

UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
POSGRADO REGIONAL EN CIENCIAS VETERINARIAS TROPICALES



**ESTUDIO BIOECONÓMICO DEL EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUIMICA *versus*
ORGANICA SOBRE LA PRODUCCIÓN DEL PASTO CAMERÚN (*Pennisetum
purpureum*) EN LA FINCA MONTEZUMA, GUANACASTE, COSTA RICA**

Héctor Alejandro Santos Montoya

Heredia, Junio del 2006

**Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Postgrado Regional en
Ciencias Veterinarias Tropicales para optar al grado de *Magíster Scientiae* con énfasis en
Producción Animal Sostenible**

**ESTUDIO BIOECONÓMICO DEL EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA *versus*
ORGÁNICA SOBRE LA PRODUCCIÓN DEL PASTO CAMERÚN (*Pennisetum
purpureum*) EN LA FINCA MONTEZUMA, GUANACASTE, COSTA RICA**

Héctor Alejandro Santos Montoya

**Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Postgrado Regional en
Ciencias Veterinarias Tropicales para optar al grado de *Magíster Scientiae* con énfasis en
Producción Animal Sostenible**

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

José Rodríguez Zelaya MSc
Representante Consejo Central de Postgrado

Sandra Estrada König MSc
Directora PCVET

Bernardo Vargas Leitón PhD
Tutor

Ismael Hernández Venereo PhD
Asesor

Fernando Sáenz Segura PhD
Asesor

Héctor Alejandro Santos Montoya
Sustentante

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN GENERAL	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIA	vii
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE ANEXOS	x
INTRODUCCIÓN GENERAL	xi
BIBLIOGRAFÍA	xvii
Capítulo 1	1
ABSTRACT	2
RESUMEN	3
INTRODUCCION	4
1.1 Respuesta a la fertilización nitrogenada y edad al corte	5
2. MATERIALES Y METODOS	8
2.1 Área de estudio	8
2.2 Establecimiento y marcaje del terreno	9
2.3 Fertilización	9
2.4 Diseño experimental	10
2.5 Medición de variables:	11
2.5.1 Rendimiento materia seca y fresca	11
2.5.2 Altura y relación hoja-tallo	11
2.5.3 Composición botánica de la pastura	12
2.5.4 Proteína cruda, digestibilidad de la materia seca, fibra ácido detergente y energía digestible	12
2.6 Análisis estadístico	12
2.7 Criterio de selección	13
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
3.1 Composición botánica de la pastura	14
3.2 Altura y relación hoja-tallo	15
3.2.1 Altura	16
3.2.2 Relación hoja tallo	16
3.3 Rendimiento y producción	17
3.3.1 Producción de materia verde	18
3.3.2 Producción de materia seca	20
3.4 Proteína cruda (% PC) y energía digestible (ED)	22
3.4.1 Proteína cruda (PC)	23
3.4.2 Energía digerible (ED)	24
3.5 Digestibilidad de la materia seca (DIVMS) y fibra ácido detergente (FDA)	25
3.5.1 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS)	26
3.5.2 Fibra ácido detergente (FDA)	27
4. CONCLUSIONES	29
4.1 Producción y rendimiento	29
4.2 Calidad	29

5. RECOMENDACIONES	30
5.1 Producción de kilos de proteína cruda por hectárea por corte.....	30
5.2 Producción de mega calorías de energía digerible por hectárea por corte.	30
5.3 Recomendación técnica	30
6. BIBLIOGRAFÍA	31
Capítulo 2	1
ABSTRACT	2
RESUMEN.....	3
1.INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 Relación Beneficio Costo (B/C).....	4
1.2 Modelación estocastica.....	5
1.3 Riesgo e incertidumbre.....	6
1.4 Análisis de sensibilidad	6
1.5 Objetivos.....	7
2. MATERIALES Y METODOS.....	7
2.1 Estimados de ingresos por tratamiento (Situación base).....	7
2.2 Determinación de costos por tratamiento (Situación base)	8
2.3 Relación beneficio costo. (B/C).....	10
2.4 Simulación estocástica y análisis de sensibilidad	9
3. RESULTADOS Y DISCUSION.....	11
3.1 Situación base.....	14
3.2 Análisis estocastico y sensibilidad	13
3.2.1 Ingreso marginal (IM) por tratamiento	13
3.2.2 Costo marginal (CM) de fertilización por tratamiento	14
3.2.3 Relación beneficio costo (B/C) por tratamiento.....	15
3.2.4 Análisis de sensibilidad para el tratamiento T3007570.....	17
4. CONCLUSIONES.....	19
5. RECOMENDACIONES	20
6. BIBLIOGRAFÍA	21
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	23
DISCUSION GENERAL	24

RESUMEN GENERAL

El objetivo de este estudio fue determinar la factibilidad bioeconómica del uso de estiércol bovino para fertilización de pasto Camerún (*pennisetum purpureum*) en la hacienda Montezuma, Guanacaste, Costa Rica. El primer estudio tiene por objetivo encontrar la edad al corte en la que el pasto fertilizado con las distintas combinaciones de estiércol y urea presenta adecuados contenidos de proteína cruda, digestibilidad, energía digerible y producción de materia seca y fresca por unidad de área; así como determinar el nivel de fertilización nitrogenada al cual se maximice la producción y se mantenga las mejores características de calidad nutricional en el forraje. Para esto se usaron diferentes proporciones relativas de 25/75, 50/50 y 75/25 (orgánico/químico); combinadas con el uso de dosis de nitrógeno de 0 (testigo), 300 y 600 Kg/N/ha/año. Los anteriores tratamientos se evaluaron en tres distintas edades de corte: 50, 70 y 90 días. Las variables evaluadas fueron contenido de PC, ED, producción de materia verde y seca, altura, relación hoja tallo y las variaciones en la composición botánica de la pastura. La altura en el pasto fue más alta a los 90 días con 2.19 m. Los tratamientos también tuvieron efecto sobre la altura presentada, siendo el tratamiento T30050 el que tuvo mayor altura con 2.03 m. En la relación hoja tallo los cambios observados se deben por los días a corte y hubo una mayor relación a los 50 y 90 días a corte con valores de 2.16 y 2.10 respectivamente. La mayor producción en base seca se obtuvo a los 70 días a corte. El tratamiento más productivo, corresponde al T30075 el cual produjo 9511.11 Kg/MS/ha/corte. El más alto contenido PC y ED se obtuvo con el tratamiento de T60075 con el que se alcanzó un 15.47 % de PC y 2.05 Mcal/Kg respectivamente. La mejor digestibilidad se obtuvo a los 50 días a corte, y los tratamientos que presentaron el mejor porcentaje fueron el T60025, T60075, T60050 y T30075. En el segundo estudio se determinó cuál es la edad al corte y el nivel de uso óptimo de fertilizante orgánico tomando en cuenta el beneficio y costos para determinar la opción técnica y económicamente viable. Para esto se determinaron los ingresos marginales (IM) y costos marginales (CM) asociados a las actividades de fertilización y se evaluó mediante un análisis de beneficio costo (B/C), que permitió escoger el mejor tratamiento. Se hizo un análisis de costos por cada tratamiento que involucra insumos, mano de obra, fletes, maquinaria y los costos de fertilizantes. El ingreso marginal por tratamiento se determinó por unidad de área siendo el resultado de la producción marginal (sin el testigo) en kilogramos de materia verde por hectárea por semestre, gracias a la fertilización, multiplicado por el precio de venta por kilogramo (5 ¢/Kg./MV). También se realizó un análisis de sensibilidad utilizando técnicas de modelación estocástica. Los ingresos marginales obtenidos fueron mayores en el tratamiento T3007570 alcanzando los ¢175,148 ha/semestre. El mayor costo de fertilización se obtuvo con el tratamiento T60075 con un valor de ¢ 238,382 ha/semestre y el menor costo de fertilización se obtuvo con el tratamiento T30025 con un valor de ¢ 62,785 ha/semestre. El tratamiento que obtuvo la mejor relación beneficio costo fue el T3007570 con un índice de 1.47 (D.E.=0.66). El tratamiento más productivo, con índices de calidad aceptables y con mejor relación B/C corresponde al tratamiento con T3007570; por lo que se considera el más viable técnica y económicamente para realizar un plan de fertilización del pasto Camerún.

AGRADECIMIENTOS

Al PhD Bernardo Vargas, Ismael Hernández y Fernando Sáenz por su entrega e importantes recomendaciones al revisar este documento permitiendo concluirlo con una mayor calidad.

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), por su apoyo económico, sin el cual hubiese sido imposible cursar mis estudios en este país.

Al Sr. Álvaro Jenkins por permitirme realizar el experimento de campo en su finca y por apoyarme en lo referente a la realización del mismo.

Al personal de Ganadera Montezuma quienes siempre estuvieron dispuestos a colaborar y apoyarme incondicionalmente para la finalización del proyecto, con especial mención a Don Marvin Jiménez, Juan José Loría y su familia, Flory Matarrita, Hermes Camacho, Massiela Villalobos, Percy Jackson y la familia Herrera Montoya.

A la familia Hasbun Chavarría por prestarme su apoyo y calor de hogar mientras mi estadía en Costa Rica.

A mis compañeros de maestría por compartir esos momentos tan especiales y colaborarme en la realización de este proyecto.

Al personal del Postgrado en Ciencias Veterinarias Tropicales de la Universidad Nacional, por su presta colaboración y apoyo.

DEDICATORIA

A DIOS por estar siempre a mi lado y por regalarme la vida y salud para contribuir con el desarrollo de la agricultura en mi país y en el mundo.

A mi familia por creer en mí y apoyarme en todo momento, en especial a mi padre, Reynaldo, mi hermana, Luisa Alejandra, y en honor a mi madre Luisa por haberme educado en principios cristianos y hacerme lo suficientemente capaz de sobresalir y alcanzar mis metas propuestas.

A mi patria Honduras y a todos aquellos que día a día se esfuerzan por hacer de ella un mejor lugar para vivir.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición y características del estiércol de ganado bovino.	xvi
Tabla 2. Análisis parcial de la prod. de leche basada en pasturas de Camerún con diferentes niveles de fertilización nitrogenada (N) y azufrada (S).....	xvi

Capítulo 1

Tabla 1. Análisis nutricional del pasto Camerún (<i>pennisetum purpureum</i>).....	5
Tabla 2. Producción de materia seca y carga animal por hectárea para pasto Camerún.....	6
Tabla 3. Codificación de cada uno de los respectivos tratamientos.....	10
Tabla 4. Composición y características del estiércol bovino, después del separador de sólidos en Ganadera Montezuma.....	14
Tabla 5. Composición y características del suelo en el área destinada al estudio.....	14
Tabla 6. Especies que conforman la composición botánica de la pastura de Camerún.....	15
Tabla 7. Análisis de la varianza para altura de planta y relación hoja tallo.....	15
Tabla 8. Separación de medias para la variable altura (metros) por factor de días a corte.....	16
Tabla 9. Separación de medias de la variable altura (metros) por factor tratamiento.....	16
Tabla 10. Separación de medias para la variable relación hoja tallo por factor de días a corte....	17
Tabla 11. Separación de medias de la variable relación hoja tallo por factor tratamiento.....	17
Tabla 12. Análisis de la varianza para producción de materia verde y seca por hectárea por año.....	18
Tabla 13. Separación de medias para la variable prod. de MV por factor de días a corte.....	19
Tabla 14. Separación de medias para la variable prod. de materia verde por factor de trat.....	20
Tabla 15. Separación de medias para la variable prod. de MS por factor de días a corte.....	21
Tabla 16. Separación de medias para prod. de materia seca por factor de tratamiento.....	22
Tabla 17. Análisis de la varianza para proteína cruda (% PC) y energía digestible (ED).....	23
Tabla 18. Separación de medias por días a corte para la variable proteína cruda (%).	23
Tabla 19. Separación de medias por tratamientos para la variable proteína cruda (%).	24
Tabla 20. Separación de medias por días a corte para la variable energía digestible (Mcal/Kg)..	24
Tabla 21. Separación de medias por tratamientos para la variable energía digestible (Mcal/Kg). 25	
Tabla 22. Análisis de la varianza para digestibilidad de la MS y fibra ácido detergente.....	26
Tabla 23. Separación de medias por días a corte para la variable digestibilidad (DIVMS).....	26
Tabla 24. Separación de medias por tratamientos para la variable digestibilidad (DIVMS).	27
Tabla 25. Separación de medias por días a corte para la variable fibra ácido detergente (FDA). 27	
Tabla 26. Separación de medias por tratamientos para la variable fibra ácido detergente (FDA). 28	

Capítulo 2

Tabla 1. Costos y precios de insumos y productos (con D. E.) asumidas en la situación base.....	9
Tabla 2. Ingreso marg. (IM), Costo marg. (CM) y Beneficio Costo (B/C) por tratamiento..	12

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. Precipitación pluvial promedio (mm) estación Montezuma.....	8
Figura 2. Temperatura máxima, mínima y promedio (°C) estación Montezuma.....	9
Figura 3. Aleatorización y distribución de parcelas y tratamientos en el campo.....	11
Figura 4. Producción de materia verde (Kg./ha/corte) a los 50, 70 y 90 días por cada uno de los tratamientos.....	19
Figura 5. Producción de materia seca (Kg./ha/corte) a los 50, 70 y 90 días por cada uno de los tratamientos.....	21

Capítulo 2

Figura 1. Ingreso Marginal (e intervalos ± 1 D.E) para los tratamientos comparados.	13
Figura 2. Costo Marginal (e intervalos ± 1 D.E) para los tratamientos comparados.....	15
Figura 3. Relación Beneficio Costo (e intervalos ± 1 D.E) para los tratamientos comparados....	16
Figura 4. Regresión entre variables de entrada e Ingreso marginal (IM) para el trat. T3007570.	17
Figura 5. Regresión (estandarizada) entre variables de entrada y B/C marginal para el tratamiento T3007570.....	18
Figura 6. Regresión entre variables de entrada y Costo Marginal (CM) para el tratamiento T3007570	19

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Cantidad de fertilizante orgánico e inorgánico por tratamiento a utilizar por parcela (12 m ²), calculado en base a dos fertilizaciones al año y codificación de tratamientos.....	25
Anexo 2. Análisis de varianza y separación de medias para la variable de kilogramos de materia seca por hectárea por corte.....	26
Anexo 3. Análisis de varianza y separación de medias para la variable de kilogramos de materia verde por hectárea por corte.....	27
Anexo 4. Análisis de varianza y separación de medias para la variable de altura.....	28
Anexo 5. Análisis de varianza y separación de medias para la variable relación hoja tallo.....	29
Anexo 6. Análisis de varianza y separación de medias para la variable proteína cruda (PC).....	30
Anexo 7. Análisis de varianza y separación de medias para la variable energía digestible (ED).....	31
Anexo 8. Análisis de varianza y separación de medias para la variable Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS).....	32
Anexo 9. Análisis de varianza y separación de medias para la variable fibra ácido detergente (FDA).....	33
Anexo 10. Análisis de calidad para las muestras de forraje.....	34
Anexo 11. Análisis de suelo y abono.....	35
Anexo 12. Lista de entradas y distribuciones utilizadas por el programa @Risk.....	36

INTRODUCCIÓN GENERAL

En Costa Rica las limitantes para el desarrollo forrajero consisten en periodos largos de sequía sumados a manejo deficiente de las pasturas y bajo contenido de nutrientes en el suelo. Las gramíneas constituyen la principal fuente de alimentación ganadera y su composición varía mucho dependiendo de la madurez de la planta, condiciones climáticas y del tipo de suelo donde se encuentre (Lobo y Díaz 2001).

La conservación del medio ambiente, un manejo racional de los recursos naturales y un nuevo enfoque de la producción agropecuaria, buscando la sostenibilidad de cada sistema en el mediano y largo plazo, representan los desafíos más importantes a escala mundial. (Kaimowitz *et al.* 1991). Esto nos obliga a pensar en nuevas alternativas y oportunidades, así surge el reto de buscar sistemas diversificados, integrados y sostenibles que generen una mayor productividad, basada en la utilización de los recursos propios y que, sin provocar la transformación de los ecosistemas, permitan satisfacer las necesidades de una población en aumento (Preston 1995).

Desde el punto de vista ambiental el cultivo adecuado de pasturas es una práctica excelente para la conservación del suelo ya que éstas proporcionan cobertura y protección al mismo tiempo que disminuyen el riesgo de la erosión. Además, los pastos poseen un sistema y masa radical abundante lo que provee materia orgánica al suelo y ayuda a conservar y mejorar la estructura y porosidad del mismo (Cubero 1994). La interacción con el ambiente es determinante en la producción y calidad de las forrajeras lo cual incluye, efectos climáticos como luz, temperatura, agua y edáficos como fertilidad, acidez y textura de suelo. El valor nutritivo está marcadamente influenciado por factores ambientales y por características morfológicas (Martins 1982). Las altas temperaturas hacen que los forrajes sean más fibrosos y que la cantidad de carbohidratos solubles sea mucho menor, bajando la digestibilidad de los mismos (Losilla 1976). El efecto de los factores ambientales sobre los genotipos presentes en las pastura afectan la producción de ésta. Por consiguiente, la productividad de la pradera es una respuesta a las variables que actúan sobre el material biológico, incluyendo plagas y enfermedades (Jones 1982).

El desconocimiento, por parte del productor, de las necesidades nutricionales, la dinámica de crecimiento, adaptación y manejo de los pastos, combinado con poca disponibilidad de los mismos, han llevado a los ganaderos a incrementar las áreas destinadas a pasturas haciendo un uso ineficiente de los recursos disponibles y comprometiendo de este modo el ambiente y la sostenibilidad del sistema.

Los problemas de pastos se deben a la falta de programas de investigación pecuaria que generen información aplicada al campo ganadero (Iturbide 1982). Aun hoy en día la introducción de material forrajero externo y la diseminación de las especies nativas a lo largo de las fincas productivas, han creado la necesidad de programas de investigación en forrajes. Dichos programas deben servir para determinar los parámetros productivos y ser una fuente de información primaria para la adaptabilidad y producción de estas especies, que permitan dar recomendaciones más acertadas y faciliten a los productores la toma de decisiones en cuanto a prácticas de manejo que ayuden a eficientizar la producción por unidad de área.

El objetivo en las prácticas de manejo de forrajes es mantener la máxima producción durante toda la época de crecimiento, pues a medida que estos maduran aumenta hasta cierto límite la producción de materia orgánica; pero por otra parte se reduce su calidad y se hace necesario encontrar un punto de equilibrio entre calidad y cantidad (Vélez 1997).

Los fertilizantes permiten retornar al suelo aquellos nutrientes que han sido removidos debido a la cosecha de la producción ya sea por medio del pastoreo o en la remoción de aquellos dedicados a corta, quienes extraen mayor cantidad de nutrientes del suelo. La fertilidad varía ampliamente de un lugar a otro y es por eso que se debe determinar el óptimo donde obtengamos los mayores beneficios productivos y económicos.

El pasto Camerún (*pennisetum purpureum*) es originario de África del Sur, es una planta perenne, robusta y vigorosa, que puede alcanzar alturas de tres metros, se adapta bien desde el nivel del mar hasta los 2000 m de altitud tolera los suelos ligeramente alcalinos, así como los ácidos. Prefiere condiciones de alta precipitación 1000 a 4000 mm, siempre y cuando los suelos no sean pantanosos. Tiene aproximadamente 13% de proteína cruda a intervalos de corte de 60 días. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca del pasto es de 63%. Es uno de los pastos de mayor

producción de forraje y su principal uso es como pasto de corte y se recomienda realizar este cada 60 a 70 días, además que se debe fertilizar con alguna fuente nitrogenada a razón de 150 Kg/N/ha/año (Lobo y Díaz 2001).

En la mayoría de los países donde se han cultivado pastos del género *pennisetum*, los rendimientos anuales han estado por encima de los obtenidos en otras gramíneas (Gomide, Christmas y Obeid, 1976). En Cuba, en dependencia de la variedad y el manejo, se han logrado rendimientos entre 16 y 27 t MS/ha/año (Machado, Yepes y Oliva, 1973) y aun superiores en el primer año de explotación.

Esta especie se adapta a una amplia gama de suelos, pero prefiere los fértiles, profundos y de buen drenaje (Machado y Menéndez, 1979). Su potencial de rendimiento, aunque depende en gran medida de la fertilización (sobre todo la nitrogenada), se ve influenciado por la variedad y las condiciones ambientales (Gonzalez, Viana y Moreira, 1977).

Fertilización orgánica

Al hablar de fertilizante orgánico nos referimos a aquellas fuentes que proveen nutrientes en forma de remanentes de tejidos vegetales, células y bacterias las cuales se encuentran presentes en el estiércol y son liberadas, disueltas y utilizadas lentamente por la planta; aunque también se pueden encontrar fuentes inorgánicas de nutrientes tales como nitrato de amonio, fósforo soluble y sales de potasio las cuales son utilizadas inmediatamente (Cogger 2004). Todos los abonos orgánicos son muy variables en su composición y solo ajustes aproximados se pueden hacer, en cuanto a su valor fertilizante, estos también a su vez son de lenta liberación y bajo contenido de sales solubles por lo que se pueden utilizar en altas dosis sin riesgos de daños a la planta (Ordóñez 1980).

Los nutrientes del estiércol bovino y la materia orgánica son componentes naturales del ambiente quienes contribuyen a la producción de más tejido animal y vegetal. Esto lo convierte en un recurso equivalente al fertilizante químico por lo cual no puede ser llamado desperdicio aun más cuando es reciclado para su uso en el crecimiento vegetal (Van Horn *et al.* 1998). Los beneficios de la fertilización orgánica son el aumento en la retención de agua en el suelo, menor formación de costras y agregados y mejores condiciones para el crecimiento de raíces (López 1980).

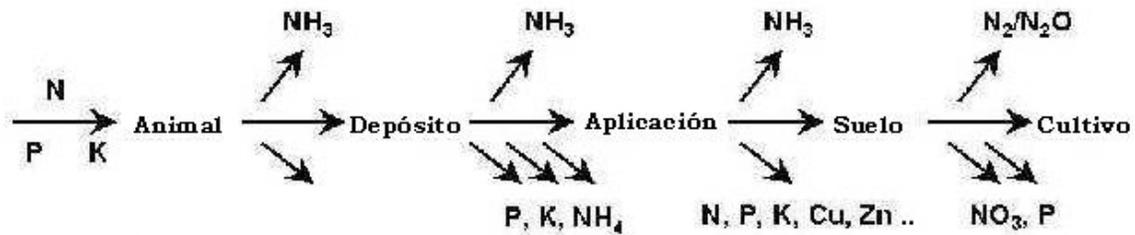
Una de las principales limitantes en el uso de estiércol para fertilización de pastos y cultivos, es la falta de conocimiento en el manejo y dosificación del mismo pues una sobre fertilización puede reducir el rendimiento en el campo, causar salinidad en el suelo en regiones secas o lavado y lixiviación del nitrógeno hacia las aguas subterráneas y acuíferos (Cogger 2004). Tanto el drenaje directo del estiércol hacia las aguas superficiales como la filtración desde suelos saturados afectan la calidad del agua. Los nitratos se filtran hacia el agua subterránea, lo cual plantea peligros para la salud humana; altos niveles han sido asociados con el riesgo creciente de contraer metahemoglobinemia (síndrome de los niños azules) (Campbell *et al.* 1999).

Aunque las aplicaciones limitadas de estiércol son un componente clave en el mantenimiento de la fertilidad del suelo en sistemas mixtos y de labranza, la carga excesiva de estiércol en áreas limitadas de terreno resulta en el desbalance de los nutrientes para las plantas, lo que conduce a cambios en los sistemas naturales de vegetación y afecta el potencial de los sistemas de cultivo. A niveles superiores, N, P y K, pueden acumularse hasta niveles tóxicos, limitando el crecimiento de las plantas y el potencial de algunas especies. El estiércol poco tratado y excesivamente fresco puede perjudicar el crecimiento de los cultivos por su acidez (Campbell *et al.* 1999).

Para usar el estiércol como fertilizante efectivamente y evitar concentraciones excesivas de nutrientes en puntos inapropiados es necesario hacer un inventario del flujo de los mismos en el sistema productivo y si existiera un problema de concentración en un punto, las medidas correctivas pueden ser tomadas cuando se posee una cuantificación ambiental para lo cual es necesario conocer los flujos de nutrientes en cada uno de los segmentos del sistema (Van Horn *et al.* 1998).

El valor agrícola del estiércol bovino está determinado por las cantidades de N, P y K tomadas por el cultivo; las cuales dependen de cuánto se emite durante el traspaso desde el animal hasta el cultivo (Figura 1). Las pérdidas de nutrientes hacia el aire son emisiones de amoníaco y metano mientras que en el suelo existe escorrentía del estiércol y lavado de nitratos y fósforo hacia el agua subterránea contribuyendo a la contaminación de las mismas.

AIRE



SUELO

Lavado y escorrentía Escorrentía superficial Lavado

Fuente: (Campbell *et al.* 1999)

Figura 1. Pérdidas de nutrientes del estiércol entre la excreción y la absorción por los cultivos

Algunas de las ventajas con fertilización del suelo por aplicación de estiércol son la descomposición del material orgánico por los microorganismos lo cual produce dióxido de carbono (CO₂), agua y minerales de los nutrientes vegetales tales como N, P y S y metales. El mejoramiento de la fertilidad del suelo se da gracias a que la materia orgánica que permanece después de un año de aplicación se asume que forma parte de la materia orgánica del suelo y se descompondrá gradualmente con el paso de los años liberando nutrientes para las plantas. Además, mejora factores de la estabilidad de la estructura del suelo, tales como porosidad, aireación y capacidad de retención de agua y reduce la vulnerabilidad del mismo a la erosión (Campbell *et al.* 1999).

Algunos de los factores negativos de la fertilización con estiércol son las emisiones de amoníaco(NH₃) antes y durante el almacenamiento y durante la aplicación a los campos, emisión de metano (CH₄) (Figura 1) formado durante la descomposición del estiércol bajo condiciones anaeróbicas, escorrentía del estiércol y de sus componentes hacia el agua superficial contribuyendo a la polución acuática y lavado de nitratos y fósforo al agua subterránea, lo cual contribuye a la contaminación de aguas subterráneas (Campbell *et al.* 1999).

En la Tabla 1 se muestran análisis obtenidos por Sullivan *et al.* (1997) donde se observa el contenido de nutrientes promedio, básicamente N,P y K, en estiércol bovino el cual posee un 35 % de materia seca y un 65 % de humedad, ubicado en las planchas de secamiento después de haberse sometido a un separador de sólidos.

Tabla 1. Composición y características del estiércol de ganado bovino.

Características de los nutrientes	Análisis	
	Promedio	Desv. estándar
	% sobre materia seca	
Total N	1.3	0.30
Total P	0.81	0.19
Total K	1.86	0.51

* Basado en el promedio fresco de 35% de materia seca y 65% de humedad.

Fuente: (Sullivan *et al.* 1997)

Determinando los costos asociados a la producción de leche en Honduras, Ávila y Merino (2001) encontraron que a niveles de fertilización química de 600 Kg/N/ha/año los costos de mantenimiento por día para pasto Camerún se elevan a 0.90 US\$ y el ingreso por día alcanza su máximo en 78.46 US\$ generando una utilidad marginal por día de 77.56 US\$ (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis parcial de la producción de leche basada en pasturas de Camerún con diferentes niveles de fertilización nitrogenada (N) y azufrada (S).

Tratamiento Kg/ha/año		Materia seca	Producción			U.S. \$		
N	S	Kg/ha/día	C.A.	Kg/ha/día	Ingreso/día	Costo/día	Margen/día	\$/ha/año
0	0	168	18	174	54.75	0.30	54.45	19,874.25
0	50	130	14	135	42.40	0.22	42.18	15,395.70
200	0	197	21	204	64.07	0.48	63.59	23,210.35
200	50	188	20	195	61.23	0.53	60.70	22,155.50
400	0	197	21	204	64.13	0.69	63.44	23,155.60
400	50	213	23	221	69.44	0.74	68.7	25,075.50
600	0	241	25	249	78.46	0.90	77.56	28,309.40
600	50	230	24	238	74.94	0.93	74.01	27,013.65

C.A.= Carga animal estimada

Fuente: (Ávila y Merino 2001).

En un estudio hecho por la universidad de Minnesota el costo de aplicación de estiércol (\$US por 1000 galones) varía entre \$US 4.20 y \$US 7.00 debido a los métodos de incorporación (Schimmel *et al* 2004).

BIBLIOGRAFÍA

- Ávila, T; Merino, N. 2001. Diseño metodológico para el establecimiento de un índice de costos para la producción lechera en el Litoral Atlántico de Honduras. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 27 p.
- Campbell, K; Hodgson, N; Gill, M. 1999. Livestock and Environment Toolbox. CD-ROM. Livestock, Environment and Development (LEAD) Initiative. Food and Agriculture Organisation of the United Nations FAO. Rome. ISBN 92-5-104445-7.
- Cubero, D. 1994. Manual de manejo y conservación de suelos y aguas. Segunda edición. Editorial UNED. San José, costa rica. 200 p.
- Cogger, C. 2004. Manure on Your Farm: Asset or Liability? (en línea) Washington State University. Consultado el 2 de junio 2005. Disponible en http://www.puyallup.wsu.edu/soilmgmt/Abstracts&Pubs/Paper_Manure_Asset_Liabilty.pdf
- Goncalvez, D; Viana, J; Moreira, H. 1977. Arquivos de la Escola de Veterinaria de Universidade Federal de Minas Gerais. 29:153
- Gomide, J; Christmas, E; Obeid, J. 1976. Revista Soc. Bras. Zootecnia. 5:226
- Iturbide, A. 1982. Los pastos y forrajes en honduras, in SRN y CATIE producción y utilización de forrajes tropicales, curso intensivo. La Ceiba, Atlántida Honduras p30-35
- Jones, R. 1982. Efecto del clima, el suelo y el manejo del pastoreo en la producción y persistencia del germoplasma forrajero tropical, in CIAT. Manual para la evaluación de pastos tropicales. Ed. por José M. Toledo. Cali. Colombia. 170 p.
- Kaimowitz, D; Trigo, E; Flores, R. 1991. Hacia una estrategia para un desarrollo agropecuario sostenido. En: Sistemas Agropecuarios Sostenibles y Desarrollo Rural para el Trópico. Memorias II Seminario Taller Internacional, Cali, Colombia 4 - 8 Marzo de 1991.
- Lobo, M; Díaz, O. 2001. Agrostología. Editorial universidad estatal a distancia, San José, Costa Rica. 147 p.
- López, C. 1980. Sustitución de la urea por cama de gallinero en la fertilización de pasto Napier variedad Costa Rica. Tesis Lic. Zootecnia. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela de Zootecnia. Guatemala (Guatemala). 39 p.
- Losilla, R. 1976. Efecto de diferentes niveles de fertilización y frecuencias de corte en el rendimiento, composición química y digestibilidad in vitro del pasto gigante (*pennisetum purpureum*, Schum). Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 67 p.
- Machado, R; Menéndez, J. 1979. Descripción de gramíneas y leguminosas. En: Los Pastos en Cuba. Tomo I. Producción. La Habana, p. 103

- Machado, R; Yepes, S; Oliva, O. 1973. Serle Técnico Científica A-3. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba.
- Martins, M. 1982. Los pastos y forrajes en Honduras. In SRN y CATIE producción y utilización de forrajes tropicales, curso intensivo. La Ceiba, Atlántida Honduras, 1 p. (entre p. 5-8)
- Ordóñez, C. 1980. Sustitución de la urea por cama de gallinero en la fertilización de pasto napier variedad Costa Rica (*pennisetum purpureum*). Tesis Lic. Zootecnia. Escuela de Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 39 p.
- Preston, T. 1995. La capacidad alimentaria del planeta y el crecimiento de la población humana. ¿Conflicto u oportunidad para las montañas tropicales?. En: Sistemas pecuarios sostenibles para las montañas tropicales. CIPAV, CENDI. Cali, Colombia.
- Sullivan, D; Cogger, C; Bary, A. 1997. Which test is the best? Customizing dairy manure nutrient testing (en línea). Consultado el 18 de mayo 2005. Disponible en <http://eesc.orst.edu/agcomwebfile/edmat/PNW505.pdf>
- Schimmel, J; Levins, R; Vincze, Z. 2004. Case Study: Economic Impact of Restricting Phosphorus Fertilization on a Minnesota Dairy (en línea). Consultado el 07 de Octubre de 2005. Disponible en: <http://www.p2pays.org/ref/21/20977.htm>
- Van Horn, H; Newton, G; Nordstedt, R; French, E; Kidder, G; Graetz, D; Chambliss, C. 1998. Dairy Manure Management: Strategies for Recycling Nutrients to Recover Fertilizer Value and Avoid Environmental Pollution (en línea). Consultado el 26 de mayo 2005. Disponible en http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_DS096
- Vélez, M. 1997. Producción de ganado lechero en el trópico. Segunda edición. Zamorano, Honduras, Zamorano academia press. 189 p.

Capítulo 1

Efecto de la fertilización con estiércol combinado con urea sobre la producción y calidad del pasto de corte Camerún (*pennisetum purpureum*)

Héctor Alejandro Santos*

* Postgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales, Universidad Nacional, Apdo. postal 304-3000, Tel. 237-5229, email: santoshector@hotmail.com

Effect of fertilization with manure combined with urea on the production and quality of Camerun grass (*pennisetum purpureum*)

Héctor Alejandro Santos*

ABSTRACT

The objective of this study was to find optimum age of cut and optimum combination of manure and urea fertilizers, in order to produce maximum crude protein contents, digestibility, digestible energy content and production of dry and fresh matter by hectare as well as to determine the level of nitrogen fertilization, using the combination manure and urea, that permits to maximize the production and maintains the best nutritional and quality characteristics in the forage. A study was made to evaluate the answer of the Camerun grass (*pennisetum purpureum*) to treatments defined by the use of Organic fertilizer (manure) and Chemistry (urea) in relative proportions of 250/75Q, 500/50Q and 750/25Q; combined with the use of dose of 0 nitrogen (Control), 300 and 600 Kg/N/ha/year. The previous treatments were evaluated in three different ages from cut: 50, 70 and 90 days. The evaluated variables were contained of crude protein, digestible energy, production of fresh and dry matter, height, relation leaf stem and the variations in the botanical composition of the pasture. The height in the grass was higher at 90 days with 2,19 mts. The treatments also had effect on the presented height, being the treatment with 300 Kg/N/ha/year and 500/50Q the one that had greater height with 2,03 mts. In the relation leaf stem the observed changes were related to the days of cut and there was a greater relation to the 50 and 90 days to cut with values of 2,16 and 2,10 respectively. The greater production in dry base was obtained at the 70 days of cut. The most productive treatment, corresponds to the treatment with 300 Kg/N/ha/year and fertilizer 750/25Q which produced 9511,11 Kg/MS/ha/cut. The highest content of protein and ED was obtained with the 600 treatment of Kg/N/ha/year and 750/25Q reaching a 15,47 % of PC and 2,05 Mcal/Kg respectively. The best digestibility was obtained at the 50 days of cut, and the treatments that presented the best percentage were the T60025, T60075, T60050 and T30075. The detergent acid fiber content was greater at the 70 days of cut (41.99%) and minor to the 50 days (39.54%). Concluding that the treatment that presents the greater crude protein contents and digestible energy by hectare, as well as of production of dry matter was with the treatment "T3007570", considering this as the more viable technical option to make a plan of fertilization of the Camerun grass.

Key words: Organic fertilization, age to cut, Camerun grass, nitrogen.

* Postgrado regional en ciencias veterinarias tropicales, Universidad Nacional, postal Apdo. 304-3000, Tel. 237-5229, email: santoshector@hotmail.com

Efecto de la fertilización con estiércol combinado con urea sobre la producción y calidad del pasto de corte Camerún (*pennisetum purpureum*)

Héctor Alejandro Santos*

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue encontrar la edad adecuada al corte donde el pasto, fertilizado con las distintas combinaciones de estiércol y urea, presente adecuados contenidos de proteína cruda, digestibilidad, energía digerible y producción de materia seca y fresca por unidad de área así como determinar el nivel de fertilización nitrogenada, utilizando la combinación estiércol y urea, al cual se maximice la producción y se mantenga las mejores características de calidad nutricional en el forraje. Para esto se realizó un estudio para evaluar la respuesta del pasto Camerún (*pennisetum purpureum*) a tratamientos definidos por el uso de fertilizante Orgánico (Estiércol) y Químico (Urea) en proporciones relativas de 250/75Q, 500/50Q y 750/25Q; combinadas con el uso de dosis de nitrógeno de 0 (testigo), 300 y 600 Kg/N/ha/año. Los anteriores tratamientos se evaluaron en tres distintas edades de corte: 50, 70 y 90 días. Las variables evaluadas fueron contenido de proteína cruda, energía digestible, producción de materia verde y seca, altura, relación hoja tallo y las variaciones en la composición botánica de la pastura. La altura en el pasto fue más alta a los 90 días con 2.19 m. Los tratamientos también tuvieron efecto sobre la altura presentada, siendo el tratamiento con 300 Kg/N/ha/año y 500/50Q el que tuvo mayor altura con 2.03 m. En la relación hoja tallo los cambios observados se deben por los días a corte y hubo una mayor relación a los 50 y 90 días a corte con valores de 2.16 y 2.10 respectivamente. La mayor producción en base seca se obtuvo a los 70 días a corte. El tratamiento más productivo, corresponde al tratamiento con 300 Kg/N/ha/año y fertilizante 750/25Q el cual produjo 9511.11 Kg/MS/ha/corte. El más alto contenido de proteína y ED se obtuvo con el tratamiento de 600 Kg/N/ha/año y 750/25Q con el que se alcanzó un 15.47 % de PC y 2.05 Mcal/Kg respectivamente. La mejor digestibilidad se obtuvo a los 50 días a corte, y los tratamientos que presentaron el mejor porcentaje fueron el T60025, T60075, T60050 y T30075. El contenido de fibra ácido detergente fue mayor a los 70 días a corte (41.99%) y menor a los 50 días (39.54%). Se concluyó que el tratamiento que presenta los mayores contenidos de proteína cruda y energía digestible por hectárea, así como de producción de materia seca fue con el tratamiento "T3007570", por lo cual se considera la opción técnicamente más viable para realizar un plan de fertilización del pasto Camerún.

Palabras claves: Fertilización orgánica, edad a corte, pasto Camerún, nitrógeno.

* Postgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales, Universidad Nacional, Apdo. postal 304-3000, Tel. 237-5229, email: santoshector@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

En muchos de los sistemas de explotación de los países en desarrollo, de los cuales los animales forman parte integrante, se utiliza toda la gama de productos animales. Muchos de éstos son también insumos agrícolas importantes, como el estiércol y la fuerza de tracción. Con la población mundial en crecimiento, no se puede permitir que la producción de alimentos se estanque, por lo que es necesario un aumento más sostenible de la producción agropecuaria. La complementariedad entre los cultivos y el ganado, que permite reciclar los nutrientes y obtener energía y valor añadido, es un elemento único, que hay que aprovechar plenamente (FAO 1992).

Desde 1940, la adopción de fertilizantes sintéticos ha reducido las necesidades de estiércol como fuente de nutrientes para la producción de cultivos. Esto ha llevado a la separación de la producción animal con la producción de cultivos, así como al incremento en el uso de alimentos importados, y a un crecimiento en la densidad de animales en áreas destinadas a lecherías y otras actividades de producción animal (Lanyon 1995).

Grandes cantidades de animales bajo los nuevos sistemas de confinamiento producen grandes cantidades de estiércol, el cual debe ser movilizado grandes distancias para encontrar cultivos donde puedan ser usados estos nutrientes. El problema radica en la baja densidad de nutrientes en el estiércol, pues para la fertilización en cultivos los nutrientes de alta densidad permiten mayor eficiencia en el transporte y costo de aplicación (Richard 1999).

Desde el punto de vista ambiental la fertilización con estiércol se debe realizar en base a los requerimientos de fósforo y suplementar con una fuente de nitrógeno adicional permitiendo esto utilizar bajas cantidades de estiércol (Schmitt 2002).

Tomando en cuenta la cantidad de animales y los grandes volúmenes de desecho se pueden ocasionar efectos considerables de contaminación de suelo, del agua y la tierra. La mayoría de los efectos son causados por emisiones del estiércol en la forma de nitrógeno (N), fósforo (P) y varios metales pesados que provienen del estiércol en los establos, bien sea durante el almacenamiento, después de la aplicación en suelos o simplemente cuando éste es eliminado (Campbell *et al.* 1999).

Según análisis realizados el pasto Camerún provee alrededor de un 11.7 % de proteína cruda, 39.2 % de fibra ácido detergente y un 22.8 % de materia seca (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis nutricional del pasto Camerún (*pennisetum purpureum*).

Componente	%
Materia Seca Total	22.8
Lignina	3.5
Cenizas	8.5
Proteína Cruda	11.7
Extracto Etéreo	2.0
FAD*	39.2
FND**	64.7

* FAD = Fibra ácido detergente ** FND = Fibra neutro detergente

1.1 Respuesta a la fertilización nitrogenada y edad al corte

Según Chandler, citado por Will *et al.* (1989) los valores de extracción para el pasto Taiwán, también del genero *pennisetum*, son de 350 Kg de N, 70 Kg de P, 440 Kg de K, 110 Kg de Ca, 75 Kg de Mg y 80 Kg de S por hectárea por año, por lo cual considera a las gramíneas con altas tasas de extracción especialmente de N y K.

Evaluaciones en el pasto Colorado (*panicum coloratum*) determinaron que este respondió a los diferentes niveles de fertilización, con un incremento en el rendimiento de materia seca, pero sin modificaciones en la composición, consumo voluntario y digestibilidad. Por otro lado, la edad determinó aumentos en los rendimientos de materia seca, y cambios en su composición y digestibilidad (Chacón *et al.* 1971).

Según Carrillo *et al* 2000, encontró que en el pasto *Andropogon gayanus* los contenidos de proteína cruda (PC), en ambos ciclos se incrementaron con las dosis de nitrógeno en forma de urea con valores de 6.8 ; 6.8; 7.8; 9.6 y 11.3% de PC, cuando se aplicaron 0, 100, 200, 300 y 400 kg/ha de N respectivamente. Por otra parte, los contenidos de PC, decrecieron con la edad del pastizal. Los contenidos de NDT no fueron afectados por la dosis de nitrógeno, con valores entre 39.7 y 43.1%. Por su parte Losilla (1976) en pasto elefante, con nitrato de amonio como fuente de fertilizante nitrogenado, obtuvo rendimientos en PC de 19.32 y 21.25 % con dosis de 300 y 450 Kg/N/ha/año, alcanzando la máxima digestibilidad a los 21 días de corte con niveles de fertilización de 450 Kg/N/ha/año.

En pasto kikuyo (*pennisetum clandestinum*) se determinó que la fertilización orgánica y mixta compuesta por estiércol bovino fresco y una fórmula comercial que aportaban 100 k/N/ha, bajo el sistema de labranza mínima, reportaron las mayores producciones al sobrepasar las 5 t MS/ha/corte, el índice de área foliar fue mayor a 10, la altura de plantas superó los 25 cm y los periodos de recuperación fueron menores de 55 días (Guerrero *et al.* 2003)

En pasto Camerún se han obtenido rendimientos de 13.5 Ton/MS/ha/corte con niveles de fertilización con urea de 600 Kg/N/ha/año (Tabla 2) e índices de crecimiento de 241 Kg/MS/ha/día, capaces de soportar 25 UA/ha (Turcios 2002). Estos rendimientos son similares a los obtenidos por Guerrero (1969) de 13.4 Ton/MS/ha/año con niveles de fertilización de 400 Kg/N/ha/año y porcentajes de proteína de 9.4%. Losilla (1976) encontró rendimientos de 16.18 Ton/MS/ha/año con niveles de fertilización de 450 Kg/N/ha/año, similares a los reportados por Machado *et al.* (1979) de 17.9 Ton/MS/ha/año con 600 Kg/N/ha/año. Quintana (1968) reporta rendimientos de 24.7 Ton/MS/ha/año con niveles de fertilización de 670 Kg/N/ha/año.

Tabla 2. Producción de materia seca y carga animal por hectárea para pasto Camerún.

Kg/ha/año de nitrógeno	Prod. MS/Ton/ha/corte*	Carga animal UA/ha**
0	8.40 ± 0.8 sd a	16
200	11.02 ± 0.8 sd b	21
400	11.03 ± 0.8 sd b	21
600	13.50 ± 0.8 sd c	25

*Valores con la misma letra no presentan diferencia significativa (p<0.05).

Fuente: (Turcios 2002)

** Carga animal estimada con un 5% de rechazo. CV= 36.7, R² = 0.65

Utilizando efluente de biogás y niveles de fertilización de 500 Kg/N/ha/año se han obtenido rendimientos de 12.7 Ton/MS/ha/semestre y 13.14 % de PC, aunque a niveles de 750 Kg/N/ha/año el rendimiento disminuye atribuyéndolo en su mayoría a fitotoxicidad (Will *et al.* 1989). Por su parte Ordóñez (1980), sustituyendo urea por gallinaza, obtuvo rendimientos de 6.16 Ton/MS/ha/corte y 0.29 Ton/PC/ha/corte con 54 Kg de urea y 600 Kg de gallinaza, donde la gallinaza corresponde al 25% del nitrógeno total.

La proteína cruda y la digestibilidad son variables dependientes de la fertilización, ambas se incrementan a medida que se aumenta el nitrógeno en el suelo y éste a su vez posee un impacto sobre la producción de materia seca (Losilla 1976). La mayor tasa de desaparición ruminal para materia seca (MS), PC y fibra neutro detergente (FND) se presentó cuando el pasto King Grass se cosechó a los 63 días, con valores de PC de 7% y niveles de fertilización de 300 Kg/N/ha/año (Moreno 1991).

Esto nos indica que el nitrógeno es uno de los elementos esenciales y más limitantes en los suelos tropicales, sin embargo su aprovechamiento se ve reducido por volatilización, desnitrificación y lixiviación (Rocha *et al.* 2000).

En pasto elefante los mejores rendimientos fueron obtenidos a los 56 días de edad al corte, tanto para materia seca como para materia verde, aunque a los 42 días de edad al corte se presentó el mayor contenido de proteína y menor contenido de fibra (Roux 1961). Con pasto Taiwán, Martínez y Valle, citados por Will (1989), evaluaron a los 30, 45 y 60 días de edad al corte obteniendo la máxima producción de 5-8 Ton/MS/ha/corte y Moreno (1991) evaluando a los 63, 77 y 91 días de intervalos entre cortes, encontró que las mayores tasas y los menores tiempos de desaparición ruminal se encuentran a los 63 días, mientras que Losilla (1976) no encontró diferencias significativas entre las edades al corte de 21,28 y 35 días.

1.2 Objetivos

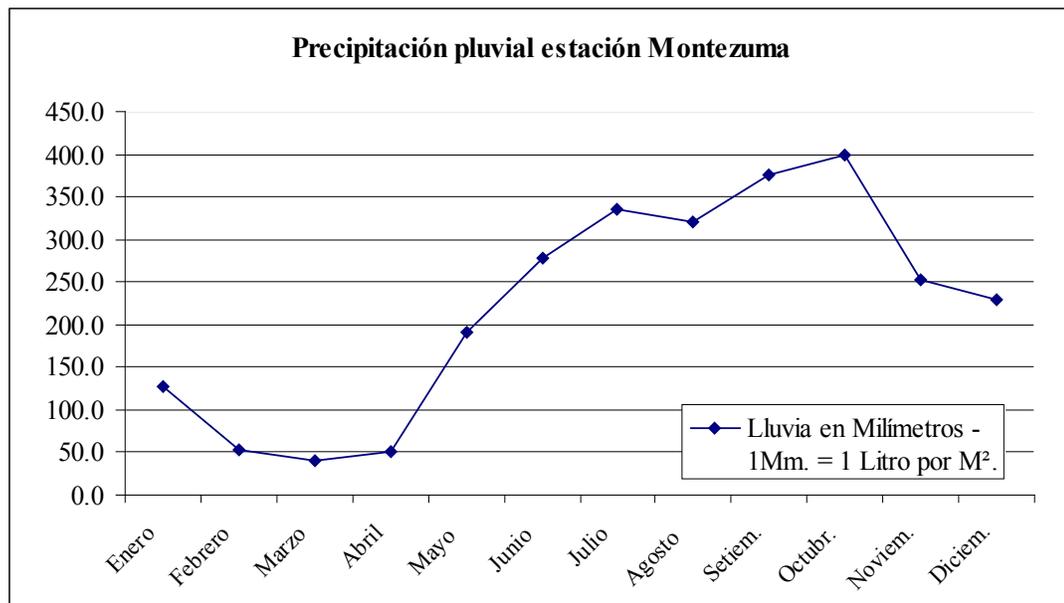
Encontrar la edad adecuada al corte donde el pasto, fertilizado con las distintas combinaciones de estiércol y urea, presente adecuados contenidos de proteína cruda, digestibilidad, energía digerible y producción de materia seca y fresca por unidad de área.

Determinar el nivel de fertilización nitrogenada, utilizando la combinación estiércol y urea, al cual se maximice la producción en materia seca y fresca y se mantenga las mejores características de calidad nutricional en el forraje.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Área de estudio

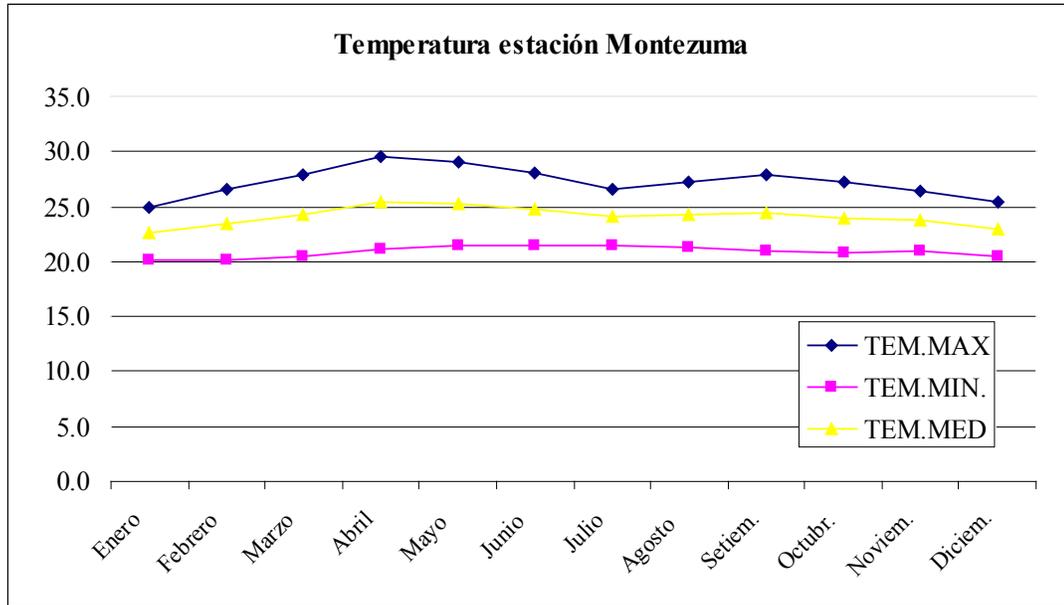
El estudio se realizó en la Hacienda Montezuma, ubicada en la población de Río Chiquito, provincia de Guanacaste Lat. 10° 42' N, Long. 85° 05' O, a 450 msnm, precipitación anual de 2700 mm distribuida en los últimos seis meses del años (Figura 1) y temperaturas promedio anuales de 24°C (Figura 2).



Fuente: (Araya 2005)

Figura 1. Precipitación pluvial promedio (mm) estación Montezuma.

Se escogió el lote de Naranja 1 para el establecimiento del ensayo el cual es un terreno no inundable, que tiene características similares de suelos, viento y radiación solar, considerado accesible en cualquier época del año y con fertilidad uniforme.



Fuente: (Araya 2005)

Figura 2. Temperatura máxima, mínima y promedio (°C) estación Montezuma.

2.2 Establecimiento y marcaje del terreno

Se cortó el pasto existente actualmente a una altura de 8 cm en promedio, este fue cortado a mano con machete y el forraje removido del lugar para posteriormente ser utilizado para alimentación animal. Se procedió al marcaje del terreno según la distribución aleatoria (Figura 3), rotulando debidamente cada una de las unidades experimentales. Luego se abrió un surco de 20 cm de ancho por 10 cm de alto, al pie de la planta, para luego realizar la incorporación respectiva del fertilizante distribuyéndolo de manera uniforme en toda la parcela.

2.3 Fertilización

Después de un análisis de suelo y estiércol (Anexo 11), se aplicó el fertilizante siete días después del corte de uniformización, combinando las cantidades debidamente pesadas de urea y estiércol al momento de colocarlo en el surco ya antes hecho, luego se procedió a incorporarlo manualmente.

Se evaluaron tres tipos de mezcla de fertilizante orgánico y químico incorporado al suelo, estiércol de ganado vacuno, recolectado después del separador de sólidos de las aguas de lavado y químico (urea), 25% con 75%, 50% con 50% y 75% con 25 % respectivamente y dos dosis de nitrógeno con un testigo: 0, 300 y 600 Kg/N/ha/año y para encontrar la edad adecuada al corte donde el pasto presente los mayores contenidos proteína cruda, energía digerible y producción de materia seca, se evaluarán tres edades de corte: 50, 70 y 90 días (Tabla 3). Las cantidades de urea y estiércol por parcela se calcularon en base a un 12 m² y se dividió para dos, asumiendo realizar dos fertilizaciones al año (Anexo 1).

2.4 Diseño experimental

Se utilizó un arreglo factorial en Diseño Completamente Aleatorio con dos repeticiones, según la metodología usada por Carrillo *et al.* (2000) el área total será de 432 m², dividida en dos repeticiones de 216 m² c/u separados por espacios de dos metros de ancho. Cada repetición fue dividida en 18 parcelas principales de 12 m² (3 m x 4 m) y tres testigos con 36 m² (3 x 12 m²), en los cuales se aleatorizó y distribuyeron los tratamientos (Diagrama 1). Las evaluaciones se realizaron en los ciclos de lluvias y al inicio del experimento, la pastura se uniformizó a una altura de 7-8 cm. y se aplicó incorporando al suelo estiércol y urea de acuerdo a las dosis de nitrógeno respectivas.

Tabla 3. Codificación de cada uno de los respectivos tratamientos.

Mezcla Fert. O/Q*	Dosis de N	Edad días a corte		
		50 días	70 días	90 días
Testigo	0	T0000050	T0000070	T0000090
25% O. y 75% Q.	300	T3002550 (A50)	T3002570 (A70)	T3002590 (A90)
	600	T6002550 (B50)	T6002570 (B70)	T6002590 (B90)
50% O. y 50% Q.	300	T3005050 (C50)	T3005070 (C70)	T3005090 (C90)
	600	T6005050 (D50)	T6005070 (D70)	T6005090 (D90)
75% O. y 25% Q.	300	T3007550 (E50)	T3007570 (E70)	T3007590 (E90)
	600	T6007550 (F50)	T6007570 (F70)	T6007590 (F90)

* O. = Orgánico Q. = Químico

Primera repetición					Segunda repetición				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
D50	E90	F70	C90	A90	B70	C90	T70	D70	A50
2 m.					2 m.				
6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
E70	T70	D70	B90	C60	C70	D90	F90	C50	T90
2 m.					2 m.				
11	12	13	14	15	11	12	13	14	15
A50	F50	B70	T50	D90	B90	T50	A70	E70	B50
2 m.					2 m.				
16	17	18	19	20	16	17	18	19	20
C50	E50	T90	A70	B50	E50	F50	E90	D50	A90
		21					21		
		F90					F70		

Figura 3. Aleatorización y distribución de parcelas y tratamientos en el campo.

2.5 Medición de variables:

2.5.1 Rendimiento materia seca y fresca

Se cortó cada parcela en su totalidad a las edades correspondientes (50,70 y 90 días) y se pesó para determinar rendimiento fresco. Una muestra del material de cada parcela fue secada en un medidor especial de materia seca Koster Crop Tester Modelo K100K hasta alcanzar peso constante, con el fin de evaluar su porcentaje de materia seca y poder estimar la producción de esta por unidad de área. Los datos se expresaron en Kg/ha/semestre, resultado de multiplicar la producción (Kg/ha/corte) por el número de cortes al año (7, 5 y 4 cortes/año para las edades de 50, 70 y 90 días respectivamente) y dividido entre 2 dos para expresarlo por semestre.

2.5.2 Altura y relación hoja-tallo

Antes de cortar cada parcela se tomaron cinco mediciones de altura, para luego determinar un promedio; estas se hicieron desde el ras del suelo hasta la punta de las hojas más altas a los 50, 70 y 90 días. Para determinar la relación hoja tallo se peso una cantidad conocida de forraje y luego se separó los tallos de las hojas los cuales se pesaron por separado y así se sacó la relación.

2.5.3 Composición botánica de la pastura

Para éste fin se estableció dos parcelas de un metro cuadrado cada una (una por repetición) las cuales fueron fertilizadas con estiércol y evaluadas al principio y al final del experimento mediante una técnica de presencia y ausencia (Sí o No presencia) de malezas, se identificó las especies presentes y se evaluó la aparición de nuevas especies, esto para determinar la composición botánica existente en la pastura.

2.5.4 Proteína cruda, digestibilidad de la materia seca, fibra ácido detergente y energía digestible

Se enviaron las muestras debidamente identificadas al laboratorio de nutrición animal del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), donde se midió el contenido de proteína cruda (PC), digestibilidad de la materia seca (DIVMS), fibra ácido detergente (FDA) y energía digerible (ED) (Anexo 10).

2.6 Análisis estadístico

Las diferencias entre medias de los tratamientos se establecieron mediante una prueba de Duncan, utilizando el programa estadístico INFOSTAT. Se analizaron los datos de Kg MS y MV /ha/ corte (Kg de materia seca y materia verde por hectárea por corte), ED (Energía digestible), altura, relación hoja tallo y %PC (porcentaje de proteína cruda) por medio de un análisis de varianza (ANOVA) y separación de medias, utilizando el siguiente modelo estadístico:

$$\mu + \text{Rep} + \text{EC} + \text{Trat} + \text{EC} * \text{Trat} + e$$

En donde las variables a considerar son las siguientes:

M	=	Media general de la variable de respuesta
Rep	=	Efecto de repetición (2)
EC	=	Efecto fijo de edad de corte (50,70,90 días)
Trat	=	Efecto fijo de nivel de nitrógeno (300, 600) y combinación de fert. orgánico (25,50, 75%).
EC*Trat	=	Efecto de interacción de edad de corte* nivel de nitrógeno y fert. Orgánico
E	=	Error residual aleatorio NID(0,σ ²)

Para la comparación de medias se utilizó un nivel de significancia del 5 % ($\alpha = 0.05$), el cual se consideró adecuado de acuerdo para las condiciones semicontroladas en que se llevó a cabo el experimento

2.7 Criterio de selección

Para escoger el mejor tratamiento se tomó en cuenta la producción de materia seca por hectárea por corte, el contenido de proteína cruda y la cantidad de energía digestible; estimando de este modo la producción de proteína cruda por hectárea por corte y la energía digerible por hectárea por corte.

Para escoger la edad en días a corte se tomará en cuenta la mayor digestibilidad, mayor producción de materia seca y mayor contenido de energía digestible.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química nutricional del estiércol puede variar dependiendo de muchos factores, tales como la alimentación, raza de los animales y procesos de manejo del mismo, es por eso que se hace necesario analizar la composición para cada sistema productivo con el objeto de determinar su valor como fertilizante, en este caso el estiércol posee un 0.89 % de nitrógeno (Tabla 4).

Tabla 4. Composición y características del estiércol bovino, después del separador de sólidos en Ganadera Montezuma.

	Ca	Mg	K	P	N
	----- % -----				
Estiércol	0.76	0.52	0.14	0.16	0.89

Conocer la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo también constituye parte importante en los planes de fertilización de cualquier cultivo, es por eso que fue necesario determinar la cantidad de nitrógeno (0.49 %) disponible en el suelo (Tabla 5) destinado al estudio.

Tabla 5. Composición y características del suelo en el área destinada al estudio.

	Prof. (cm)	pH H ₂ O	Acidez ----- cmol (+)	Ca	Mg	K	P mg/l	N %
Suelo	0-30	5.78	0.11	10.11	2.53	0.75	2.4	0.49

3.1 Composición botánica de la pastura

Al determinar la presencia de malezas dentro de la pastura se lograron identificar, en ambas parcelas de evaluación, ocho malezas predominantes (Tabla 6) las cuales se encontraron al inicio y al final del experimento, por lo cual podemos concluir que el estiércol no aportó nuevas especies a la composición botánica actual.

Tabla 6. Especies que conforman la composición botánica de la pastura de Camerún.

Nombre común	Nombre científico
Dormilona, tamarindo	<i>Aeschynomene scabra</i>
Tostoncillo, pajarera	<i>Delilia biflora</i>
Hierba conejo	<i>Drymaria cordata</i>
Pincelillo	<i>Emilia fosbergii</i>
Cabezona, zompopa	<i>Marsypianthes chamaedrys</i>
Dormilona	<i>Mimosa pudica</i>
Gramma conejo	<i>Oplismenus burmannii</i>
Escoba de San Antonio	<i>Pseudoelephantopus spicatus</i>

3.2 Altura y relación hoja-tallo

Mediante un análisis de varianza (Anexo 4) podemos observar que la altura se vio influenciada por el efecto del tratamiento ($p < 0.05$), al igual que por los días a corte (50,70 y 90) así como la interacción de ambos ($p < 0.05$) (Cuadro 7).

La relación hoja tallo (Anexo 5) no se vio influenciada por el efecto de los tratamientos pero sí por el efecto de los días a corte ($p < 0.05$), la interacción de ambos factores tampoco es significativa sobre esta variable (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de la varianza para altura de planta y relación hoja tallo.

Factor	Altura de planta		Relación hoja tallo	
	F	Valor p	F	Valor p
Tratamiento (Trat)	8.86	0.0001	1.06	0.4175
Repetición (Rep)	0.60	0.4473	2.10	0.1631
Días a corte	282.21	<0.0001	4.19	0.0301
Trat * Días a corte	5.48	0.0004	1.04	0.4522
R ²	0.97		0.59	
CV	2.98		21.03	

El efecto de la repetición no influyó sobre las diferencias encontradas, tanto para la variable altura de planta como para relación hoja tallo, esto nos indica que hubo homogeneidad en ambas parcelas lo cual corresponde a una buena conducción del experimento.

3.2.1 Altura

La variable altura (metros) en el pasto Camerún se vio influenciada por los días a corte, alcanzando la mayor altura (2.19 m) a los 90 días de corte, la cual difiere significativamente ($p < 0.05$) a las alcanzadas a los 50 y 70 días de corte, 1.68 m y 2.07 m respectivamente, ambas también diferentes entre sí (Tabla 8). En otros estudios con *pennisetum purpureum* se han encontrado alturas de 1.85 y 2.89 m en pastos con 56 y 126 días a corte respectivamente (Deschamps 2000).

Tabla 8. Separación de medias para la variable altura (metros) por factor de días a corte.

Días a corte	Medias	
50	1.68	a
70	2.07	b
90	2.19	c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 0.0035 gl: 20

Los tratamientos que recibieron algún tipo de fertilización tuvieron mayores alturas ($p < 0.05$) en comparación con el testigo (T00000), que presentó una altura de 1.83 m. No se encontraron diferencias significativas en altura entre los demás tratamientos (Tabla 9).

Tabla 9. Separación de medias de la variable altura (metros) por factor tratamiento.

Tratamientos (Trat.)	Medias	
T00000	1.83	a
T60050	1.98	b
T30025	1.98	b
T60025	2.00	b
T30075	2.01	b
T60075	2.03	b
T30050	2.03	b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 0.0035 gl: 20

3.2.2 Relación hoja tallo. Al evaluar el efecto de los días a corte sobre la variable relación hoja tallo podemos observar que a los 50 días de corte se obtiene la mayor relación (2.16) la cual no difiere significativamente de la relación alcanzada a los 90 días (2.10); aunque ambas son diferentes a la relación alcanzada a los 70 días (1.73, $p < 0.05$) (Tabla 10).

Tabla 10. Separación de medias para la variable relación hoja tallo por factor de días a corte.

Días a corte	Medias	
70	1.73	a
90	2.10	b
50	2.16	b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 0.1763 gl: 20

Los tratamientos no tuvieron un efecto sobre la relación hoja tallo y también no se presentaron diferencias significativas entre los mismos, los valores oscilaron desde 1.77 hasta 2.21 para los tratamientos T30050 y T60025 respectivamente (Tabla 11). En pasto maralfalfa (*pennisetum sp.*) fertilizado con materia orgánica, se registraron disminuciones, entre los 40 a 110 días a corte, de 1.25 a 0.7 en la relación hoja tallo, debido al rápido incremento en los pesos de los tallos y sin fertilizante la relación se redujo desde 2.4 a 1.25 en el mismo periodo (Correa *et al.* 2004).

Tabla 11. Separación de medias de la variable relación hoja tallo por factor tratamiento.

Tratamientos (Trat)	Medias	
T30050	1.77	a
T60075	1.84	a
T60050	1.92	a
T30025	1.94	a
T00000	2.11	a
T30075	2.20	a
T60025	2.21	a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 0.1763 gl: 20

3.3 Rendimiento y producción

En el análisis de varianza podemos observar que la variable de producción de materia seca (Anexo 2) esta influenciada básicamente por los días a corte ($p < 0.05$) mientras que la producción en materia verde (Anexo 3) esta influenciada por los días a corte y los tratamientos ($p < 0.05$) (Tabla 12).

La interacción de días a corte y tratamiento no influye significativamente en los rendimientos observados en las variables de producción de materia seca y verde (Tabla 12), lo que significa

que las diferencias relativas entre los tratamientos tienden a ser consistentes durante las 3 edades de corte evaluadas, con algunas excepciones a los 90 d (Figura 3).

Tabla 12. Análisis de la varianza para producción de materia verde y seca por hectárea por año.

Factor	<u>Materia seca</u>		<u>Materia verde</u>	
	F	Valor p	F	Valor p
Tratamiento (Trat)	2.55	0.0533	3.07	0.0270
Repetición (Rep)	1.89	0.1847	0.52	0.4773
Días a corte	32.43	<0.0001	34	<0.0001
Trat * Días a corte	1.69	0.1458	1.77	0.1261
R ²	0.84		0.84	
CV	20.12		17.90	

El efecto de la repetición no influyó sobre las diferencias encontradas, tanto para la variable producción de materia seca como para producción de materia verde, con lo cual podemos concluir que por el factor repeticiones hubo una buena conducción del experimento.

Se observó una variación bastante alta en producción de Materia Fresca y Seca. Una posible razón para la alta variación en productividad sería la composición heterogénea del fertilizante orgánico. Sin embargo, no se observó ninguna relación clara entre la variación en productividad y el nivel de fertilizante orgánico utilizado en los distintos tratamientos. Es posible que esta variación se deba entonces al uso de material forrajero obtenido bajo condiciones de campo cuyo origen y composición genética pudo ser bastante heterogéneo.

3.3.1 Producción de materia verde

En general los tratamientos presentaron una tendencia a mayor producción a los 70 días a corte, siendo el de mayor producción el tratamiento T30075 (Anexo 3). A los 90 días a corte la mayoría de los tratamientos experimentaron una reducción en la producción de materia verde, lo cual podría deberse en parte a la senescencia y caída de las hojas bajas (Figura 4).

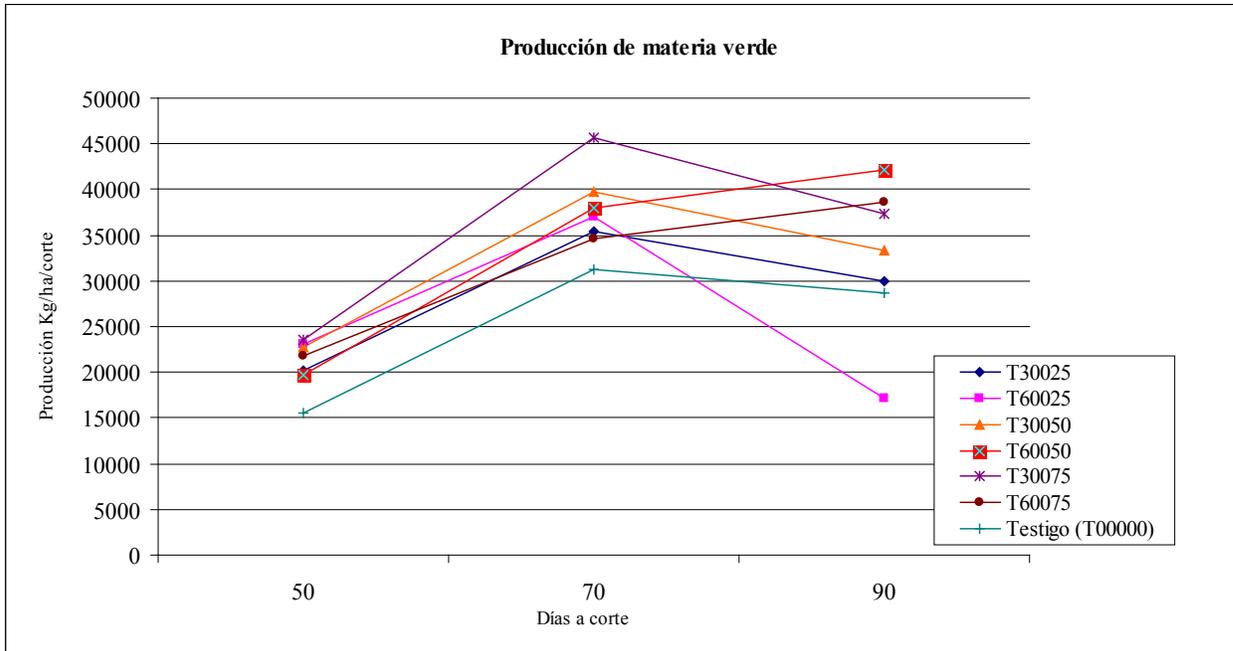


Figura 4. Producción de materia verde (Kg./ha/corte) a los 50, 70 y 90 días por cada uno de los tratamientos.

Hubo diferencia en la producción de materia verde (Kg/MV/ha/corte) debido al efecto de los días a corte donde se obtuvo el mayor rendimiento a los 70 días con 37380.95 Kg/MV/ha/corte. Todos los días a corte presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre sí para dicha variable (Tabla 13). Roux (1961) encontró que en pasto elefante los mejores rendimientos fueron obtenidos a los 56 días de edad al corte, tanto para materia seca como para materia verde, aunque a los 42 días de edad al corte se presentó el mayor contenido de proteína y menor contenido de fibra.

Tabla 13. Separación de medias para la variable producción de materia verde (Kg/MV/ha/corte) por factor de días a corte.

Días a corte	Medias	
50	20934.52	a
90	32440.48	b
70	37380.95	c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 29324265.1273 gl: 20

El tratamiento que presentó la mayor producción de materia verde es el tratamiento T30075 con un rendimiento de 35486.11 Kg/MV/ha/corte, este a su vez no presentó diferencias significativas con los tratamientos T30025, T60075, T30050 y T60050 pero sí con los tratamientos T00000 y T60025 (Tabla 14). Schultze-Kraft (1971) reporta rendimientos con pasto elefante de 32500 Kg/MV/ha/corte con niveles de fertilización de 150 Kg/N/ha/corte.

Tabla 14. Separación de medias para la variable producción de materia verde (Kg/MV/ha/corte) por factor de tratamiento.

Tratamientos (Trat)	Medias	
T00000	25166.67	a
T60025	25763.89	a
T30025	28541.67	ab
T60075	31631.95	ab
T30050	31944.44	ab
T60050	33229.17	b
T30075	35486.11	b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Duncan Alfa: 0.05 Error: 29324265.1273 gl: 20

3.3.2 Producción de materia seca

La producción de materia seca fue mayor en el tratamiento T30075 a los 70 días a corte (Anexo 2). Se puede observar (Figura 4) la tendencia en la mayoría de los tratamientos a una disminución del rendimiento a los 90 días a corte. Según Quero *et al.* (1986) resultados superiores a 20000 Kg/MS/ha/año significan un aumento considerable en el potencial ganadero.

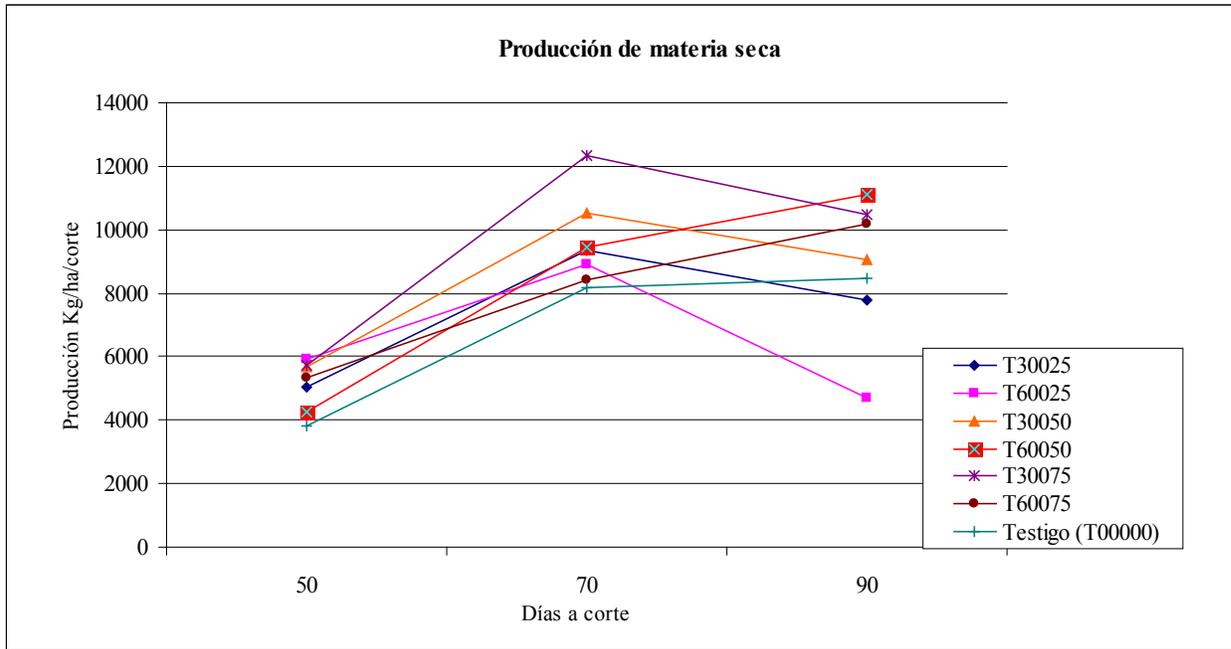


Figura 5. Producción de materia seca (Kg./ha/corte) a los 50, 70 y 90 días por cada uno de los tratamientos.

Para la producción de materia seca el mayor rendimiento se obtuvo a los 70 días a corte con un rendimiento de 9608.04 Kg/MS/ha/corte el cual no fue significativamente diferente al rendimiento obtenido a los 90 días (8826.76 Kg/MS/ha/corte) pero ambos difieren con el obtenido a los 50 días a corte (5110.39 Kg/MS/ha/corte) (Tabla 15). Martínez y Valle, citados por Will (1989), evaluaron a los 30, 45 y 60 días de edad al corte obteniendo la máxima producción a los 60 días la cual fue de 5,000 a 8,000 Kg/MS/ha/corte lo cual es muy similar a lo obtenido en este estudio.

Tabla 15. Separación de medias para la variable producción de materia seca (Kg/MS/ha/corte) por factor de días a corte.

Días a corte	Medias	
50	5110.39	A
90	8826.79	B
70	9608.04	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Duncan Alfa: 0.05 Error: 2493202.8480 gl: 20

El mayor rendimiento (9511.11 Kg/MS/ha/corte) se obtuvo con el tratamiento T30075 el cual no fue significativamente diferente a los tratamientos T30050, T60050 y T60075 pero fue superior a los tratamientos T60025, T00000 y T30025 (Tabla 16). Los altos niveles con fertilización orgánica pueden proveer otra serie de macro y micro nutrientes, además de nitrógeno, para el correcto desarrollo de la planta.

Tabla 16. Separación de medias para la variable producción de materia seca (Kg/MS/ha/corte) por factor de tratamiento.

Tratamientos (Trat)	Medias	
T60025	6508.34	A
T00000	6817.64	A
T30025	7404.86	A
T60075	7991.32	Ab
T60050	8278.47	Ab
T30050	8427.08	Ab
T30075	9511.11	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Duncan Alfa: 0.05 Error: 2493202.8480 gl: 20

Turcios (2002) con niveles de fertilización de 400 y 600 Kg/N/ha/año obtuvo rendimientos, en pasto Camerún, de 11030 y 13050 Kg/MS/ha/corte respectivamente lo cual es muy superior a lo encontrado en este estudio. Contrario a lo anterior Sabando (1989) encontró rendimiento de 4500 Kg/MS/ha/corte con una aplicación de fertilizante de 300 Kg/N/ha/año lo cual está muy por debajo de los reportados en este estudio.

3.4 Proteína cruda (% PC) y energía digestible (ED)

Podemos observar (Tabla 17) que hubo una clara influencia de los niveles de fertilización con combinaciones de fertilizantes (tratamientos) y los días a corte ($p < 0.05$) sobre el contenido de proteína cruda (Anexo 6) en el forraje, no así en la interacción de ambos factores. Para la variable energía digestible (Anexo 7) el único factor que tuvo influencia significativa ($p < 0.05$) sobre las variaciones observadas fue el factor días a corte.

Tabla 17. Análisis de la varianza para proteína cruda (% PC) y energía digestible (ED).

Factor	<u>Proteína cruda</u>		<u>Energía digestible</u>	
	F	Valor p	F	Valor p
Tratamiento (Trat)	9.68	<0.0001	2.48	0.0583
Repetición (Rep)	0.26	0.6162	0.05	0.8333
Días a corte	7.70	0.0033	65.77	<0.0001
Trat * Días a corte	0.81	0.6399	0.28	0.9862
R ²	0.81		0.88	
CV	8.42		3.61	

La fertilización con nitrógeno es la que tiene mayor efecto sobre la producción y el valor nutritivo de las pasturas aunque también la edad determina el contenido de estos nutrientes. La aplicación de cantidades adecuadas de nitrógeno aumenta el contenido de proteína cruda en la planta (Gillet 1984).

3.4.1 Proteína cruda (PC)

En este estudio podemos observar (Tabla 18) que a los 50 días a corte se obtuvo el mayor contenido de proteína cruda (14.98 %) el cual difiere significativamente ($p < 0.05$) de los resultados obtenidos a los 70 (13.24 %) y 90 (13.90 %) días a corte.

Tabla 18. Separación de medias por días a corte para la variable proteína cruda (%).

Días a corte	Medias	
70	13.24	a
90	13.90	a
50	14.98	b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 1.3966 gl: 20

Es común que a los 50 días a corte el pasto presente un mayor contenido de proteína pues al inicio de la temporada de crecimiento los pastos tienen una gran cantidad de agua y un exceso de proteína y nitrógeno total para los rumiantes; lo cual puede ocasionar diarreas y dificultad para obtener una ingestión adecuada de energía (Church *et al.* 2003).

El tratamiento que presentó el mejor contenido de proteína fue el T60075 que a su vez no fue diferente significativamente de los tratamientos T60050, T30075 y T60025, pero si de los tratamientos T30050, T00000 y T30025 (Tabla 19). Utilizando efluente de biogás y niveles de fertilización de 500 Kg/N/ha/año se han obtenido rendimientos de 13.14 % de proteína cruda (Will *et al.* 1989).

Tabla 19. Separación de medias por tratamientos para la variable proteína cruda (%).

Tratamientos (Trat)	Medias	
T30025	11.97	a
T00000	12.08	a
T30050	13.82	b
T60025	14.35	bc
T30075	15.17	bc
T60050	15.43	c
T60075	15.47	c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 1.3966 gl: 20

Castillo y Villareal (2002) reportaron niveles de 10% de proteína cruda con niveles de fertilización de 600 Kg/N/ha/año en pasto Camerún; muy por debajo de lo encontrado en el presente estudio. Es claro que la proteína, en algunos casos, la aceptabilidad y la ingestión de materia seca pueden aumentar en respuesta a la fertilización con nitrógeno (Church *et al.* 2003).

3.4.2 Energía digestible (ED)

El mayor contenido de energía digestible se alcanza a los 70 días de edad al corte (2.10 Mcal/Kg), lo cual no es significativamente diferente a lo alcanzado a los 90 días (2.09 Mcal/Kg), pero ambos son diferentes a lo obtenido a los 50 días a corte (1.82 Mcal/Kg) (Tabla 20).

Tabla 20. Separación de medias por días a corte para la variable energía digestible (Mcal/Kg).

Días a corte	Medias	
50	1.82	a
90	2.09	b
70	2.10	b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 0.0052 gl: 20

El tratamiento con mayor contenido de energía digestible fue el T60075 con 2.05 Mcal/Kg el cual no fue diferente significativamente a los tratamientos T60025, T60050, T30075 y T00000 pero sí a los tratamientos T30025 y T30050 (Tabla 21).

Tabla 21. Separación de medias por tratamientos para la variable energía digestible (Mcal/Kg).

Tratamientos (Trat)	Medias	
T30025	1.93	a
T30050	1.95	ab
T00000	1.98	abc
T30075	2.03	bc
T60050	2.03	bc
T60025	2.03	bc
T60075	2.05	c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 0.0052 gl: 20

En pasto *pennisetum purpureum* Vélez (1997) reporta contenidos de energía digestible de 2.25 Mcal/Kg entre los 43 y 56 días al corte, 2.22 Mcal/Kg entre los 57 a 70 días a corte y 2.01 Mcal/Kg en pastos maduros de más de 70 días al corte.

3.5 Digestibilidad de la materia seca (DIVMS) y fibra ácido detergente (FDA)

Para la variable digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) (Anexo 8) se puede observar (Tabla 22) que influyeron significativamente ($p < 0.05$) el nivel de fertilización con combinación de fertilizantes químico/orgánico (tratamiento) y los días a corte, sin influencia de la interacción de ambos.

Los factores tratamiento y días a corte también tuvieron influencia significativa ($p < 0.05$) sobre los resultados encontrados en la variable fibra ácido detergente (FDA) (Anexo 9), y tampoco la interacción de ambos tuvo efecto sobre los resultados alcanzados por el forraje (Tabla 22). El factor repetición no tuvo efecto sobre los valores encontrados para ambas variables, por lo que concluimos que hubo homogeneidad en las parcelas y sus repeticiones.

Tabla 22. Análisis de la varianza para digestibilidad de la materia seca (DIVMS) y fibra ácido detergente (FDA).

Factor	Dig. mat. seca (DIVMS)		Fibra ácido detergente (FDA)	
	F	Valor p	F	Valor p
Tratamiento (Trat)	2.68	0.0452	2.69	0.0443
Repetición (Rep)	0.66	0.4270	0.67	0.4238
Días a corte	8.60	0.0020	8.34	0.0023
Trat * Días a corte	0.27	0.9890	0.26	0.9894
R ²	0.65		0.65	
CV	2.73		4.45	

Es claro el efecto de la edad (días a corte) en los forrajes tropicales, sobre las variables de fibra y digestibilidad de la materia seca. A medida que el pasto aumenta en su etapa de madurez se experimenta una reducción en digestibilidad, ceniza y carbohidratos solubles; así como un aumento en los contenidos de lignina, celulosa y fibra cruda (Church *et al.* 2003)

3.5.1 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)

La mayor digestibilidad de la materia seca (52.18 %) del forraje se alcanzó a los 50 días a corte siendo diferente significativamente ($p < 0.05$) a las alcanzadas a los 90 (50.29 %) y 70 (50.29 %) días a corte (Tabla 23). Los forrajes son voluminosos y fibrosos, su digestibilidad de la materia orgánica (MO) es inferior a 60% en pastos tropicales (Vélez 1997).

Tabla 23. Separación de medias por días a corte para la variable digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS).

Días a corte	Medias	
90	50.29	a
70	50.29	a
50	52.18	b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 1.9298 gl: 20

El tratamiento que presentó mejor digestibilidad de la materia seca fue el T60025 que a su vez no difiere significativamente de los tratamientos T60075, T60050, T30075 y T00000; pero sí de los tratamientos T30025 y T30050 (Tabla 24).

Tabla 24. Separación de medias por tratamientos para la variable digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS).

Tratamientos (Trat)	Medias	
T30025	49.50	a
T30050	49.83	ab
T00000	50.68	abc
T30075	51.55	bc
T60050	51.55	bc
T60075	51.65	bc
T60025	51.68	c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 1.9298 gl: 20

3.5.2 Fibra ácido detergente (FDA)

El menor contenido de fibra se alcanzó a los 50 días a corte con valores de 39.54 % siendo diferente significativamente ($P < 0.05$) a los valores alcanzados a los 70 y 90 días a corte, 41.99 % en ambos casos (Tabla 25).

Tabla 25. Separación de medias por días a corte para la variable fibra ácido detergente (FDA).

Días a corte	Medias	
50	39.54	a
90	41.99	b
70	41.99	b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 3.3592 gl: 20

El mayor contenido de fibra se obtuvo con el tratamiento T30025 con 43.05 % el cual no fue diferente significativamente de los tratamientos T30050 y T00000, y el menor contenido lo obtuvo el tratamiento T60025 con 40.15 % el cual no fue diferente significativamente de los tratamientos T60075, T30075, T60050 y T00000 (Tabla 26).

Tabla 26. Separación de medias por tratamientos para la variable fibra ácido detergente (FDA).

Tratamientos (Trat)	Medias	
T60025	40.15	a
T60075	40.23	ab
T30075	40.33	ab
T60050	40.33	ab
T00000	41.47	abc
T30050	42.62	bc
T30025	43.05	c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) Duncan Alfa: 0.05 Error: 3.3592 gl: 20

La fibra cruda está compuesta básicamente de carbohidratos estructurales como celulosa, hemicelulosa y algo de lignina mientras que la fibra ácido detergente está básicamente compuesta por celulosa, lignina y nitrógeno combinado con esta última, sílice y algunas pectinas (Church *et al.* 2003). Vélez (1997) reporta valores de fibra cruda para *pennisetum purpureum* de 40 % entre los 43 y 56 días a corte, 41.7 % entre los 57 y 70 días a corte y 45 % en forraje maduro arriba de los 70 días a corte.

4. CONCLUSIONES

4.1 Producción y rendimiento

La altura en el pasto Camerún fue influenciada por la edad al corte, siendo más alta a los 90 días con 2.19 m en promedio (Tabla 8). El nivel de fertilización con las diferentes combinaciones de fertilizante orgánico y químico también tuvo efecto sobre la altura presentada por el pasto, siendo el tratamiento T30050 el que tuvo mayor altura con 2.03 m siendo estadísticamente igual a los demás excepto al testigo (Tabla 9). En la relación hoja tallo los cambios observados se deben a los días a corte y hubo una mayor proporción de hojas con respecto al tallo a los 50 y 90 días a corte con valores de 2.16 y 2.10 respectivamente (Tabla 10).

La mayor producción en base seca se obtuvo a los 70 días a corte la cual no fue diferente significativamente a la obtenida a los 90 días (Tabla 15), por lo cual se podría disminuir la edad a corte de 90 a 70 días a modo de realizar más cortes al año. El nivel de fertilización y combinación de fertilizante químico y orgánico más productivo, corresponde al tratamiento T30075 (Tabla 16) el cual produjo 9511.11 Kg/MS/ha/corte, no siendo diferente a lo obtenido por los tratamientos T30050, T60050 y T60075.

4.2 Calidad

Los tratamientos que presentaron los mejores contenidos de proteína cruda fueron el T60025, T60050, T60075 y T30075 (Tabla 19), el más alto contenido de proteína se obtuvo con el tratamiento T60075 con el que se alcanzó un 15.47 % de PC. El mejor contenido de energía digestible se obtuvo con el tratamiento T60075 con 2.05 Mcal/Kg, aunque no fue diferente significativamente a los tratamientos T60025, T60050 y T30075 (Tabla 21).

La mejor digestibilidad se obtuvo a los 50 días a corte, y los tratamientos que presentaron el mejor porcentaje fueron el T60025, T60075, T60050 y T30075, con valores de 51.68%, 51.65%, 51.55% y 51.55% respectivamente (Tabla 24). El contenido de fibra ácido detergente fue mayor a los 70 días a corte (41.99%) y menor a los 50 días (39.54%), y entre los tratamientos osciló entre 40.15% del tratamiento T60025 a 43.05% del tratamiento T30025 (Tabla 26).

5. RECOMENDACIONES

Los criterios técnicos para evaluar el mejor tratamiento consistieron en la producción de materia seca, el contenido de proteína cruda y energía digestible, la producción de kilos de proteína por hectárea por corte y mega calorías de energía por hectárea por corte.

5.1 Producción de kilos de proteína cruda por hectárea por corte.

El tratamiento T30075 produjo 9511.11 Kg/MS/ha/corte con un contenido de 15.17 % de proteína cruda, produciendo 1442.8 Kg/PC/ha/corte. El tratamiento T60050 produjo 8278.47 Kg/MS/ha/corte con un contenido de 15.43 % de proteína cruda, produciendo 1277.37 Kg/PC/ha/corte y el tratamiento T60075 produjo 7991.32 Kg/MS/ha/corte con un contenido de 15.47 % de proteína cruda, produciendo 1236.25 Kg/PC/ha/corte.

5.2 Producción de mega calorías de energía digestible por hectárea por corte.

El tratamiento T30075 produjo 9511.11 Kg/MS/ha/corte con un contenido de 2.03 Mcal/Kg de ED, produciendo 19307.55 Mcal/ha/corte. El tratamiento T60050 produjo 8278.47 Kg/MS/ha/corte con un contenido de 2.03 Mcal/Kg, produciendo 16805.29 Mcal/ha/corte y el tratamiento T60075 produjo 7991.32 Kg/MS/ha/corte con un contenido de 2.05 Mcal/Kg, produciendo 16382.20 Mcal/ha/corte.

5.3 Recomendación técnica

Los mayores contenidos de proteína cruda y energía digestible por hectárea, así como de producción de materia seca, fueron obtenidos con el tratamiento T30075 a una edad de corte de 70 días, por lo cual se consideran las opciones más viables técnicamente para realizar un plan de fertilización del pasto Camerún. Cabe señalar que la superioridad de este tratamiento radica en que la producción de MS obtenida fue mayor y más homogénea, mientras que en los demás se pudo observar variación considerable entre ambas repeticiones. Los coeficientes de variación para producción de MS fueron muy altos (>30%) en algunos tratamientos. Habría sido deseable contar con un mayor número de repeticiones por tratamiento que permitieran obtener un estimado más preciso de la producción del forraje, sin embargo esto no fue posible por restricciones económicas.

La digestibilidad para el tratamiento T30075 fue de 51.55 % y la fibra ácido detergente fue de 40.33 % las cuales no fueron diferentes significativamente a todos los tratamientos exceptuando en ambos casos el T30025.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Araya, C. 2005. Datos meteorológicos estación Montezuma (correo electrónico). San José, CR, Instituto Meteorológico Nacional.
- Campbell, K; Hodgson, N; Gill, M. 1999. Livestock and Environment Toolbox. CD-ROM. Livestock, Environment and Development (LEAD) Initiative. Food and Agriculture Organisation of the United Nations FAO. Rome. ISBN 92-5-104445-7.
- Castillo, J; Villareal, C. 2002. Evaluación de recursos alimenticios y simulación para la implementación del CNCPS en el trópico. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. 59 p.
- Carrillo, V; y Rodríguez, M. 2000. Efecto de fertilización nitrogenada, edad y época de corte sobre el valor nutritivo del pasto (*andropogon gayanus*). Universidad de oriente (UDO). Escuela de ingeniería en producción animal. Monagas, Venezuela 11 p.
- Chacón, E; Rodríguez-Carrasquel, S; Chicco, C. 1971. Efecto de la fertilización con nitrógeno sobre el valor nutritivo del pasto colorado (*panicum coloratum*) (en línea). Consultado el 2 de junio 2005. Disponible en www.redpav-fpolar.info.ve/agrotrop/v21_6/v216a002.html
- Church, D; Pond, W; Pond, K. 2003. Nutrición y alimentación de animales. Segunda Ed. Balderas México, Editorial Limusa. 635 p.
- Correa, H; Arrovave, H; Henao, Y; Lopez, A; Cerón, J. 2004. Pasto Maralfalfa (*pennisetum* sp.): Mitos y realidades (en línea). Consultado el: 2 de Nov. 2005. Disponible en: http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=427&AREA=GDC
- Deschamps, C. 2000. Perfil fenológico de três ecotipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) (en línea). Consultado el 25 Noviembre 2005. Disponible en: <http://www.cnpqc.embrapa.br/biblioteca/ovinos/nutri/sb97535.htm>
- FAO. 1992. Producción animal sostenible (en línea). Consultado el 25 de Septiembre 2005. Disponible en: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/U7600T/u7600T03.htm
- Gillet, M. 1984. Las gramíneas forrajeras. Trad. Por Maria Carmen Alzuela. 3 ed. Zaragoza, España. Acriba. 353 p.
- Guerrero, E; Moncayo, O. 2003. Caracterización agronómica y bromatológica de una pradera de kikuyo (*pennisetum clandestinum*) sometida a rehabilitación mediante labranza y fertilización

- orgánica y/o mineral (en línea). Consultado el 24 de mayo 2005. Disponible en www.virtualcentre.org/es/enl/keynote14.htm
- Guerrero, R. 1969. Estudio del efecto de dosis ascendentes de nitrógeno, dosis ascendentes de P sub índice 2, o sub índice 5 con dos formas de aplicación y de cuatro combinaciones de N sobre la producción y composición del pasto elefante (*pennisetum purpureum*, Schum). Tesis Mag. Sc. IICA, Turrialba, Costa Rica. 76 p.
- Lanyon, L. 1995. Does nitrogen cycle? Changes in the spatial dynamics of nitrogen with industrial nitrogen fixation. J. Prod. Agric. 8:70-78.
- Losilla, R. 1976. Efecto de diferentes niveles de fertilización y frecuencias de corte en el rendimiento, composición química y digestibilidad in vitro del pasto gigante (*pennisetum purpureum*, Schum). Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 67 p.
- Machado, R; Lamela, L; Gerardo, J. 1979. Hierba de elefante (*pennisetum purpureum*). Pastos y forrajes 2(2): 157-191
- Moreno, M. 1991. Desaparición ruminal del pasto (*pennisetum purpureum* Var. King Grass) (planta entera) con cuatro niveles de fertilización nitrogenada y tres intervalos de corte. Tesis Ing. Agr. Fac. de Ciencias de Tierra y Mar, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 71 p.
- Ordóñez, C. 1980. Sustitución de la urea por cama de gallinero en la fertilización de pasto napier variedad Costa Rica (*pennisetum purpureum*). Tesis Lic. Zootecnia. Escuela de Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 39 p.
- Quero, A; Equiarto, J; Jiménez, G. 1986. Adaptación y producción de pastos tropicales en la costa del pacífico. Memoria de la reunión de investigación pecuaria INIP-SARY-UNAM. México 26 p.
- Quintana, F. 1968. Utilización de la tierra en la producción de carne bovina. 1. Un sistema para producir carne de ganado vacuno en las actuales condiciones de Cuba, Tesis Ing. Agr. Universidad de La Habana, Cuba. 27 p.
- Richard, T. 1999. Eliminating Waste: Strategies for Sustainable Manure Management (en línea). Iowa State University. Consultado el 25 de mayo 2005. Disponible en <http://www.abe.iastate.edu/Faculty/tlr/Publications/EliminatingWasteTLR.htm>
- Rocha, G; Evangelista, A; De Lima, J. 2000. Nitrógeno y producción de materia seca, teoría del rendimiento de proteína bruta de gramíneas tropicales. (en portugués). Pasturas tropicales 22(1): 4-8
- Roux, H. 1961. Efectos estacionales, de edad y de fertilización en el crecimiento y aceptación por el ganado del pasto Elefante (*pennisetum purpureum*, Schum). Tesis Mag. Sc. IICA, Turrialba, Costa Rica. 108 p.

- Sabando, L. 1989. Evaluación por rendimiento y calidad de los pastos elefantes (*pennisetum purpureum*) y Guinea (*Panicum maximum*) solos y en asociación con soya forrajera (*Neonotonia wightii*) bajo condiciones de corte. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras 79 p.
- Schmitt, M; Rehm, G. 2002. Fertilizing Cropland with Dairy Manure (en línea). Minnesota Extension Service. Consultado el 24 de mayo 2005. Disponible en <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC5880.html>
- Schultze-Kraft, R. 1971. Gruenlandwirtschaft im heissem Tiefland von Kolumbiem. Universidad de Huyesen. Mimeo.
- Turcios, R. 2002. Respuesta a la fertilización nitrogenada en dos pastos tropicales en Atlántida, Honduras. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 16 p.
- Vélez, M. 1997. Producción de ganado lechero en el trópico. Segunda edición. Zamorano, Honduras, Zamorano academia press. 189 p.
- Will, J; Valle, A. 1989. Comportamiento del pasto Taiwán (*pennisetum purpureum*) fertilizado con efluentes de biogás en época de máxima precipitación pluvial. 35. Reunión anual del PCCMCA. San Pedro Sula, (Honduras). Agronomía Mesoamericana (Costa Rica). (1990). v. 1 p. 69-72

Capítulo 2

Análisis Costo-Beneficio de fertilización química *versus* orgánica en el pasto de corte Camerún (*pennisetum purpureum*)

Héctor Alejandro Santos*

* Postgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales, Universidad Nacional, Apdo. postal 304-3000, Tel. 237-5229, email: santoshector@hotmail.com

Cost-benefit analysis of Chemical *versus* Organic fertilization in the Camerun grass (*pennisetum purpureum*)

Héctor Alejandro Santos*

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the adequate age of cut and the optimal level of organic fertilizer using stochastic cost-benefit analysis. The marginal income (IM) and marginal costs (CM) associated to the fertilization activities were considered. The analysis of costs by each treatment considered use of intakes, manual labor, freights, machinery and the costs of the fertilizers correspondingly used. The marginal income by treatment was determined as the result of the marginal production (difference against the control, kg MV/ha/semester) multiplied by the internal sale price (5 ¢/Kg. MV). A sensitivity analysis was made using techniques of stochastic modeling, considering the variation in yield of the forage and prices of intakes and products. A regression analysis was made to quantify the effect of the entrance variables on the marginal income (IM), marginal cost (CM) and benefit cost relation (B/C), which was focused to the treatment that presented best B/C relation and better productive characteristics. The obtained marginal income were greater in the T3007570 treatment reaching ¢175,148 ha/semester. The greater cost of fertilization was obtained with the T60075 treatment with a value of ¢ 238.382 ha/semester and the smaller cost of fertilization was obtained with the T30025 treatment with a value of ¢ 62.785,00 ha/semester. The treatment that obtained the best benefit cost relation was the T3007570 with a probable index of 1,47 (D.E.=0.66). In the sensitivity analysis the variables with greater effect on the benefit cost relation (B/C), for the T3007570 treatment, are the price of the forage (¢/Kg./MV), cost of the urea (¢/Kg.) and the percentage of nitrogen in the manure. The increase in the B/C is of 0,29 units by each colon (¢) of increase in the price of the forage, also by each unit of increase in the cost of the urea a diminution of 0,0062 units of B/C is experienced and by each percentage unit of increase in the nitrogen content in the manure it is increased in 0.0638 units of B/C relation. As conclusion the treatment with best economic characteristics is the T3007570.

Key words: benefit cost relation, marginal income, analysis of sensitivity.

* Postgrado regional en ciencias veterinarias tropicales, Universidad Nacional, postal Apdo. 304-3000, Tel. 237-5229, email: santoshector@hotmail.com

Análisis Costo-Beneficio de fertilización química *versus* orgánica en el pasto de corte Camerún (*pennisetum purpureum*)

Héctor Alejandro Santos*

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la edad al corte y el nivel de uso de fertilizante orgánico óptimos utilizando un análisis de beneficio/costo. Se estimaron los ingresos marginales (IM) y costos marginales (CM) asociados a las actividades de fertilización. El análisis de costos por cada tratamiento consideró uso de insumos, mano de obra, fletes, maquinaria y los costos de los respectivos fertilizantes utilizados. El ingreso marginal por tratamiento se determinó como el resultado de la producción marginal (diferencia contra el testigo, kg MV/ha/semestre) multiplicado por el precio de venta (5 ¢/Kg. MV). Se realizó además un análisis de sensibilidad utilizando técnicas de modelación estocástica, para lo cual se consideró la posible variación aleatoria existente tanto en parámetros de rendimiento del forraje; como en precios de insumos y productos. Se realizó un análisis de regresión para cuantificar el efecto de las variables de entrada sobre el ingreso marginal (IM), costo marginal (CM) y relación beneficio costo (B/C), el cual fue enfocado al tratamiento que presentó la mejor relación B/C y mejores características productivas. Los ingresos marginales obtenidos fueron mayores en el tratamiento T3007570 alcanzando los ¢175,148 ha/semestre. El mayor costo de fertilización se obtuvo con el tratamiento T60075 con un valor de ¢ 238,382 ha/semestre y el menor costo de fertilización se obtuvo con el tratamiento T30025 con un valor de ¢ 62,785.00 ha/semestre. El tratamiento que obtuvo la mejor relación beneficio costo fue el T3007570 con un índice probable de 1.47 (D.E.=0.66). En el análisis de sensibilidad las variables con mayor efecto sobre la relación beneficio costo (B/C), para el tratamiento T3007570, son el precio del forraje (¢/Kg./MV), costo de la urea (¢/Kg.) y porcentaje de nitrógeno en el estiércol. El incremento en el B/C es de 0.29 unidades por cada colón de incremento en el precio del forraje, así mismo por cada unidad de incremento en el costo de la urea se experimenta una disminución de 0.0062 unidades de B/C y por cada unidad porcentual de aumento en el contenido de nitrógeno en el estiércol se incrementa en 0.0638 unidades de relación B/C. Se concluye que el tratamiento con las mejores características económicas es el T3007570.

Palabras claves: Relación beneficio costo, simulación estocástica, Ingreso marginal, análisis de sensibilidad.

Postgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales, Universidad Nacional, Apdo. postal 304-3000, Tel. 237-5229, email: santoshector@hotmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La fertilización orgánica en la mayoría de los casos incrementa los costos de producción a corto plazo, sin embargo, las necesidades de la población cada día requieren de productos más sanos y menos contaminados. Los requerimientos de fertilizantes químicos se pueden ir mermando gradualmente en la medida que los componentes biológicos del suelo vayan respondiendo al manejo orgánico (Molina *et al.* s.f.). El uso de fertilizante orgánico podría significar también una reducción significativa de los costos, por tratarse de un subproducto de la misma finca. Por lo tanto, la estimación de la combinación óptima de uso de fertilizante orgánico y nitrogenado puede hacerse considerando por un lado la reducción en los costos y por otro lado la reducción en productividad y calidad del forraje.

1.1 Relación Beneficio Costo (B/C)

La relación beneficio costo fue desarrollado en Estados Unidos en 1936 para proyectos de agua (hidráulicos) y hoy en día se ha expandido a aplicaciones de beneficio/costo relacionada a valoración de sistemas naturales y calidad ambiental (Hufschmidt et al 1983). La relación beneficio costo es una medida adecuada para comparar el resultado económico en diferentes etapas de la finca o con otras fincas (Castro 2002). Esta tiene como función importante aceptar o rechazar proyectos de acuerdo a su criterio de decisión y utilizada muchas veces como medida de beneficio social, permite perfeccionar el proceso de adopción de decisiones y dar una idea sobre el costo de decisiones no económicas (Treviño 1982). La mejor solución en términos financieros es aquella con la relación más alta de beneficios a costos (Sociedad Latinoamericana para la Calidad 2000).

$$\text{Relación B/C} = \text{Beneficio/ Costos}$$

Para estimar los efectos que un cambio produce sobre los costos y los rendimientos básicamente nos debemos preguntar ¿Qué ingresos extras resultan del cambio?, ¿Qué costo de los que antes se hacían serán eliminados?, ¿Qué ingresos que antes se recibían, se dejarán de recibir? y ¿En que nuevos costos se incurrirá? (Ugalde 2002).

1.2 Modelación estocástica

Un modelo es una abstracción de los sistemas reales o procesos, también se puede considerar como una simplificación formal que incluye los elementos más esenciales que conforman un sistema (Grant *et al* 2001); para el desarrollo de estos es necesario describir el sistema, probar y mejorar el modelo (ajustar) y luego la experimentación. Cuando los valores de las variables que influyen sobre la respuesta varían entre un valor máximo y mínimo se le denomina modelo estocástico (Noordhuizen *et al* 1997).

La simulación estocástica, también conocida como simulación Monte Carlo, es un método que se utiliza para representar la posible variación aleatoria que ocurre en la presentación de un evento. Mediante esta técnica es posible definir un rango de valores esperados para variables inciertas, en vez de utilizar solo valores promedio. La definición de los rangos de variación para una variable aleatoria se hace mediante el uso de distribuciones de probabilidad (Sapag y Sapag 1990). En la simulación de procesos de producción agrícola, la consideración de la estocasticidad es importante, pues existen un gran número de factores no controlables que afectan el rendimiento de las explotaciones, tales como: efectos climáticos, plagas, enfermedades, condiciones de mercado, políticas del gobierno, etc (Ugalde 1992). Rara vez se posee información completa y exacta que respalde todas las decisiones por lo que hay que valerse de cálculos estimados y del mejor juicio, como sustituto de los hechos que se desconocen (Ugalde 1992).

Las predicciones obtenidas usando un modelo estocástico en el marco de un conjunto específico de condiciones no son siempre las mismas, ya que las variables aleatorias dentro del modelo pueden tomar diferentes valores cada vez que se resuelve el modelo. Si para lograr los resultados esperados necesitamos representar la variabilidad, ya sea la variabilidad asociada a las estimaciones de los parámetros del sistema o aquella inherente al sistema, debemos usar un modelo estocástico (Grant *et al* 2001).

La modelación estocástica aplicada a la presupuestación parcial o total de las actividades, incluye la incertidumbre de algunas variables reconocidas y contabilizadas dentro del presupuesto; esto nos permite, al usar la simulación de Monte Carlo con distintos escenarios, evaluar diferentes alternativas y obtener la mejor opción entre un número finito de alternativas (Hardaker *et al.* 1997).

1.3 Riesgo e incertidumbre

La definición de riesgo se puede definir como el conocimiento imperfecto de las probabilidades que pueden afectar nuestros resultados esperados e incertidumbre existe cuando esas probabilidades no son conocidas (Hardaker *et al.* 1997).

Cuando se construyen modelos bioeconómicos para análisis de situaciones de la vida real es común que se consideren una gran cantidad de variables en algunos casos, es común encontrarse con situaciones en las cuales el valor del atributo no se conoce con certeza, es decir existe incertidumbre en cuanto al verdadero valor del atributo para la alternativa propuesta. La incertidumbre puede deberse tanto a falta de conocimiento sobre la alternativa propuesta como también al hecho de que algunos procesos, sobre todo biológicos, suelen variar considerablemente dependiendo de una serie de circunstancias exógenas.

El riesgo en la producción agrícola viene de factores naturales impredecibles como el clima y la incertidumbre en cuanto a la respuesta de los cultivos y/o animales a factores como plagas y enfermedades u otros totalmente impredecibles; todo esto sumado al riesgo en los cambios de precios y mercados de los insumos y productos utilizados por los agricultores. La incorporación del factor riesgo, incluyendo variabilidad en la producción, costos y precios de insumos y productos en un análisis de múltiples alternativas, nos permiten determinar aquellas menos riesgosas desde el punto de vista productivo y económico (Hardaker *et al.* 1997).

Algunos factores que podrían variar y causar incertidumbre son, por ejemplo, la calidad y composición química del estiércol, el cual está influenciado por la clase de animal, edad, condición e individualidad de los animales, alimento consumido y manejo del estiércol (González *et al.* 1996).

1.4 Análisis de sensibilidad

Un análisis de sensibilidad permite simular condiciones de incertidumbre en función de los posibles riesgos a que puede enfrentarse el proyecto. Para esto se calculan los indicadores, considerando variaciones en los parámetros de mayor incertidumbre; así, al valorar los posibles efectos de las variaciones sobre los indicadores, se pueden implantar ciertas medidas en la cuantificación de esos parámetros o variables (Rosales 2004).

1.5 Objetivos

Los objetivos del presente estudio fueron:

- Determinar el nivel de uso óptimo de fertilizante orgánico tomando en cuenta la relación beneficio/costo por kilogramo de pasto de corta bajo las circunstancias de producción actuales.
- Determinar el impacto relativo de las distintas variables sobre la relación beneficio costo.

2. MATERIALES Y METODOS

Se llevó a cabo un análisis económico con el fin de estimar los beneficios y costos marginales de los 15 diferentes tratamientos de fertilización descritos en el estudio anterior en comparación con los respectivos testigos. Con este fin, los beneficios y los costos fueron expresados en colones costarricenses (1\$US=¢500) bajo un mismo período de tiempo (6 meses).

Como se describió en el capítulo 1, se evaluaron tres tipos de mezcla de fertilizante orgánico y químico incorporado al suelo, estiércol de ganado vacuno, recolectado después del separador de sólidos de las aguas de lavado y químico (urea), 25% con 75%, 50% con 50% y 75% con 25 % respectivamente y dos dosis de nitrógeno con un testigo: 0, 300 y 600 Kg/N/ha/año y para encontrar la edad adecuada al corte donde el pasto presente los mayores contenidos proteína cruda, energía digerible y producción de materia seca, se evaluarán tres edades de corte: 50, 70 y 90 días.

Inicialmente, el análisis de Beneficio/Costo se realizó tomando en cuenta las circunstancias actuales de la finca (Situación base) utilizando los estimados de ingresos y costos actuales de los distintos insumos y productos. Posteriormente, se utilizaron técnicas de modelación estocástica para estudiar el posible impacto de variación en precios y características de insumos y productos sobre la variable B/C.

2.1 Estimación de ingresos por tratamiento (Situación base)

El ingreso marginal (IM) para cada tratamiento se determinó en kilogramos de materia verde por hectárea por semestre, y se obtuvo como la diferencia entre cada tratamiento de fertilización y el correspondiente testigo, multiplicado por el precio de venta por kilogramo manejado en el

sistema contable interno de la finca (ϕ5.00 Kg/MV). Se tomó como promedio de producción en materia verde lo obtenido en el testigo.

$$\text{Ingreso marginal} = (\text{Prod. Tratamiento} - \text{Prod. Testigo}) \times \text{Precio interno}$$

Para el cálculo del ingreso y costo marginal se consideraron únicamente las variables relacionadas directamente con la fertilización.

Tabla 1. Parámetros asumidos para insumos y productos utilizados en la situación base.

Insumo	Unidad	Base	(D.E)
Precio de Forraje	ϕ/Kg/MV	5,00	0,75
Costo de Mano de Obra	ϕ/jornal	3.900,00	585,00
Costo por uso de Tractor 4230	ϕ/hora	5.000,00	750,00
Costo por uso de Tractor 6300	ϕ/hora	6.500,00	915,00
Costo por uso de Carreta estercolera	ϕ/hora	500,00	75,00
Costo por uso de Abonadota	ϕ/hora	500,00	75,00
Costo de la Urea	ϕ/kg	204,04	14,60
Costo por uso de Estiércol	ϕ/kg	0,16	0,024
Contenido N en Estiércol	%	1,10	0,17

D.E. = desviación estándar

2.2 Estimación de costos por tratamiento (Situación base)

El análisis de costos para cada uno de los tratamientos incluyó insumos, mano de obra, fletes, maquinaria y los costos de los respectivos fertilizantes utilizados en cada uno de las opciones presentadas en este estudio, según se describe en la Tabla 1.

Los costos de insumos se calcularon de acuerdo a las cantidades utilizadas en cada uno de los tratamientos e involucra básicamente urea y estiércol, se tomó como referencia el precio de las compras históricas hechas en la finca. El estiércol se valoró de acuerdo a los costos de carga y transporte previos a su utilización.

Los costos de mano de obra se estimaron con base en las necesidades para realizar las aplicaciones de los fertilizantes, se estimó los jornales necesarios por área para determinar este costo, relacionado a la fertilización de cada uno de los tratamientos, también basado en los

precios de la finca. Los costos por uso de maquinaria se calcularon en base a las horas trabajadas en cada una de las actividades de fertilización, tanto tractor como implemento, usando un costo interno por alquiler de tractor e implemento agrícola por parte de la sección de maquinaria; este costo incluye operador y combustible y las variaciones están calculadas en base a la eficiencia de la maquinaria e implementos. La combinación de ambos tractores es debido a las cantidades de fertilizante químico y orgánica y los respectivos implementos a utilizar lo cual tiene un impacto sobre el costo. El nitrógeno en el estiércol se estimó en un 1.1 % como valor a la situación base lo cual afecta el volumen a utilizar (Sullivan *et al.* 1997).

2.3 Relación beneficio/costo (B/C): Se determinó el cociente entre el beneficio y costo para cada uno de los tratamientos, con el propósito de determinar la opción más viable técnica y económicamente y que a su vez presente menos variación en sus resultados.

2.4 Simulación estocástica y análisis de sensibilidad: El análisis de la situación base descrito anteriormente se complementó mediante técnicas de modelación estocástica, (Dijkhuizen and Morris 1997; Hardaker *et al.* 1997; Sapag y Sapag 1990) utilizando una hoja electrónica (Excel) y el software @Risk (Palisade, 2002) versión 4.5. Esta herramienta se utilizó con el fin de incorporar la variación observada en los costos y rendimientos del forraje en la estimación de un intervalo de confianza para la relación beneficio costo, permitiendo realizar una comparación más realista de los distintos tratamientos.

La posible variación aleatoria existente tanto en parámetros de rendimiento; ingresos y precios de insumos y productos se representó mediante el uso de distribuciones normales de probabilidad con base en el promedio y desviaciones estándares especificadas en la Tabla 1. Los parámetros de la distribución normal (media y desviación estándar) para las variables de rendimiento se establecieron con base en la variación real observada entre las dos repeticiones disponibles para cada tratamiento. Los parámetros de variación en costos e ingresos se establecieron con base en los contenidos de nitrógeno del estiércol, las tendencias observadas en el mercado y las variaciones en rendimiento (Anexo 12).

Para el muestreo de las distribuciones simuladas se utilizó el método del Hiper cubo Latino (Palisade 2002) y se corrieron un total de 5000 iteraciones por simulación. En esta simulación se

asumió además una correlación alta positiva (0.75) entre precios de insumos, considerando que generalmente estos precios cambian simultáneamente.

Para cuantificar el impacto relativo de las variables de entrada y determinar la sensibilidad del ingreso marginal (IM), costo marginal (CM) y relación beneficio costo (B/C) ante estas variables, se calcularon coeficientes de regresión estandarizados el cual fue enfocado al tratamiento que presentó la mejor relación B/C y mejores características productivas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Situación Base

El tratamiento que presentó las mejores características productivas fue el T3007570, obteniendo un rendimiento total de 116,502.9 kg/MV/ha/semestre y un rendimiento marginal de 35,029.75 kg/MV/ha/semestre, con lo cual a su vez alcanzó un ingreso marginal (IM) de ¢175,148.73 (Tabla 2).

Los tratamientos T3007550, T6005090 y T3005070 presentaron ingresos marginales de ¢118,225.4, ¢ 131,824.33 y ¢ 111,101.86 respectivamente, los cuales también se consideran altos en relación a los demás tratamientos comparados. Los tratamientos con los más bajos ingresos marginales son el T3002590 y T6002590 con valores de ¢ 12,673.5 y -111,179.23, lo cual puede atribuirse a la baja producción marginal obtenida a los 90 días en general (Tabla 2).

El costo marginal por fertilización para la situación base fue menor en el tratamiento T3002550, T3002570 y T3002590 con valores de ¢62,785.30 y mayor en los tratamientos T6007550, T6007570 y T6007590 con un costo marginal de ¢238,382.20 cada uno (Tabla 2). Esto se debe básicamente a los altos costos de maquinaria utilizada para fertilizar grandes cantidades de abono orgánico (75%) combinado con una alta dosis de nitrógeno (600 Kg/N/ha/año), asumiendo un contenido de 1.1% de nitrógeno en el estiércol.

Al determinar la relación beneficio costo (B/C) observamos que el mayor índice se obtuvo con el tratamiento T3007570 con un valor de 1.47, seguido de los tratamientos T3002550 y T3005070 con relaciones B/C de 1.18 y 1.22 respectivamente; a los 90 días a corte ninguno de los tratamientos presenta relaciones B/C mayores a uno, a esta edad los ingresos marginales producidos por el efecto de la fertilización no pagan los costos de insumos, maquinaria y mano de obra relacionados con las actividades de fertilización (Tabla 2).

Tabla 2. Ingreso marginal (IM), Costo marginal (CM) y relación Beneficio Costo (B/C) para la situación base en cada uno de los tratamientos comparados.

	T3002550	T6002550	T3005050	T6005050	T3007550	T6007550	T3002570	T6002570	T3005070	T6005070	T3007570	T6007570	T3002590	T6002590	T3005090	T6005090	T3007590	T6007590
INGRESOS																		
Precio forraje (€/kg MV)	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00	€5,00
Rend total (kg/6m)	77075,4	84397,7	82884,8	74934,1	85327,1	79463,5	89063,4	96021,2	103693,6	98854,2	116502,9	90163,7	60833,3	36062,8	67600,2	84663,5	75619,2	78153,9
Rend Marginal (Kg/6m)	14793,4	22115,7	20602,8	12652,1	23645,1	17181,5	7590,2	14548,0	22220,4	17381,0	35029,7	8690,5	2534,7	-22235,8	9301,6	26364,9	17320,6	19855,3
IM (€/semestre)	€73.967,0	€110.578,5	€103.013,8	€63.260,5	€118.225,4	€85.907,5	€37.950,9	€72.740,2	€111.101,9	€86.905,0	€175.148,7	€43.452,5	€12.673,5	-€111.179,2	€46.508,0	€131.824,3	€86.603,0	€99.276,5
COSTOS																		
%N en Estiércol	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
Jornales requeridos	0,06	0,15	0,15	0,30	0,22	0,45	0,06	0,15	0,15	0,30	0,22	0,45	0,06	0,15	0,15	0,30	0,22	0,45
Valor de Jornales requer.	€234,0	€585,0	€585,0	€1.170,0	€858,0	€1.755,0	€234,0	€585,0	€585,0	€1.170,0	€858,0	€1.755,0	€234,0	€585,0	€585,0	€1.170,0	€858,0	€1.755,0
Horas tractor 4230	0,597	1,19	1,19	2,39	1,79	3,58	0,597	1,19	1,19	2,39	1,79	3,58	0,597	1,19	1,19	2,39	1,79	3,58
Valor Horas tractor 423	€2.985,0	€5.950,0	€5.950,0	€11.950,0	€8.950,0	€17.900,0	€2.985,0	€5.950,0	€5.950,0	€11.950,0	€8.950,0	€17.900,0	€2.985,0	€5.950,0	€5.950,0	€11.950,0	€8.950,0	€17.900,0
Horas tractor 6300	3,32	6,656	2,21	4,43	1,11	2,22	3,32	6,656	2,21	4,43	1,11	2,22	3,32	6,656	2,21	4,43	1,11	2,22
Valor Horas tractor 630	€21.580,0	€43.264,0	€14.365,0	€28.735,0	€7.215,0	€14.430,0	€21.580,0	€43.264,0	€14.365,0	€28.735,0	€7.215,0	€14.430,0	€21.580,0	€43.264,0	€14.365,0	€28.735,0	€7.215,0	€14.430,0
Horas de Carreta	3,32	6,656	2,21	4,43	1,11	2,22	3,32	6,656	2,21	4,43	1,11	2,22	3,32	6,656	2,21	4,43	1,11	2,22
Valor Horas Carreta	€3.328,0	€6.656,0	€2.210,0	€4.430,0	€1.110,0	€2.220,0	€3.328,0	€6.656,0	€2.210,0	€4.430,0	€1.110,0	€2.220,0	€3.328,0	€6.656,0	€2.210,0	€4.430,0	€1.110,0	€2.220,0
Horas de Abonadora	0,597	1,19	1,19	2,39	1,79	3,58	0,597	1,19	1,19	2,39	1,79	3,58	0,597	1,19	1,19	2,39	1,79	3,58
Valor Horas Abonadora	€298,5	€595,0	€595,0	€1.195,0	€895,0	€1.790,0	€298,5	€595,0	€595,0	€1.195,0	€895,0	€1.790,0	€298,5	€595,0	€595,0	€1.195,0	€895,0	€1.790,0
Kg Totales Urea	163	326	326	652	489	978	163	326	326	652	489	978	163	326	326	652	489	978
Valor Total Urea	€33.258,5	€66.517,0	€66.517,0	€133.034,1	€99.775,6	€199.551,1	€33.258,5	€66.517,0	€66.517,0	€133.034,1	€99.775,6	€199.551,1	€33.258,5	€66.517,0	€66.517,0	€133.034,1	€99.775,6	€199.551,1
Kg Total Estiércol (x%N)	17308	34615	11538	23077	5769	11538	17308	34615	11538	23077	5769	11538	17308	34615	11538	23077	5769	11538
Valor total Estiércol	€2.769,3	€5.538,4	€1.846,1	€3.692,3	€923,0	€1.846,1	€2.769,3	€5.538,4	€1.846,1	€3.692,3	€923,0	€1.846,1	€2.769,3	€5.538,4	€1.846,1	€3.692,3	€923,0	€1.846,1
CM (€/semestre)	€62.785,3	€125.777,4	€90.963,1	€182.051,4	€119.171,6	€238.382,2	€62.785,3	€125.777,4	€90.963,1	€182.051,4	€119.171,6	€238.382,2	€62.785,3	€125.777,4	€90.963,1	€182.051,4	€119.171,6	€238.382,2
B/C	1,18	0,88	1,13	0,35	0,99	0,36	0,60	0,58	1,22	0,48	1,47	0,18	0,20	-0,88	0,51	0,72	0,73	0,42

3.2. Análisis estocástico y sensibilidad

3.2.1 Ingreso marginal (IM) por tratamiento. En la Tabla 2 observamos que para la situación base los ingresos obtenidos debido a las actividades de fertilización fueron mayores en el tratamiento T3007570, alcanzando los ¢175,148.7. Este ingreso fue calculado determinando la diferencia de producción entre el tratamiento y el testigo y multiplicándolo por el precio de transferencia interno de la finca. Ávila y Merino (2001) reportan utilidades marginales por día de 54.45 a 77.56 US\$ por día, con niveles de fertilización química de 0 a 600 Kg/N/ha/año.

En la Figura 1 se representa la variación potencial que puede obtenerse en el IM cuando se considera la posible variación en productividad de los distintos tratamientos. Como se observa el tratamiento T3007570 presenta el mayor ingreso marginal, pero al comparar su desviación estándar (D.E.) vemos que existe traslape entre los intervalos de varios tratamientos, lo cual significa que debe interpretarse con cautela la superioridad promedio obtenida para el IM del tratamiento T3007570.

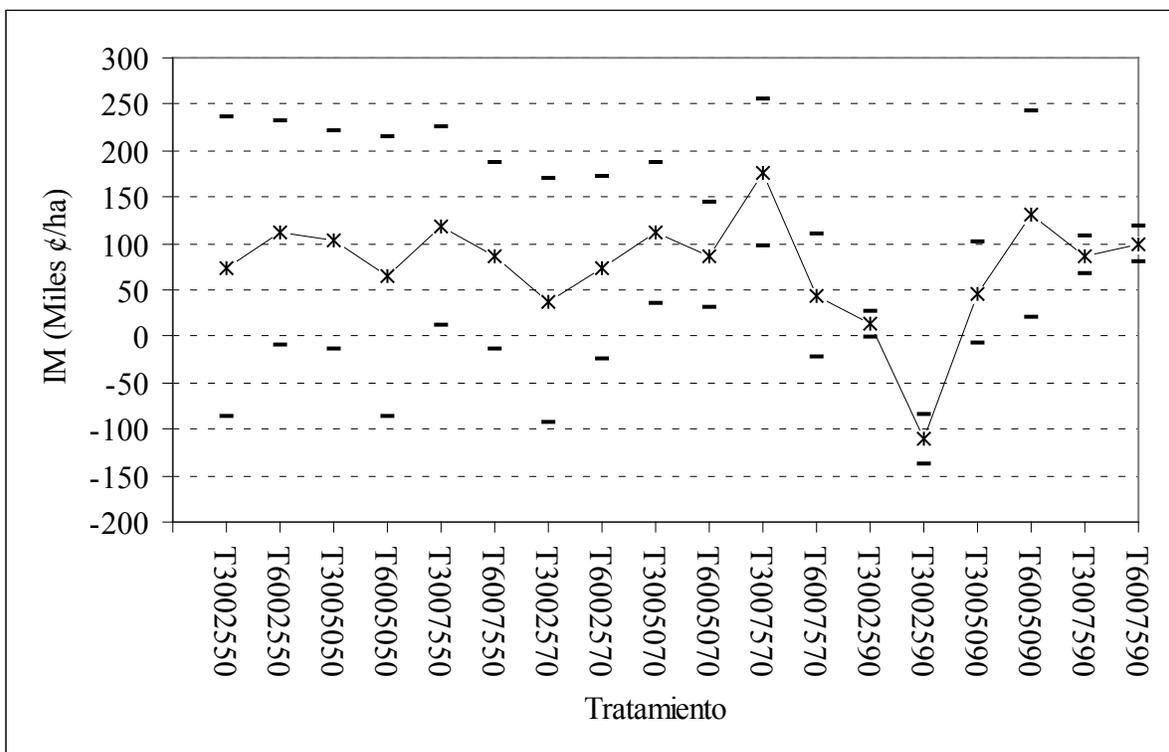


Figura 1. Ingreso Marginal (e intervalos ± 1 D.E) para los tratamientos comparados.

De acuerdo con los resultados pueden haber variaciones considerables en los niveles de productividad observados para un mismo tratamiento, según se deriva de las altas desviaciones estándares obtenidas. Es importante señalar que en el presente estudio solo fue posible realizar dos mediciones de productividad, lo que redujo la precisión del estimado.

Una posible razón para la alta variación en productividad sería la composición heterogénea del fertilizante orgánico. Sin embargo, no se observó ninguna relación clara entre la variación en productividad y el nivel de fertilizante orgánico en el tratamiento.

3.2.2 Costo marginal (CM) de fertilización por tratamiento. Los costos marginales (CM) de fertilización para cada tratamiento, se determinaron por semestre basándose en la cantidad de fertilizante químico y orgánico a utilizar por cada uno de ellos, esto a su vez posee un impacto sobre las horas de la maquinaria y sobre la cantidad de jornales necesarios para realizar esta actividad.

El mayor costo marginal se obtuvo con el tratamiento T60075 tanto a los 50, 70 y 90 días a corte, con valores de ¢238,382.20, donde el 83.7 % de los costos son por fertilizante urea; y el menor costo lo obtuvo el tratamiento T30025 (50,70 y 90 días a corte) con un valor de ¢62,785.30 (Tabla 2) donde la urea solamente representa un 52.9 % y las horas tractor representan casi un 39% del costo. En la Figura 2 se puede observar que no existe mucho traslape entre los intervalos del CM. Este se debe a que la variación esperada en costos de insumos y precios de productos es relativamente baja.

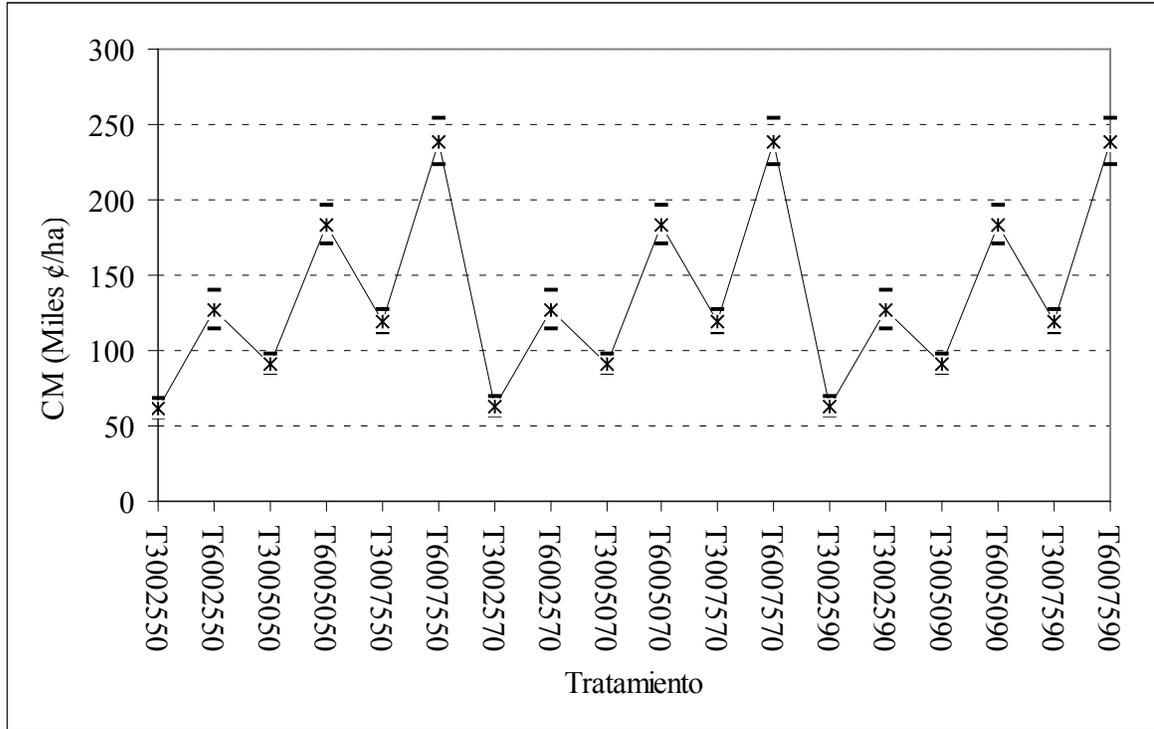


Figura 2. Costo Marginal (e intervalos ± 1 D.E) para los tratamientos comparados.

3.2.3 Relación beneficio costo (B/C) por tratamiento. El tratamiento con la mejor relación beneficio costo fue el T3007570, con un índice de 1.47 (D.E. = 0.66) lo cual nos indica que los ingresos superan a los costos en un 47%. Este tratamiento corresponde a 300 kg/N/ha/año con combinaciones de fertilizante: 75% orgánico y 25% químico y edades de corte de 70 días (Tabla 2).

En la figura 3 se puede ver que hay mucho traslape entre los intervalos (± 1 D.E. sobre B/C) lo que significa que el mejor tratamiento según beneficio costo (B/C) puede variar considerablemente según el comportamiento de las variables de entrada.

Los tratamientos T3002550, T3005050, T3007550 y T3005070, obtuvieron relaciones B/C de 1.44, 1.39 y 1.18 respectivamente, mientras que los tratamientos T6005050, T6007550, T3002570, T6002570, T6005070, T6007570, T3002590, T6002590, T3005090, T6005090, T3007590 y T6007590, presentaron relaciones B/C menor a uno, por lo cual no se consideran opciones viables económicamente para un programa de fertilización y cortas (Tabla 2).

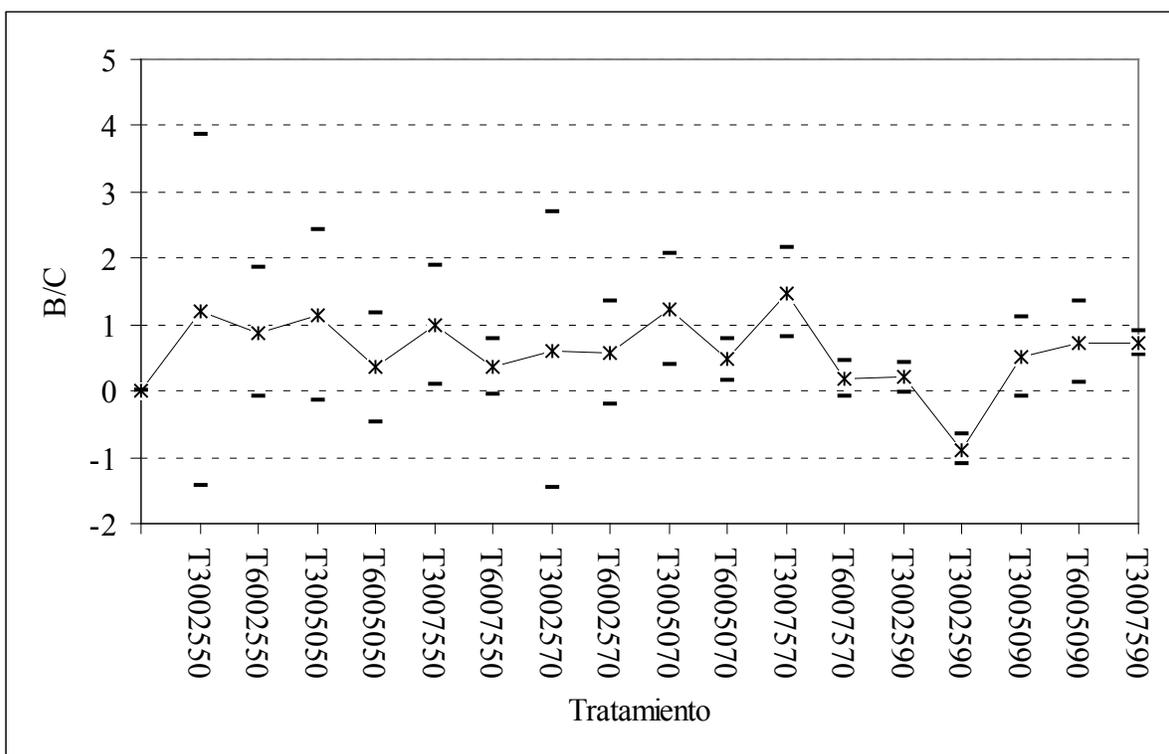


Figura 3. Relación Beneficio Costo (e intervalos ± 1 D.E) para los tratamientos comparados

Los tratamientos que presentaron mayor variación son el T3002550, T3002570 y T3005050. Los cuales poseen en común solamente su contenido de nitrógeno (300 Kg/N/ha/año). Es importante señalar además que el nivel de uso de los distintos insumos es diferente entre los distintos tratamientos. Por ejemplo, T60075 requiere mayor uso de urea. Por lo tanto en situaciones donde la urea tiende a encarecerse la relación BC será menor para los tratamientos que dependen más de este insumo.

Sin embargo, en el presente estudio la variación observada en los índices de BC están causadas mayormente por la variación en el IM y en menor grado por la variación en CM

3.2.4 Análisis de sensibilidad para el tratamiento T3007570.

De acuerdo con los resultados de este análisis, la variación en IM está determinada principalmente por las variaciones en rendimiento total del tratamiento T3007570 (0.61) y su respectivo testigo (-0.68). Esto es lógico puesto que el IM se calcula con base en el rendimiento marginal estimado como diferencia entre ambos tratamientos.

En segundo término, la variable de mayor efecto es el precio de forraje (¢/Kg MV), con un coeficiente de regresión de 0.34 (Figura 4), que significa que por cada aumento de una desviación estándar en el precio del forraje hay un aumento esperado de 0.34 desviaciones estándar en el ingreso marginal. En términos económicos, por cada colón (¢) de incremento en el precio del forraje habrá un incremento de ¢ 35,746.69 en el ingreso marginal por hectárea por semestre.

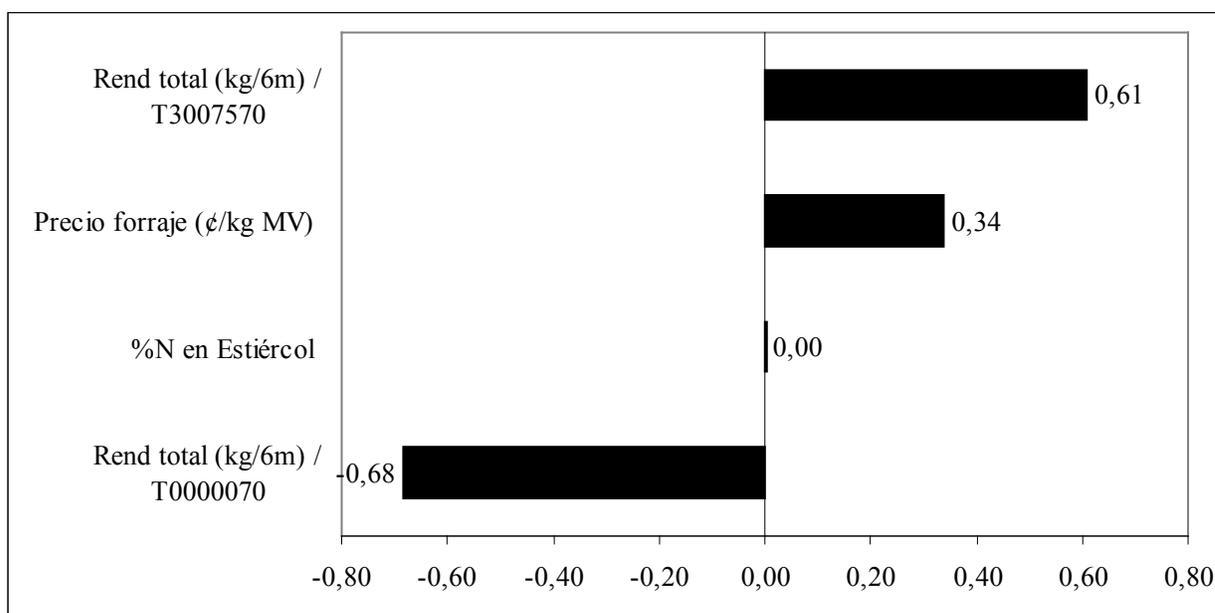


Figura 4. Coeficientes de regresión estandarizados entre variables de entrada e Ingreso marginal (IM) para el tratamiento T3007570.

En el costo marginal (CM), las variables con mayor impacto son el costo de la urea (¢/kg MV) y el porcentaje de nitrógeno en el estiércol, con valores de regresión de 0.93 y -0.18 (Figura 5). En términos económicos, esto significa que por cada colon de aumento en el precio por kilo de urea, tendremos un incremento de ¢488.44 en nuestro costo marginal y por cada unidad de incremento porcentual en el contenido de nitrógeno en el estiércol, obtendremos una reducción de ¢ 4,759.44 en nuestro costo marginal.

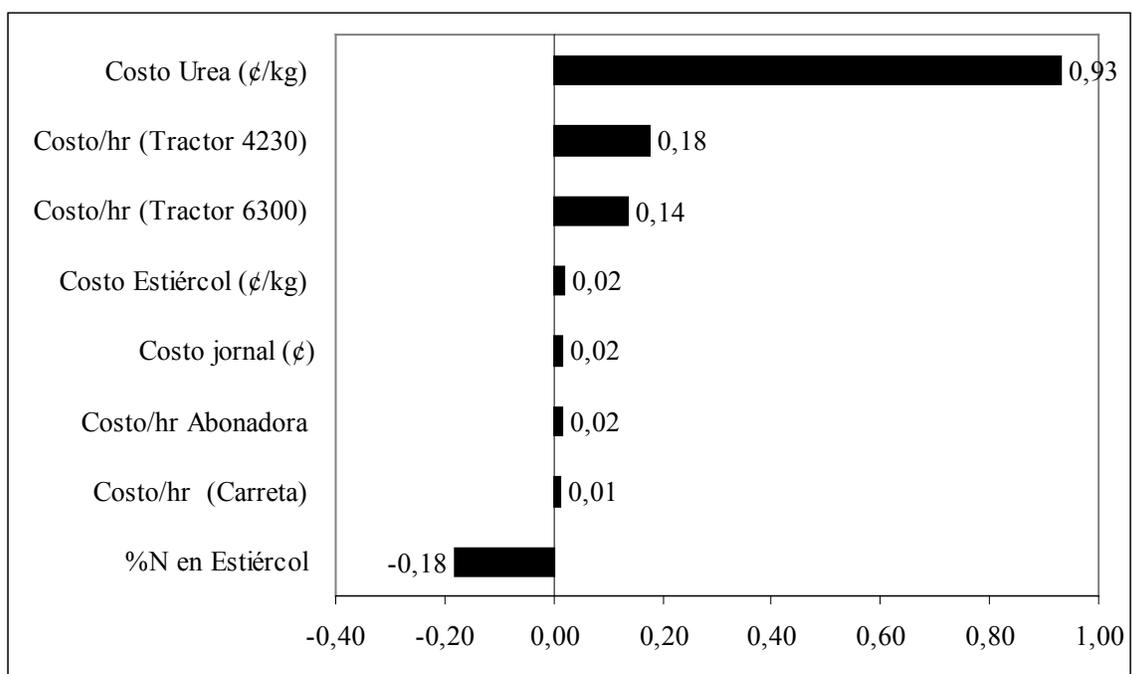


Figura 5. Coeficientes de regresión estandarizados entre variables de entrada y Costo Marginal (CM) para el tratamiento T3007570.

Otras variables de importancia fueron el Costo por hora de tractor 4230 (0.18) equivalente a ¢ 8950 y el costo por hora de tractor 6300 (0.14), equivalente a ¢ 7215 Las demás variables son de impacto reducido. Cabe señalar que estos estimados de regresión fueron ligeramente diferentes para otros tratamientos puesto que el uso relativo de distintos insumos difiere entre distintos tratamientos.

Las variables con mayor efecto sobre la relación beneficio costo (B/C) fueron el rendimiento (tratamiento y testigo); precio del forraje (¢/Kg MV), costo de la urea (¢/kg) y porcentaje de nitrógeno en el estiércol, con índices de regresión de 0.335, -0.136 y 0.028 respectivamente (Figura 6).

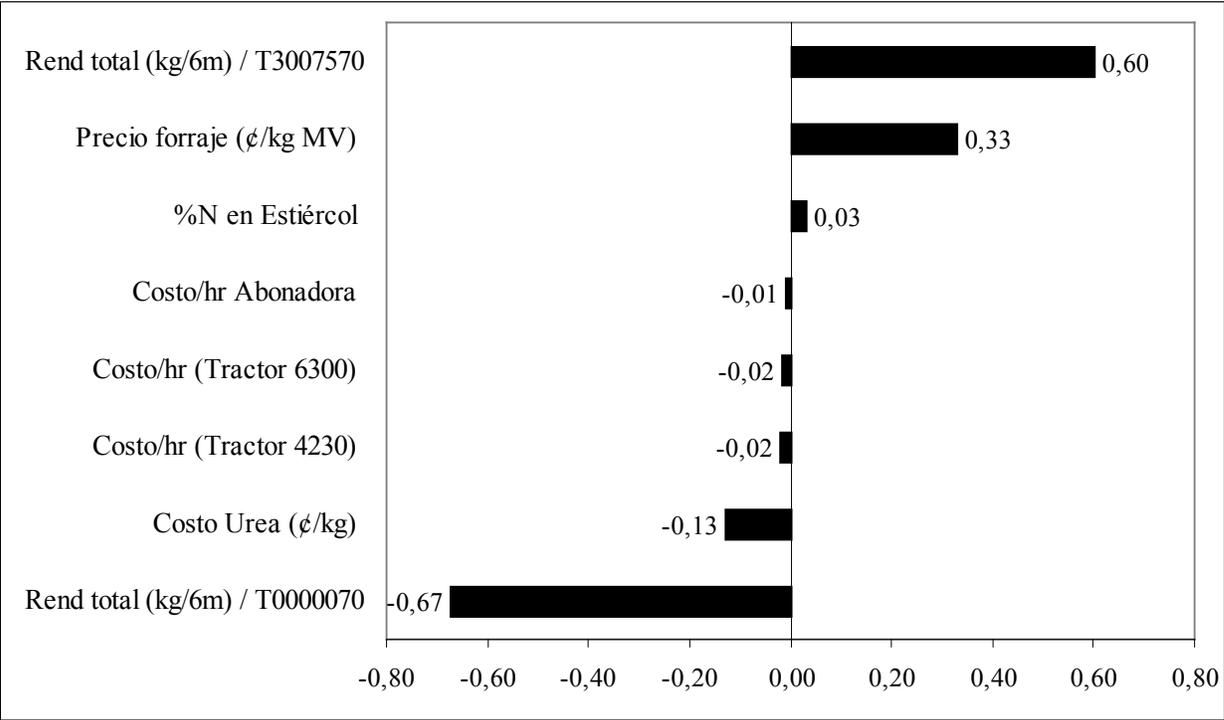


Figura 6. Coeficientes de regresión estandarizados entre variables de entrada y B/C marginal para el Tratamiento T3007570

Nuevamente, la diferencia entre el rendimiento de T3007570 y el testigo respectivo es lo que determina el IM, por lo que ambos presentan los índices de regresión más elevados (positivo y negativo respectivamente). El incremento en el B/C es de 0.29 unidades por cada colón de incremento en el precio del forraje. Asimismo por cada unidad de incremento en el costo de la urea se experimenta una disminución de 0.0062 unidades de B/C y por cada unidad porcentual de aumento en el contenido de nitrógeno en el estiércol se incrementa en 0.0638 unidades de relación B/C.

4. CONCLUSIONES

Los ingresos marginales obtenidos debido a la sobreproducción de forraje gracias a las actividades de fertilización, fueron mayores en el tratamiento T3007570, que equivale a 300 kg N/ha/año con una combinación de 75% fertilizante orgánico y 25% químico, a los 70 días a corte, alcanzando un IM de ϕ 175,148.7 ha/semestre. La alta variación en el ingreso marginal (IM) se debe básicamente a las variaciones considerables en los niveles de productividad observados para este tratamiento, según se deriva de las altas desviaciones estándares obtenidas (Figura 1).

El mayor costo marginal se obtuvo con el tratamiento T60075 tanto a los 50, 70 y 90 días a corte, con valores de ϕ 238,382.20, básicamente debido a su alto nivel de nitrógeno (600 Kg N/ha/año) y su alto porcentaje de abono orgánico contenido en la fórmula (75%) y el menor costo lo obtuvo el tratamiento T30025 (50,70 y 90 días a corte) con un valor de ϕ 62,785.00. Las variaciones en los costos no representan cambios tan grandes en la relación B/C comparándolos con las variaciones en rendimiento.

El tratamiento con la mejor relación beneficio costo fue el T3007570, con un índice de 1.47 (D.E. = 0.66) lo cual nos indica que los ingresos superan a los costos en un 47%. Este tratamiento corresponde a 300 kg/N/ha/año con combinaciones de fertilizante: 75% orgánico y 25% químico y edades de corte de 70 días. Cabe resaltar que este tratamiento presentó el mejor índice B/C debido a que su producción fue alta y homogénea. Aún así el intervalo de variación (\pm 1 D.E) es muy amplio, lo que significa que la posición relativa de los tratamientos podría cambiar considerablemente dependiendo factores tales como el precio del fertilizante.

Para el tratamiento T3007570, las variables con mayor efecto sobre la relación beneficio costo (B/C) son: Precio del forraje (ϕ /Kg MV), costo de la urea (ϕ /Kg) y porcentaje de nitrógeno en el estiércol, con índices de regresión de 0.335, -0.136 y 0.028 respectivamente, siendo el incremento en el B/C de 0.29 unidades por cada colón de incremento en el precio del forraje, así mismo por cada unidad de incremento en el costo de la urea se experimenta una disminución de 0.0062 unidades de B/C y por cada unidad porcentual de aumento en el contenido de nitrógeno en el estiércol se incrementa en 0.0638 unidades de relación B/C.

5. RECOMENDACIONES

Para las condiciones presentadas en la hacienda Montezuma se recomienda aplicarle al pasto Camerún mediante un plan de fertilización nitrogenada una dosis de 300 Kg/N/ha/año, utilizando una combinación de 75% abono orgánico (estiércol) y un 25% abono químico (urea), manteniendo una edad de corte de 70 días a la cual se obtienen mayores ingresos por producción y por ende un mejor índice de relación beneficio costo. Debe señalarse, sin embargo, que esta recomendación es válida únicamente si se asumen las condiciones promedio observadas actualmente. Este estudio demostró además que se debe tomar en cuenta la sensibilidad ante factores como el precio de la urea y contenido de nitrógeno en el estiércol para determinar ajustes en el precio de transferencia interno del forraje (considerando este como variable controlable) y considerar otros planes de fertilización.

Se recomienda realizar análisis de laboratorio periódicamente para determinar el contenido de nitrógeno en el estiércol, considerando las posibles variaciones antes de determinar las cantidades a utilizar en un programa de fertilización. De este modo se podría elaborar un programa de manejo que permita conservar las características deseadas en el estiércol para garantizar un correcto uso y aprovechamiento del contenido de nitrógeno del mismo.

Se recomienda realizar una rotación de corta y fertilización considerando la producción y disponibilidad diaria de estiércol así como análisis periódicos de suelos para determinar deficiencias de otros macro y micro elementos necesarios para el correcto desarrollo y producción del pasto Camerún bajo las condiciones de la hacienda Montezuma.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Castro, A. 2002. Ganadería de leche. Enfoque empresarial. San José, Costa Rica. EUNED, 289 p.
- Dijkhuizen, A; Morris R. 1997. Animal Health Economics. Principles and Applications. University of Sydney/Wageningen Agricultural University/University of Massey. 320 p.
- Field, B. 1995. Economía Ambiental: Una Introducción. Departament of Resources Economics, University of Massachusetts at Amherst. McGraw-Hill, Colombia.
- González, J; Bolaños, Z. 1996. Calidad de suelo y agua de un humedal de la zona atlántica de Costa Rica que ha sido intervenido por la deposición de estiércol bovino y porcino. Tesis Ing. Agr. Escuela de Agricultura de la Región del Trópico Húmedo (EARTH). Guácimo Costa Rica. 73 p.
- Grant, W; Marín, S; Pedersen, E. 2001. Ecología y manejo de recursos naturales: Análisis de sistemas y simulación. IICA, San José, Costa Rica. 340 p.
- Hardaker, JB; Huirne, RBM; Anderson, JR. 1997. Coping with risk in agriculture. CAB International. 274 p.
- Hufschmidt, M; James, D; Meister, A; Bower, B; Dixon, J. 1983. Environment, natural systems, and development: an economic valuation guide. Baltimore (EUA). Johns Hopkins University Press. 338 p.
- Molina, E; Molina, C; Molina C. H; Molina J. s.f. Estudio de caso sobre el manejo convencional y agroecológico del cultivo de la caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia (en línea). Consultado el 13 de septiembre 2005. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/cipav/resrch/soils/indexsp.htm>
- Noordhuizen, J; Frankena, K; Van der Hoofd, C; Graat, E. 1997. Application of quantitative methods in veterinary epidemiology. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. 445 p.
- Palisade Corporation. 2002. Advanced risk analysis for spreadsheets @RISK. Version 4.5. Palisade Corporation. Newfield, NY, USA.
- Rosales, R. 2004. La formulación y evaluación de proyectos: Énfasis en el sector agrícola. UNED. Costa Rica. 238 p.
- Sappag-Chain, N.; Sappag Chain, R. 1990. Preparación y evaluación de proyectos. 2da Edición. McGraw Hill. 390 p.
- Sociedad Latinoamericana para la Calidad. 2000. Análisis Costo Beneficio (en línea). Consultado el 28 de julio 2005. Disponible en: <http://www.calidad.org/s/costo.pdf#search='relacion%20beneficio%20costo'>

- Sullivan, C; Cogger, C; Bary, A. 1997. Which test is best? Customizing dairy manure nutrient testing. PNW 505, Extension service publications, Oregon State University.
- Treviño, R. 1982. Revisión bibliográfica sobre la relación beneficio costo. Tesis Ing. Agr. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. 25 p.
- Ugalde, G. 2002. Administración de empresas agropecuarias. San José, Costa Rica. EUNED, 286 p.

DISCUSIÓN GENERAL

Para las condiciones de ganadería Montezuma la fertilización con estiércol representa una alternativa para el uso y manejo del mismo. El tratamiento de 300 Kg./N/Ha/año con combinaciones de fertilizante 75% orgánico y 25% químico a los 70 días a corte, presentó los mejores rendimientos por área lo cual influyó sobre el ingreso marginal y por ende sobre la rentabilidad del mismo (B/C).

Es necesario resaltar la alta variación existente en los rendimientos productivos presentados por este tratamiento, lo cual influye en gran manera en los resultados obtenidos, es decir que bajo las condiciones promedios presentadas en este trabajo el tratamiento T3007570 resultó la mejor opción de fertilización, pero variaciones en rendimiento (Kg/MS o MV/ha), precio de forraje (¢/Kg/MV), contenido de nitrógeno en el estiércol (%) y costo de urea (¢/Kg) podrían tener un gran impacto en los índices de (B/C).

Asumiendo la puesta en práctica de un tratamiento T3007570, las cantidades de estiércol por hectárea a utilizar serían de 17307 Kg./semestre (consideradas dos fertilizaciones al año) lo cual en las condiciones de Ganadería Montezuma se logra recolectar en aproximadamente dos días (350 vacas en ordeño x 30 kg estiércol/día = 10500 Kg./día), con lo cual se podría diseñar una rotación de cortas y fertilización tal que permita darle un manejo adecuado y aprovechar este recurso de la mejor manera.

El uso del fertilizante orgánico a nivel de finca puede conllevar además una serie de beneficios adicionales que no se han cuantificado en el presente estudio. Debido a que el fertilizante orgánico contiene otros nutrientes aparte del nitrógeno puede ayudar a mejorar paulatinamente las características del suelo, tales como: retención de agua, capacidad de intercambio catiónico, aireación y microflora. Con el del tiempo estas características irán modificándose incrementando la calidad del suelo, lo que en el futuro podría generar mejores rendimientos con menos labores de cultivo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

El tratamiento T30075 produjo 9511.11 Kg/MS/ha/corte con un contenido de 2.03 Mcal/Kg de ED, produciendo 19307.55 Mcal/ha/corte. El tratamiento T60050 produjo 8278.47 Kg/MS/ha/corte con un contenido de 2.03 Mcal/Kg, produciendo 16805.29 Mcal/ha/corte y el tratamiento T60075 produjo 7991.32 Kg/MS/ha/corte con un contenido de 2.05 Mcal/Kg, produciendo 16382.20 Mcal/ha/corte.

El tratamiento T30075 produjo 9511.11 Kg/MS/ha/corte con un contenido de 15.17 % de proteína cruda, produciendo 1442.8 Kg/PC/ha/corte. El tratamiento T60050 produjo 8278.47 Kg/MS/ha/corte con un contenido de 15.43 % de proteína cruda, produciendo 1277.37 Kg/PC/ha/corte y el tratamiento T60075 produjo 7991.32 Kg/MS/ha/corte con un contenido de 15.47 % de proteína cruda, produciendo 1236.25 Kg/PC/ha/corte.

Los mayores contenidos de proteína cruda y energía digerible por hectárea, así como de producción de materia seca se obtuvieron con el tratamiento T30075, al igual que a los 70 días a corte, por lo cual se consideran las opciones más viables técnicamente para realizar un plan de fertilización del pasto Camerún.

El tratamiento con la mejor relación beneficio costo fue el T3007570, con un índice de 1.47 (D.E. = 0.66) lo cual nos indica que los ingresos superan a los costos en un 47%. Este tratamiento corresponde a 300 Kg./N/ha/año con combinaciones de fertilizante: 75% orgánico y 25% químico y edades de corte de 70 días. Aunque con altas variaciones en productividad, por lo que cambios considerables en rendimiento podrían convertirlo en una opción no tan rentable.

Para las condiciones presentadas en la hacienda Montezuma se recomienda aplicarle al pasto Camerún mediante un plan de fertilización nitrogenada una dosis de 300 Kg/N/ha/año, utilizando una combinación de 75% abono orgánico (estiércol) y un 25% abono químico (urea), manteniendo una edad de corte de 70 días a la cual se obtienen mayores ingresos por producción y por ende un mejor índice de relación beneficio costo, siempre y cuando se considere la mejor opción bajo las condiciones promedios presentadas en este estudio.

ANEXOS

Anexo 1. Cantidad de fertilizante orgánico e inorgánico por tratamiento a utilizar por parcela (12 m²), calculado en base a dos fertilizaciones al año y codificación de tratamientos.

50% y 50%

Dosis N/ha/año	Químico		Orgánico		Kg/fert/ha/semestre		Kg/parcela/semestre	
	50%	50%	Urea	Estiercol	Urea	Estiercol	Urea	Estiercol
300	150	150	46%	1.1%	326	11538	0.391	13.846
600	300	300	46%	1.1%	652	23077	0.783	27.692

25% y 75%

Dosis N/ha/año	Químico		Orgánico		Kg/fert/ha/semestre		Kg/parcela/semestre	
	25%	75%	Urea	Estiercol	Urea	Estiercol	Urea	Estiercol
300	75	225	46%	1.1%	163	17308	0.196	20.769
600	150	450	46%	1.1%	326	34615	0.391	41.538

75% y 25%

Dosis N/ha/año	Químico		Orgánico		Kg/fert/ha/semestre		Kg/parcela/semestre	
	75%	25%	Urea	Estiercol	Urea	Estiercol	Urea	Estiercol
300	225	75	46%	1.1%	489	5769	0.587	6.923
600	450	150	46%	1.1%	978	11538	1.174	13.846

Codificación de tratamientos.

Mezcla Fert. O/Q*	Dosis de N	Edad días a corte		
		50 días	70 días	90 días
Testigo	0	T0000050	T0000070	T0000090

25% O. y 75% Q.	300	T3002550 (A50)	T3002570 (A70)	T3002590 (A90)
	600	T6002550 (B50)	T6002570 (B70)	T6002590 (B90)
50% O. y 50% Q.	300	T3005050 (C50)	T3005070 (C70)	T3005090 (C90)
	600	T6005050 (D50)	T6005070 (D70)	T6005090 (D90)
75% O. y 25% Q.	300	T3007550 (E50)	T3007570 (E70)	T3007590 (E90)
	600	T6007550 (F50)	T6007570 (F70)	T6007590 (F90)

Anexo 2. Análisis de varianza y separación de medias para la variable de kilogramos de materia seca por hectárea por corte.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Kg/MS/ha/corte	42	0,84	0,66	20,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	254995640,12	21	12142649,53	4,87	0,0004
Trat.	38159065,66	6	6359844,28	2,55	0,0533
Rep	4705353,18	1	4705353,18	1,89	0,1847
Días Corte	161703737,26	2	80851868,63	32,43	<0,0001
Trat.*Días Corte	50427484,02	12	4202290,33	1,69	0,1458
Error	49864056,96	20	2493202,85		
Total	304859697,08	41			

Test : Duncan Alfa: 0,05

Error: 2493202,8480 gl: 20

Trat.	Medias	n		
B	6508,34	6	A	
T	6817,64	6	A	
A	7404,86	6	A	
F	7991,32	6	A	B
D	8278,47	6	A	B
C	8427,08	6	A	B
E	9511,11	6		B

Test : Duncan Alfa: 0,05

Error: 2493202,8480 gl: 20

Rep	Medias	n	
1,00	7513,69	21	A
2,00	8183,12	21	A

Test : Duncan Alfa: 0,05

Error: 2493202,8480 gl: 20

Días Corte	Medias	n		
50,00	5110,39	14	A	
90,00	8826,79	14		B
70,00	9608,04	14		B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<0,05)

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 2493202.8480 gl: 20

Trat.	Días Corte	Medias	n						
T	50.00	3802.92	2	A					
D	50.00	4258.34	2	A	B				
B	90.00	4689.59	2	A	B	C			
A	50.00	5056.25	2	A	B	C			
F	50.00	5336.46	2	A	B	C	D		
C	50.00	5677.09	2	A	B	C	D	E	
E	50.00	5731.25	2	A	B	C	D	E	
B	50.00	5910.42	2	A	B	C	D	E	
A	90.00	7791.67	2		B	C	D	E	F
T	70.00	8183.34	2			C	D	E	F
F	70.00	8433.34	2			C	D	E	F
T	90.00	8466.67	2			C	D	E	F

B	70.00	8925.00	2	D	E	F	G
C	90.00	9072.92	2	D	E	F	G
A	70.00	9366.67	2		E	F	G
D	70.00	9466.67	2		E	F	G
F	90.00	10204.17	2			F	G
E	90.00	10452.09	2			F	G
C	70.00	10531.25	2			F	G
D	90.00	11110.42	2			F	G
E	70.00	12350.00	2				G

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Anexo 3. Análisis de varianza y separación de medias para la variable de kilogramos de materia verde por hectárea por corte.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Kg/MV/ha/corte	42	0,84	0,68	17,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	3170236819,90	21	150963658,09	5,15	0,0003
Trat.	539742162,26	6	89957027,04	3,07	0,0270
Rep	15381121,76	1	15381121,76	0,52	0,4773
Días Corte	1993974566,22	2	996987283,11	34,00	<0,0001
Trat.*Días Corte	621138969,66	12	51761580,81	1,77	0,1261
Error	586485302,55	20	29324265,13		
Total	3756722122,45	41			

Test : Duncan Alfa: 0,05

Error: 29324265,1273 gl: 20

Trat.	Medias	n		
T	25166,67	6	A	
B	25763,89	6	A	
A	28541,67	6	A	B
F	31631,95	6	A	B
C	31944,44	6	A	B
D	33229,17	6		B
E	35486,11	6		B

Test : Duncan Alfa: 0,05

Error: 29324265,1273 gl: 20

Rep	Medias	n	
1,00	29646,83	21	A
2,00	30857,14	21	A

Test : Duncan Alfa: 0,05

Error: 29324265,1273 gl: 20

Días Corte	Medias	n		
50,00	20934,52	14	A	
90,00	32440,48	14		B
70,00	37380,95	14		C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 29324265.1273 gl: 20

Trat.	Días Corte	Medias	n								
T	50.00	15500.00	2	A							
B	90.00	17083.34	2	A	B						
D	50.00	19687.50	2	A	B	C					
A	50.00	20208.34	2	A	B	C					
F	50.00	21770.84	2	A	B	C	D				
C	50.00	22708.33	2	A	B	C	D	E			
B	50.00	23125.00	2	A	B	C	D	E			
E	50.00	23541.67	2	A	B	C	D	E			
T	90.00	28750.00	2		B	C	D	E	F		
A	90.00	30000.00	2		B	C	D	E	F	G	
T	70.00	31250.00	2			C	D	E	F	G	
C	90.00	33333.33	2				D	E	F	G	H

F	70.00	34583.34	2		D	E	F	G	H
A	70.00	35416.67	2			E	F	G	H
B	70.00	37083.34	2				F	G	H
E	90.00	37291.67	2				F	G	H
D	70.00	37916.67	2				F	G	H
F	90.00	38541.67	2				F	G	H
C	70.00	39791.67	2				F	G	H
D	90.00	42083.34	2					G	H
E	70.00	45625.00	2						H

Letras distintas indican diferencias significativas (p< 0.05)

Anexo 4. Análisis de varianza y separación de medias para la variable de altura.

Análisis de la Varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Alt. mts	42	0,97	0,94	2,98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC Tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Modelo	2,37	21	0,11	32,57	<0,0001
Trat.	0,18	6	0,03	8,86	0,0001
Rep	0,00	1	0,00	0,60	0,4473
Días Corte	1,96	2	0,98	282,21	<0,0001
Trat.*Días Corte	0,23	12	0,02	5,48	0,0004
Error	0,07	20	0,00		
Total	2,44	41			

Test : Duncan Alfa: 0,05

Error: 0,0035 gl: 20

Trat.	Medias	n	
T	1,83	6	A
D	1,98	6	B
A	1,98	6	B
B	2,00	6	B
E	2,01	6	B
F	2,03	6	B
C	2,03	6	B

Test : Duncan Alfa: 0,05

Error: 0,0035 gl: 20

Rep	Medias	n	
2,00	1,97	21	A
1,00	1,99	21	A

Test : Duncan Alfa: 0,05

Error: 0,0035 gl: 20

Días Corte	Medias	n	
50,00	1,68	14	A
70,00	2,07	14	B
90,00	2,19	14	C

Letras distintas indican diferencias significativas(p<0,05)

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 0.0035 gl: 20

Trat.	Días Corte	Medias	n	
T	50.00	1.36	2	A
D	50.00	1.56	2	B
E	50.00	1.73	2	C
A	50.00	1.74	2	C
B	50.00	1.76	2	C
C	50.00	1.79	2	C
F	50.00	1.83	2	C
T	70.00	1.96	2	D
A	70.00	2.00	2	D E
F	70.00	2.04	2	D E F
E	70.00	2.08	2	D E F G
B	90.00	2.11	2	E F G H
C	70.00	2.12	2	E F G H

B	70.00	2.12	2		E	F	G	H
D	70.00	2.16	2			F	G	H
T	90.00	2.16	2			F	G	H
A	90.00	2.19	2				G	H
C	90.00	2.20	2				G	H
D	90.00	2.21	2				G	H
E	90.00	2.21	2				G	H
F	90.00	2.23	2					H

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Anexo 5. Análisis de varianza y separación de medias para la variable relación hoja tallo.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rel. h/t	42	0.59	0.17	21.03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.17	21	0.25	1.40	0.2292
Trat.	1.12	6	0.19	1.06	0.4175
Rep	0.37	1	0.37	2.10	0.1631
Días Corte	1.48	2	0.74	4.19	0.0301
Trat.*Días Corte	2.20	12	0.18	1.04	0.4522
Error	3.53	20	0.18		
Total	8.70	41			

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 0.1763 gl: 20

Trat.	Medias	n	
C	1.77	6	A
F	1.84	6	A
D	1.92	6	A
A	1.94	6	A
T	2.11	6	A
E	2.20	6	A
B	2.21	6	A

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 0.1763 gl: 20

Rep	Medias	n	
2.00	1.90	21	A
1.00	2.09	21	A

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 0.1763 gl: 20

Días Corte	Medias	n	
70.00	1.73	14	A
90.00	2.10	14	B
50.00	2.16	14	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 0.1763 gl: 20

Trat.	Días Corte	Medias	n	
C	70.00	1.24	2	A
F	70.00	1.50	2	A
A	90.00	1.64	2	A
E	70.00	1.65	2	A
D	70.00	1.82	2	A
T	70.00	1.88	2	A
T	50.00	1.89	2	A
D	90.00	1.91	2	A
F	50.00	1.94	2	A
A	70.00	2.00	2	A
C	90.00	2.03	2	A
D	50.00	2.03	2	A

C	50.00	2.05	2	A	B	C	D
B	70.00	2.05	2	A	B	C	D
F	90.00	2.07	2	A	B	C	D
E	90.00	2.12	2	A	B	C	D
A	50.00	2.18	2	A	B	C	D
B	50.00	2.19	2	A	B	C	D
B	90.00	2.40	2		B	C	D
T	90.00	2.55	2			C	D
E	50.00	2.84	2				D

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Anexo 6. Análisis de varianza y separación de medias para la variable proteína cruda (PC).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P.CRUDA	42	0.81	0.60	8.42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	116.53	21	5.55	3.97	0.0016
Trat.	81.12	6	13.52	9.68	<0.0001
Rep	0.36	1	0.36	0.26	0.6162
Días Corte	21.50	2	10.75	7.70	0.0033
Trat.*Días Corte	13.55	12	1.13	0.81	0.6399
Error	27.93	20	1.40		
Total	144.46	41			

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 1.3966 gl: 20

Trat.	Medias	n	
A	11.97	6	A
T	12.08	6	A
C	13.82	6	B
B	14.35	6	B C
E	15.17	6	B C
D	15.43	6	C
F	15.47	6	C

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 1.3966 gl: 20

Rep	Medias	n	
1.00	13.95	21	A
2.00	14.13	21	A

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 1.3966 gl: 20

Días Corte	Medias	n	
70.00	13.24	14	A
90.00	13.90	14	A
50.00	14.98	14	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 1.3966 gl: 20

Trat.	Días Corte	Medias	n	
A	70.00	11.20	2	A
A	90.00	11.45	2	A
T	90.00	11.80	2	A B
T	50.00	12.15	2	A B C
T	70.00	12.30	2	A B C D
C	70.00	12.75	2	A B C D E
B	70.00	12.95	2	A B C D E F
A	50.00	13.25	2	A B C D E F G
E	70.00	13.75	2	A B C D E F G H
C	90.00	13.85	2	A B C D E F G H
B	90.00	13.90	2	A B C D E F G H
F	90.00	14.50	2	B C D E F G H I
D	70.00	14.75	2	C D E F G H I

C	50.00	14.85	2		C	D	E	F	G	H	I
F	70.00	15.00	2			D	E	F	G	H	I
D	50.00	15.50	2				E	F	G	H	I
E	90.00	15.75	2					F	G	H	I
E	50.00	16.00	2						G	H	I
D	90.00	16.05	2						G	H	I
B	50.00	16.20	2							H	I
F	50.00	16.90	2								I

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Anexo 7. Análisis de varianza y separación de medias para la variable energía digestible (ED).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ED	42	0.88	0.76	3.61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.79	21	0.04	7.14	<0.0001
Trat.	0.08	6	0.01	2.48	0.0583
Rep	2.4E-04	1	2.4E-04	0.05	0.8333
Días Corte	0.69	2	0.34	65.77	<0.0001
Trat.*Días Corte	0.02	12	1.5E-03	0.28	0.9862
Error	0.10	20	0.01		
Total	0.89	41			

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 0.0052 gl: 20

Rep	Medias	n	
1.00	2.00	21	A
2.00	2.00	21	A

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 0.0052 gl: 20

Trat.	Medias	n			
A	1.93	6	A		
C	1.95	6	A	B	
T	1.98	6	A	B	C
E	2.03	6		B	C
D	2.03	6		B	C
B	2.03	6		B	C
F	2.05	6			C

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 0.0052 gl: 20

Días Corte	Medias	n		
50.00	1.82	14	A	
90.00	2.09	14		B
70.00	2.10	14		B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 0.0052 gl: 20

Trat.	Días Corte	Medias	n			
A	50.00	1.75	2	A		
C	50.00	1.80	2	A		
T	50.00	1.80	2	A		
F	50.00	1.85	2	A	B	
D	50.00	1.85	2	A	B	
E	50.00	1.85	2	A	B	
B	50.00	1.85	2	A	B	
C	70.00	2.00	2		B	C
A	90.00	2.00	2		B	C
A	70.00	2.05	2			C
T	90.00	2.05	2			C
C	90.00	2.05	2			C
E	90.00	2.10	2			C

T	70.00	2.10	2	C
D	90.00	2.10	2	C
B	70.00	2.10	2	C
B	90.00	2.15	2	C
D	70.00	2.15	2	C
E	70.00	2.15	2	C
F	90.00	2.15	2	C
F	70.00	2.15	2	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Anexo 8. Análisis de varianza y separación de medias para la variable Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DIVMS	42	0.65	0.28	2.73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	71.57	21	3.41	1.77	0.1044
Trat.	30.98	6	5.16	2.68	0.0452
Rep	1.27	1	1.27	0.66	0.4270
Días Corte	33.19	2	16.59	8.60	0.0020
Trat.*Días Corte	6.14	12	0.51	0.27	0.9890
Error	38.60	20	1.93		
Total	110.17	41			

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 1.9298 gl: 20

Trat.	Medias	n			
A	49.50	6	A		
C	49.83	6	A	B	
T	50.68	6	A	B	C
E	51.55	6		B	C
D	51.55	6		B	C
F	51.65	6		B	C
B	51.68	6			C

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 1.9298 gl: 20

Rep	Medias	n	
1.00	50.75	21	A
2.00	51.10	21	A

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 1.9298 gl: 20

Días Corte	Medias	n		
90.00	50.29	14	A	
70.00	50.29	14	A	
50.00	52.18	14		B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 1.9298 gl: 20

Trat.	Días Corte	Medias	n		
C	70.00	48.75	2	A	
A	70.00	48.80	2	A	
A	90.00	48.85	2	A	
C	90.00	49.00	2	A	
T	90.00	49.90	2	A	B
B	70.00	50.15	2	A	B
T	70.00	50.30	2	A	B
E	90.00	50.65	2	A	B
D	90.00	50.75	2	A	B
A	50.00	50.85	2	A	B
F	90.00	51.05	2	A	B
E	70.00	51.30	2	A	B

D	70.00	51.35	2	A	B
F	70.00	51.40	2	A	B
C	50.00	51.75	2	A	B
T	50.00	51.85	2	A	B
B	90.00	51.85	2	A	B
F	50.00	52.50	2		B
D	50.00	52.55	2		B
E	50.00	52.70	2		B
B	50.00	53.05	2		B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Anexo 9. Análisis de varianza y separación de medias para la variable fibra ácido detergente (FDA).

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FDA	42	0.65	0.28	4.45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	123.05	21	5.86	1.74	0.1094
Trat.	54.20	6	9.03	2.69	0.0443
Rep	2.24	1	2.24	0.67	0.4238
Días Corte	56.02	2	28.01	8.34	0.0023
Trat.*Días Corte	10.58	12	0.88	0.26	0.9894
Error	67.18	20	3.36		
Total	190.23	41			

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 3.3592 gl: 20

Trat.	Medias	n			
B	40.15	6	A		
F	40.23	6	A	B	
E	40.33	6	A	B	
D	40.33	6	A	B	
T	41.47	6	A	B	C
C	42.62	6		B	C
A	43.05	6			C

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 3.3592 gl: 20

Rep	Medias	n	
2.00	40.94	21	A
1.00	41.40	21	A

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 3.3592 gl: 20

Días Corte	Medias	n		
50.00	39.54	14	A	
90.00	41.99	14		B
70.00	41.99	14		B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Test:Duncan Alfa:=0.05

Error: 3.3592 gl: 20

Trat.	Días Corte	Medias	n		
B	50.00	38.40	2	A	
E	50.00	38.85	2	A	
D	50.00	39.05	2	A	
F	50.00	39.15	2	A	
B	90.00	39.95	2	A	B
T	50.00	39.95	2	A	B
C	50.00	40.10	2	A	B
F	70.00	40.50	2	A	B
D	70.00	40.55	2	A	B
E	70.00	40.65	2	A	B
F	90.00	41.05	2	A	B
A	50.00	41.25	2	A	B

D	90.00	41.40	2	A	B
E	90.00	41.50	2	A	B
T	70.00	42.00	2	A	B
B	70.00	42.10	2	A	B
T	90.00	42.45	2	A	B
C	90.00	43.70	2		B
A	90.00	43.85	2		B
A	70.00	44.05	2		B
C	70.00	44.05	2		B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Anexo 10. Análisis de calidad para las muestras de forraje.

Nombre del Cliente: Héctor Alejandro Santos Montoya.
Nombre Agricultor: Ganadera Montezuma.
Dirección de la Finca: Cañas, Guanacaste.
Tipo de muestra: Pasto Camerún (*Pennisetum purpureum*)
Fecha Análisis: 3/10/2005 al 23/11/05.

Resultados segundo muestreo (70 días a corte)

ID	P. Seco 60°C	% DIVMS	% FDA	% P.CRUDA	ED
A70(1)	39.0	49.6	43.0	11.32	2.07
B70(1)	39.5	50.0	42.3	13.06	2.09
C70(1)	39.1	48.6	44.2	12.82	2.03
D70(1)	36.3	50.8	41.3	13.26	2.12
E70(1)	37.7	52.1	39.6	13.82	2.17
F70(1)	36.7	50.4	41.8	14.79	2.10
T70(1)	38.6	50.1	42.2	11.38	2.09
A70(2)	36.3	48.0	45.1	11.06	2.00
B70(2)	37.7	50.3	41.9	12.79	2.10
C70(2)	38.8	48.9	43.9	12.70	2.04
D70(2)	36.3	51.9	39.8	16.16	2.17
E70(2)	36.3	50.5	41.7	13.70	2.11
F70(2)	37.6	52.4	39.2	15.17	2.19
T70(2)	36.7	50.5	41.8	13.25	2.10

Resultados primer muestreo (50 días a corte)

ID	P. Seco 60°C	% DIVMS	% FDA	% P.CRUDA	ED
A50(2)	37.2	51.7	40.1	13.87	1.80
B50(1)	35.8	53.2	38.2	16.37	1.86
B50(2)	38.2	52.9	38.6	16.00	1.85
C50(1)	34.0	51.9	39.9	15.76	1.81
C50(2)	34.7	51.6	40.3	13.93	1.79
D50(1)	35.7	51.0	41.1	15.70	1.77
D50(2)	35.6	54.1	37.0	15.32	1.89
E50(1)	33.3	51.8	40.1	15.72	1.80
E50(2)	36.3	53.6	37.6	16.33	1.87
F50(1)	34.3	51.8	40.1	17.20	1.80
F50(2)	33.7	53.2	38.2	16.55	1.86
T50(1)	37.1	50.7	41.5	12.43	1.76
T50(2)	34.4	53.0	38.4	11.89	1.85

Resultados tercer muestreo (90 días a corte)

ID	P. Seco 60°C	% DIVMS	% FDA	% P.CRUDA	ED
A90(1)	40.2	48.9	43.8	9.01	2.04
A90(2)	40.5	48.8	43.9	13.89	2.04
B90(1)	44.1	54.8	36.1	14.06	2.29
B90(2)	36.9	48.9	43.8	13.74	2.04
C90(1)	40.2	49.3	43.3	13.65	2.05
C90(2)	40.2	48.7	44.1	14.00	2.03
D90(1)	41.8	51.3	40.6	17.26	2.14
D90(2)	45.5	50.2	42.2	14.80	2.09
E90(1)	42.4	50.6	41.6	16.99	2.11
E90(2)	43.8	50.7	41.4	14.49	2.12
F90(1)	40	49.8	42.7	14.14	2.07
F90(2)	37.4	52.3	39.4	14.90	2.18
T90(1)	41.6	49.0	43.6	11.44	2.04
T90(2)	42.2	50.8	41.3	12.16	2.12

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS.

TEL: (506) 5582377. FAX (506)5561533. [Http://www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)

No. Reporte: **HR05-134-ORIG.**
Emisión: **18/08/2005.**

Nombre del Cliente: Héctor Alejandro Santos Montoya.
Nombre Agricultor: Ganadera Montezuma.
Dirección de la Finca: Upala, Guanacaste.
Tipo de muestra: Suelo.
Fecha Ingreso: 10/08/2005.
Fecha Análisis: 17-18/07/05.
Método Análisis: Extracción en Ols en Modificado pH 8.5, para determinación de K, Cu, Zn, Mn, Fe y P.
Extracción en Cloruro de Potasio 1N para determinación de Ca, Mg y Acidez Extraíble.
pH en agua.
Nitrógeno por método de combustión total.

No.	Prof.	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn	Fe	H
Lab.	Ident.	(cm)	H ₂ O	-----cmol(+)			mg/l	-----mg/l-----				%
LS05- 4575	Suelo	0-30	5.78	0.11	10.11	2.53	0.75	2.4				0.49

Los resultados anteriores corresponden a las muestras ingresadas al laboratorio por el cliente.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS

TEL: (506) 5582377. FAX (506)5561533. [Http://www.catie.ac.cr](http://www.catie.ac.cr)

No. Reporte: **HR05-135-ORIG.**
Emisión: **18/08/05.**

Nombre Técnico: Héctor Alejandro Santos Montoya.
Nombre Agricultor: Ganadera Montezuma.
Dirección del sitio/finca: Upala, Guanacaste.
Tipo de muestra: Abono.
Fecha Ingreso: 10/08/2005.
Fecha Análisis: 16-18/07/2005.
Método Análisis: Digestión húmeda con mezcla de ácidos nítrico-perclórico 5:1.
Determinación por Absorción Atómica para Ca, Mg, K.
Fósforo por método colorimétrico del extracto de digestión nítrico-perclórica.
Nitrógeno total por combustión en equipo analizador Thermo Finigan.

No.	No.	Ca	Mg	K	P	H
Lab.	Ident.	----- % -----				
LS05- 4576	estiércol	0.76	0.52	0.14	0.16	0.89

Los resultados anteriores corresponden a las muestras enviadas al laboratorio por el cliente.

Anexo 12. Lista de entradas y distribuciones utilizadas por el programa @Risk.

Name	Function
Precio forraje (¢/kg MV)	RiskNormal(5, D5, RiskName("Precio forraje (¢/kg MV)"))
Rend total (kg/6m) / T3002550	RiskNormal(73760.4, C7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T6002550	RiskNormal(84406.25, E7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T3005050	RiskNormal(82885.4, F7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T6005050	RiskNormal(71859.375, G7, RiskTruncate(33000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T3007550	RiskNormal(85927.08, H7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T6007550	RiskNormal(79463.5, I7, RiskTruncate(33000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T0000050	RiskNormal(56575, J7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T3002570	RiskNormal(92336.3, K7, RiskTruncate(33000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T6002570	RiskNormal(96681.5, L7, RiskTruncate(33000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T3005070	RiskNormal(103742.6, M7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T6005070	RiskNormal(98854.2, N7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T3007570	RiskNormal(118950.9, O7, RiskTruncate(3000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T6007570	RiskNormal(90163.7, P7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T0000070	RiskNormal(81473.2, Q7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T3002590	RiskNormal(60833.3, R7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T6002590	RiskNormal(34641.2, S7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T3005090	RiskNormal(67592.6, T7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T6005090	RiskNormal(85335.6, U7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T3007590	RiskNormal(75619.2, V7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T6007590	RiskNormal(78153.9, W7, RiskTruncate(30000, 133000))
Rend total (kg/6m) / T0000090	RiskNormal(58298.6, X7, RiskTruncate(30000, 133000))
%N en Estiércol	RiskNormal(1.1, D12, RiskName("%N en Estiércol"))
Costo jornal (¢)	RiskNormal(3900, D14, RiskName("Costo jornal (¢)"))
Costo/hr (Tractor 4230)	RiskNormal(5000, D18, RiskName("Costo/hr (Tractor 4230)"), RiskCorrmat(CorrIns,1))
Costo/hr (Tractor 6300)	RiskNormal(6500, D22, RiskName("Costo/hr (Tractor 6300)"), RiskCorrmat(CorrIns,2))
Costo/hr (Carreta)	RiskNormal(500, D27, RiskName("Costo/hr (Carreta)"), RiskCorrmat(CorrIns,3))
Costo/hr Abonadora	RiskNormal(500, D32, RiskName("Costo/hr Abonadora"), RiskCorrmat(CorrIns,4))
Costo Urea (¢/kg)	RiskNormal(204.04, D36, RiskName("Costo Urea (¢/kg)"))
Costo Estiércol (¢/kg)	RiskNormal(0.16, D40, RiskName("Costo Estiércol (¢/kg)"), RiskCorrmat(CorrIns,5))