4.3	22.6
	4	19.51	64.2	35.8	4.6	31.2
	5	17.08	76.2	23.8	4.5	19.3
	6	15.53	65.7	34.3	5.3	28.9
	Media ±DE	17.96 1.68	69.9 4.8	30.1 4.8	4.5 0.5	25.6 4.5
250	1	17.54	69.0	31.0	4.1	26.9
	2	23.57	65.8	34.2	3.5	30.7
	3	20.14	68.9	31.1	4.4	26.7
	4	16.89	67.1	32.9	5.0	27.9
	5	22.03	62.9	37.1	3.9	33.2
	6	20.20	61.4	38.6	4.6	34.0
	Media ±DE	20.06 2.55	65.9 3.1	34.2 3.1	4.3 0.5	29.9 3.2
500	1	18.12	68.0	32.0	5.1	26.9
	2	24.87	62.5	37.5	4.2	33.2
	3	20.77	73.1	26.9	4.3	22.5
	4	23.30	58.5	41.5	4.3	37.1
	5	22.63	66.9	33.1	4.9	28.2
	6	20.53	58.0	42.0	5.1	36.9
	Media ±DE	21.70 2.39	64.5 5.9	35.5 5.9	4.7 0.4	30.8 5.9
750	1	20.44	60.5	39.5	5.1	34.4
	2	30.97	60.0	40.0	4.1	35.9
	3	24.89	66.7	33.3	4.2	29.1
	4	27.55	54.8	45.2	4.3	40.9
	5	29.50	64.9	35.1	4.2	30.9
	6	30.76	54.7	45.3	4.1	41.3
	Media ±DE	26.35 4.08	60.3 5.0	39.7 5.0	4.3 0.4	35.4 5.0

Cuadro 14A. ANDEVA para el contenido de nitrógeno total en el pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	106.2	24.58	***
Edad de rebrote	1	33.3	7.72	*
Fertilización x edad	3	6.8	1.58	
Fecha de corte	2	62.7	14.51	**
Fertilización x fecha	6	10.3	2.38	
Edad x fecha	2	14.5	3.36	
Error	6	4.3		
Total	23			

\* P &lt; 0.05

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 15A. ANDEVA para el contenido de nitrógeno insoluble en el pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM*	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	16.1	10.28	**
Edad de rebrote	1	19.3	12.35	*
Fertilización x edad	3	1.1	0.72	
Fecha de corte	2	37.0	23.65	***
Fertilización x fecha	6	3.1	1.99	
Edad x fecha	2	5.4	3.44	
Error	6	1.6		
Total	23			

\* P &lt; 0.05

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 16A. ANDEVA para el contenido de nitrógeno soluble en el pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	40.6	16.69	**
Edad de rebrote	1	1.9	0.92	
Fertilización x edad	3	4.0	1.96	
Fecha de corte	2	18.7	9.04	*
Fertilización x fecha	6	4.3	2.06	
Edad x fecha	2	2.3	1.09	
Error	6	2.1		
Total	23			

\* P &lt; 0.05

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 17A. ANDEVA para el contenido de nitrógeno proteico soluble en el pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	0.174	22.86	***
Edad de rebrote	1	0.019	2.45	
Fertilización x edad	3	0.003	0.37	
Fecha de corte	2	0.117	15.34	**
Fertilización x fecha	6	0.003	0.38	
Edad x fecha	2	0.010	1.35	
Error	6	0.008		
Total	23			

\*\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 18A. ANDEVA para el contenido de nitrógeno no-proteico soluble en el pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	35.53	18.64	**
Edad de rebrote	1	1.55	0.81	
Fertilización x edad	3	3.90	2.05	
Fecha de corte	2	15.89	8.33	*
Fertilización x fecha	6	4.21	2.21	
Edad x fecha	2	2.07	1.09	
Error	6	1.91		
Total	23			

\* P &lt; 0.05

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 19A. ANDEVA para la proporción de nitrógeno insoluble en el pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	156.9	10.58	**
Edad de rebrote	1	15.8	1.07	
Fertilización x edad	3	26.2	1.77	
Fecha de corte	2	162.0	10.92	**
Fertilización x fecha	6	25.2	1.70	
Edad x fecha	2	7.1	0.48	
Error	6	14.8		
Total	23			

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 20A. ANDEVA para la proporción de nitrógeno soluble en el pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	156.9	10.58	***
Edad de rebrote	1	15.8	1.07	
Fertilización x edad	3	26.2	1.77	
Fecha de corte	2	162.0	10.92	***
Fertilización x fecha	6	25.2	1.70	
Edad x fecha	2	7.1	0.48	
Error	6	14.8		
Total	23			

\*\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 21A. ANDEVA para la proporción de nitrógeno proteico soluble en el pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	0.054	0.58	
Edad de rebrote	1	0.240	2.57	
Fertilización x edad	3	0.119	1.27	
Fecha de corte	2	1.240	13.27	**
Fertilización x fecha	6	0.458	4.90	*
Edad x fecha	2	0.196	2.40	
Error	6	0.094		
Total	23			

\* P &lt; 0.05

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 22A. ANDEVA para la proporción de nitrógeno no-proteico soluble en el pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	159.9	10.61	**
Edad de rebrote	1	12.8	0.85	
Fertilización x edad	3	30.0	1.99	
Fecha de corte	2	135.5	8.99	*
Fertilización x fecha	6	29.0	1.92	
Edad x fecha	2	9.9	0.66	
Error	6	15.1		
Total	23			

\* P &lt; 0.05

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 23A. Correlaciones del contenido de proteína cruda con los contenidos y proporciones de las fracciones nitrogenadas.

Parámetro	Constantes de la ecuación lineal		Coefficientes de correlación simple
	a	b	r
g N/g MS			
- Nitrógeno insoluble	3.91	0.77	0.97 **
- Nitrógeno soluble	-4.16	0.84	0.98 **
- Nitrógeno proteico soluble	0.12	0.06	0.92 **
- Nitrógeno no-proteico soluble	-4.30	0.79	0.98 **
%			
del nitrógeno total			
- Nitrógeno insoluble	82.90	-1.18	-0.82 *
- Nitrógeno soluble	17.16	1.18	0.82 *
- Nitrógeno proteico soluble	4.88	-0.04	-0.48
- Nitrógeno no-proteico soluble	12.26	1.22	0.84 **

\* P < 0.05

\*\* P < 0.01

Cuadro 24A. ANDEVA para el contenido de pared celular del pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Bloques	2	0.51	0.94	
Nivel de fertilización	3	18.04	33.40	**
Error (a)	6	0.54		
Edad de rebrote	1	17.51	26.50	**
Fertilización x edad	3	0.29	0.44	
Error (b)	8	0.66		
Total	23			

\*\* P < 0.01

Cuadro 25A. Parámetros de regresión<sup>1/</sup> que definieron la desaparición (digestibilidad) de la materia seca del pasto Estrella a nivel ruminal en función al tiempo de incubación.

TRATAMIENTOS		Fecha de corte	A	B	C	$\frac{1}{A}$	$\frac{1}{A+B}$	T	CV	F
Nivel de nitrógeno, kg/ha/año	Edad de rebrote, semanas									
			——— ( $\times 10^{-2}$ ) ———			——— (%) ———		(hr)	(%)	
0	3	Inicial	1.42	4.60	7.70	70.4	16.6	15.3	1.42	4069.9
250	3		1.46	4.37	7.66	68.6	17.1	14.3	3.10	788.4
500	3		1.45	4.03	8.77	69.0	18.2	11.7	2.35	1211.5
750	3		1.40	3.82	8.45	71.6	19.2	11.9	5.80	199.8
0	3	Mitad	1.42	4.60	7.70	70.4	16.6	15.3	1.42	4069.9
250	3		1.35	4.77	8.80	74.0	16.3	14.5	3.91	566.6
500	3		1.34	4.01	8.50	74.6	18.7	12.9	2.36	1309.3
750	3		1.30	3.59	9.31	76.8	20.4	10.9	2.07	1493.5
0	3	Final	1.42	4.60	7.70	70.4	16.6	15.3	1.42	4069.9
250	3		1.44	4.05	8.40	69.6	18.2	12.3	2.70	944.9
500	3		1.39	3.36	8.50	72.1	21.1	10.4	2.15	1248.2
750	3		1.36	3.38	8.38	73.8	21.1	10.9	3.21	580.0
0	4	Inicial	1.51	5.28	7.83	66.0	14.7	16.0	3.38	775.4
250	4		1.48	4.85	8.35	67.4	15.8	14.2	3.51	660.2
500	4		1.47	4.63	8.16	68.0	16.4	14.1	2.84	967.4
750	4		1.48	4.03	7.79	67.8	18.2	12.9	3.45	575.9
0	4	Mitad	1.52	5.74	7.78	65.9	13.8	17.1	5.18	364.7
250	4		1.44	4.93	7.93	69.3	15.7	15.5	4.66	401.1
500	4		1.46	4.74	7.92	68.6	16.1	14.9	2.62	1195.6
750	4		1.40	4.18	8.16	71.3	17.9	13.4	3.07	783.1
0	4	Final	1.55	4.75	7.31	64.4	15.9	15.3	4.53	386.7
250	4		1.47	4.53	8.22	68.0	16.7	13.7	3.05	826.5
500	4		1.44	4.81	8.34	69.3	16.0	14.3	3.52	662.7
750	4		1.39	4.12	9.45	72.0	18.1	11.5	2.89	835.4

<sup>1/</sup> Desaparición o digestibilidad (%) de la materia seca :  $Y = 1/(A+B e^{-Ct})$ ; el coeficiente de regresión ( $R^2$ ) para cada muestra fué de 0.99.

Cuadro 26A. ANDEVA para la digestibilidad potencial de la materia seca del pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	19.08	16.66	**
Edad de rebrote	1	77.99	68.09	**
Fertilización x edad	3	1.60	1.39	
Fecha de corte	2	15.15	13.23	**
Fertilización x fecha	6	2.57	2.24	
Edad x fecha	2	3.93	3.43	
Error	6	1.15		
Total	23			

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 27A. ANDEVA para la digestibilidad inicial de la materia seca del pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	13.30	19.55	**
Edad de rebrote	1	26.13	38.42	**
Fertilización x edad	3	1.02	1.50	
Fecha de corte	2	2.54	3.73	
Fertilización x fecha	6	0.15	0.23	
Edad x fecha	2	0.57	0.83	
Error	6	0.68		
Total	23			

\*\* P &lt; 0.01

Cuadro 28A. ANDEVA para la tasa de aceleración de la digestibilidad ruminal de la materia seca del pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	0.000093	3.63	
Edad de rebrote	1	0.000025	0.96	
Fertilización x edad	3	0.000004	0.15	
Fecha de corte	2	0.000010	0.38	
Fertilización x fecha	6	0.000013	0.52	
Edad x fecha	2	0.000026	1.03	
Error	6	0.000026		
Total	23			

Cuadro 29A. ANDEVA para el tiempo de digestibilidad ruminal media de la materia seca del pasto Estrella.

Fuente de variación	gl	CM	F	Significancia
Nivel de fertilización	3	15.47	34.79	**
Edad de rebrote	1	12.24	27.53	**
Fertilización x edad	3	1.27	2.85	
Fecha de corte	2	3.64	8.19	*
Fertilización x fecha	6	0.27	0.60	
Edad x fecha	2	0.36	0.80	
Error	6	0.44		
Total	23			

\* P < 0.05

\*\* P < 0.01