

**VALOR NUTRITIVO DEL PASTO KIKUYO (*Pennisetum clandestinum*
Hoechst) BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA Y DIFERENTES NIVELES
DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y/O MINERAL
EN ZONA DE LADERA**

**WILMER MIGUEL ACOSTA BURBANO
OSCAR ANTONIO MONCAYO OTERO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTECNIA
PASTO - COLOMBIA
2002**

**VALOR NUTRITIVO DEL PASTO KIKUYO (*Pennisetum clandestinum*
Hoechst) BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA Y DIFERENTES NIVELES
DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y/O MINERAL
EN ZONA DE LADERA**

**Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de
Zootecnistas**

**Presidente
EDMUNDO APRAEZ GUERRERO
Zootecnista, M.Sc.**

**WILMER MIGUEL ACOSTA BURBANO
OSCAR ANTONIO MONCAYO OTERO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTECNIA
PASTO - COLOMBIA
2002**

NOTA DE ACEPTACION

OSCAR FERNANDO BENAVIDES
Jurado delegado

SONIA PATRICIA RODRIGUEZ
Jurado

EDMUNDO APRÁEZ GUERRERO
Presidente

San Juan de Pasto, abril del 2002

“Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de Grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo 1° del acuerdo 324 del 11 de octubre de 1996 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

DEDICO A :

MIS PADRES: Por ser la luz de mis días y guías espirituales permanentes

MIS HERMANAS: por su comprensión y apoyo moral

MIS TÍOS: Por haberme inculcado la disciplina y perseverancia en el trabajo

A LA MEMORIA DE MIS ABUELOS

A MIS AMIGOS

OSCAR ANTONIO MONCAYO OTERO

DEDICO A :

MIS PADRES: MIGUEL ACOSTA Y EMERITA BURBANO

MIS HERMANOS

MIS FAMILIARES

MIS AMIGOS

WILMER MIGUEL ACOSTA BURBANO

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a :

Edmundo Apráez Guerrero	Zootecnista., M.Sc.
Hernando Criollo	Ing. Agrónomo., M.Sc.
Tulio Cesar Lagos	Ing. Agrónomo., M.Sc.
Mónica Riascos E	Ing. Agroforestal.
Lesvy Ramos	Zoot., Ing. Acuícola.
Oscar Fernando Benavides	Zootecnista., Esp.
Sonia Patricia Rodriguez	Zootecnista., Esp.
Sandra Espinoza	Ing. Acuícola.
Pilar Erazo E	Zootecnista.
Edgar Unigarro	Licenciado en Física
Germán Arteaga	Ing. Agrónomo., M. Sc.
Mauricio Maigual	Técnico en sistemas.

Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño

Vicerrectoría de investigaciones, postgrados y Relaciones Internacionales.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en la realización y culminación del presente trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
2. FORMULACION DEL PROBLEMA	4
3. OBJETIVOS	5
3.1. OBJETIVO GENERAL	5
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
4. MARCO TEORICO	7
4.1. GENERALIDADES SOBRE LABRANZA	7
4.1.1. Labranza mínima	8
4.1.2. Labranza cero	9
4.2. EFECTO DE LA LABRANZA SOBRE EL SUELO	9
4.3. FERTILIZACION	12
4.3.1. Fertilidad del suelo y fertilización	12
4.3.2. Fertilización mineral	13
4.3.3. Fertilización orgánica	14
4.4. FACTORES QUE INCIDEN EN LA PRODUCCION DE FORRAJE	16
4.4.1. Factores ecológicos	16
4.4.2. Factores edáficos	19

4.5. GENERALIDADES SOBRE EL PASTO KIKUYO (<i>Pennisetum clandestinum</i> Hoechst.)	27
4.5.1. Origen	27
4.5.2. Clasificación Botánica	27
4.5.3. Adaptación	28
4.6. VALOR NUTRITIVO DEL PASTO KIKUYO	29
4.6.1. Composición química	29
4.7. DIGESTIBILIDAD	33
4.7.1. Factores que afectan la digestibilidad	33
4.7.2. Determinación de la digestibilidad <i>In situ</i>	37
5. DISEÑO METODOLOGICO	39
5.1. LOCALIZACION	39
5.2. AREA EXPERIMENTAL	40
5.3. EQUIPOS E INSUMOS	40
5.3.1. Equipos	40
5.3.2. Insumos	41
5.4. ANIMALES	41
5.5. TOMA DE MUESTRAS	41
5.5.1. De forraje	41
5.5.2. De suelos	42
5.5.3. De desaparición <i>In situ</i>	42
5.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO	42
5.7. QUÍMICA DE SUELOS	43
5.7.1. pH	43

5.7.2. Materia orgánica	43
5.7.3. Nitrógeno total	43
5.7.4. Fósforo disponible	43
5.7.5. Potasio de cambio	43
5.7.6. Nitratos y nitritos	44
5.8. FÍSICA DE SUELOS	44
5.8.1. Densidad aparente	44
5.8.2. Densidad real	44
5.8.3. Porosidad total	44
5.8.4. Capacidad de campo	44
5.9. MICROBIOLOGÍA DE SUELOS	44
5.9.1. Número total de bacterias	45
5.9.2. Hongos	45
5.9.3. Actinomicetos	45
5.9.4. Bacterias nitrificantes	46
5.9.5. Bacterias desnitrificantes	47
5.9.6. Bacterias solubilizadoras de fósforo	47
5.9.7. Número de lombrices	47
5.10. PRUEBA AGRONÓMICA	47
5.10.1. Producción de biomasa seca	47
5.10.2. Índice de Area foliar (IAF)	47
5.10.3. Altura de plantas	48
5.10.4. Profundidad radicular	48
5.10.5. Periodo de recuperación	48

5.11. VALORACIÓN BROMATOLÓGICA	48
5.12. PRUEBA DE DIGESTIBILIDAD <i>In situ</i>	48
5.13. ANÁLISIS ECONÓMICO	49
5.14. TRATAMIENTOS	49
5.15. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANALISIS ESTADISTICO	50
5.15.1. Planteamiento de hipótesis	51
5.15.2. Modelos propuestos	52
6. RESULTADOS Y DISCUSION	54
6.1. VARIABLES EDÁFICAS	54
6.1.1. Química de suelos	54
6.1.1.1. Ph	54
6.1.1.2. Nitrógeno total	57
6.1.1.3. Fósforo disponible	60
6.1.1.4. Potasio de cambio	62
6.1.1.6. Materia orgánica	64
6.1.1.5. Nitratos	67
6.1.2. Física de suelos	69
6.1.2.1. Densidad aparente	69
6.1.2.2. Densidad real	73
6.1.2.3. Porosidad	75
6.1.2.4. Capacidad de campo	77
6.1.2.5. Textura	80
6.1.3. Microbiología de suelos	81
6.1.3.1. Bacterias totales	81

6.1.3.2. Bacterias nitrificantes	86
6.1.3.3. Bacterias desnitrificantes	90
6.1.3.4. Bacterias solubilizadoras de fósforo	93
6.1.3.5. Hongos	96
6.1.3.6. Actinomicetos	98
6.1.3.7. Número de lombrices	100
6.2. VARIABLES AGRONOMICAS	101
6.2.1. Producción de biomasa	102
6.2.2. Índice de Area foliar	107
6.2.3. Altura de la planta	110
6.2.4. Profundidad radicular	114
6.2.5. Periodo de recuperación	116
6.3. VARIABLES BROMATOLOGICAS	119
6.3.1. Materia seca	119
6.3.2. Proteína	125
6.3.3. FDN	130
6.3.4. FDA	133
6.3.5. Hemicelulosa	136
6.3.6. Celulosa	139
6.3.7. Lignina	142
6.3.8. Ceniza	146
6.3.9. Energía digestible	148
6.3.10. Nitratos	150
6.3.11 Nitritos	153

6.4. PRUEBA DE DIGESTIBILIDAD <i>In situ</i>	155
6.4.1. Digestibilidad de la materia seca	156
6.4.2. Digestibilidad de la proteína	161
6.4.3. Digestibilidad del FDN	164
6.4.4. Digestibilidad del FDA	168
6.4.5. Digestibilidad de la hemicelulosa	171
6.4.6. Digestibilidad de celulosa	173
6.5. Análisis económico	176
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	179
8. BIBLIOGRAFIA	182
ANEXOS	195

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Calidad del pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i> Hoechst) como porcentaje de materia seca	30
Tabla 2. Química de suelo bajo diferentes labores culturales.	55
Tabla 3. Física de suelo bajo diferentes labores culturales.	70
Tabla 4. Población microbiana de suelo bajo diferentes labores culturales.	82
Tabla 5. Producción agronómica de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	103
Tabla 6. Composición bromatológica de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	120
Tabla 7. Digestibilidad <i>In situ</i> . del kikuyo bajo diferentes labores culturales	157
Tabla 8. Costos e ingresos por tratamientos	177

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. pH de suelo bajo diferentes labores culturales.	56
Figura 2. Nitrógeno total en suelo bajo diferentes labores culturales.	58
Figura 3. Fósforo disponible en suelo bajo diferentes labores culturales.	61
Figura 4. Potasio de cambio en suelo bajo diferentes labores culturales.	63
Figura 5. Materia orgánica en suelo bajo diferentes labores culturales.	65
Figura 6. Nitratos en suelo bajo diferentes labores culturales.	68
Figura 7. Densidad aparente de suelo bajo diferentes labores culturales.	71
Figura 8. Densidad real de suelo bajo diferentes labores culturales.	74
Figura 9. Porosidad total en suelo bajo diferentes labores culturales.	76
Figura 10. Capacidad de campo en suelo bajo diferentes labores culturales.	78
Figura 11. Población de bacterias totales en suelo bajo diferentes labores culturales.	83
Figura 12. Población de bacterias nitrificantes en suelo bajo diferentes labores culturales.	87
Figura 13. Población de bacterias desnitrificantes en suelo bajo diferentes labores culturales.	91

Figura 14. Población de bacterias solubilizadoras de fósforo en suelo bajo diferentes labores culturales.	94
Figura 15. Población de hongos en suelo bajo diferentes labores culturales.	97
Figura 16. Población de actinomicetos en suelo bajo diferentes labores culturales.	99
Figura 17. Producción de biomasa seca de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	104
Figura 18. Precipitación mensual promedio en el periodo experimental.	108
Figura 19. Índice de Area foliar de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	109
Figura 20. Altura de planta de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	111
Figura 21. Profundidad radicular de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	115
Figura 22. Periodo de recuperación de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	117
Figura 23. Contenido de materia seca de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	122
Figura 24. Contenido proteico de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	126
Figura 25. Contenido de FDN de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	131
Figura 26. Contenido de FDA de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	134

Figura 27. Contenido de hemicelulosa de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	137
Figura 28. Contenido de celulosa de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	140
Figura 29. Contenido de lignina de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	143
Figura 30. Contenido de ceniza de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	147
Figura 31. Contenido de energía digestible de kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	149
Figura 32. Contenido de nitratos en kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	151
Figura 33. Contenido de nitritos en kikuyo obtenido bajo diferentes labores culturales.	154
Figura 34. Coeficientes de digestibilidad para la materia seca.	158
Figura 35. Coeficientes de digestibilidad para proteína.	162
Figura 36. Coeficientes de digestibilidad para FDN.	165
Figura 37. Coeficientes de digestibilidad para FDA.	169
Figura 38. Coeficientes de digestibilidad para hemicelulosa.	172
Figura 39. Coeficientes de digestibilidad para celulosa.	174

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Análisis de varianza para propiedades química de suelos.	196
Anexo B. Análisis de varianza para propiedades para física de suelos.	197
Anexo C. Análisis de varianza para microbiología de suelos.	198
Anexo D. Análisis de varianza para variables agronómicas.	199
Anexo E. Producción de biomasa seca de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales (ton/ha).	200
Anexo F. Índice de área foliar de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales.	200
Anexo G. Altura de las plantas de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales (cm).	201
Anexo H. Periodo de recuperación de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales (días).	201
Anexo I. Análisis de varianza para variables bromatológicas	202
Anexo J. Contenido de materia seca de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales (%).	203
Anexo K. Contenido de proteína de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales (%).	203

Anexo L. Contenido de FDN de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales (%).	204
Anexo M. Contenido de FDA de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales (%).	204
Anexo N. Contenido de hemicelulosa de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales (%).	205
Anexo O. Contenido de celulosa de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales (%).	205
Anexo P. Contenido de lignina de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales (%).	206
Anexo Q. Contenido de ceniza de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales (%).	206
Anexo R. Contenido de energía digestible de kikuyo obtenido bajo diferentes Labores culturales (ED Mcal/kg).	207
Anexo S. Análisis de varianza para digestibilidad <i>in situ</i> .	208
Anexo T. Coeficientes de digestibilidad en los cuatro cortes (prueba de Tukey).	209
Anexo U. Costos detallados de las labores culturales en la rehabilitación de la pradera	210

Anexo V. Medios de cultivo utilizados en la prueba microbiológica de suelos	211
Anexo W. Análisis químico de la bovinaza (base fresca)	212
Anexo X. Análisis inicial de suelos	212

GLOSARIO

ACIDEZ: propiedad de las sustancias que tienen alta proporción de iones hidrógeno (H^+). En la escala de Ph son sustancias ácidas las que tienen un Ph menor a 7 y alcalinas las que son mayores.

ANALISIS PROXIMAL: combinación de procedimientos analíticos que se utilizan para cuantificar el contenido de proteínas, lípidos, materia seca cenizas y glúcidos de los alimentos, tejidos animales o excretas.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO: representa la totalidad de las cargas negativas de la fracción coloidal del suelo que están en condición de ser intercambiadas.

CELULOSA: polímero de glucosa que se encuentra en un enlace resistente a la hidrólisis producida por las enzimas digestivas.

DORMANCIA: periodo de latencia fisiológica de algunos organismos a condiciones adversas como sistema de sobrevivencia.

DESNITRIFICACION: proceso biológico mediante el cual el nitrógeno fijado es devuelto del suelo a la atmósfera; reducción microbial del nitrato o nitrito a nitrógeno gaseoso.

FOTOSINTESIS: Proceso por el cual las plantas con clorofila producen carbohidratos a partir del hidrógeno del agua y del CO₂ atmosférico.

GRAMINEAS: planta monocotiledonea de tallo cilíndrico y generalmente hueco, hojas paralelinervias (nervaduras paralelas), flores reunidas en la espiga, ráncimo o panoja.

IMPEDANCIA: resistencia física de un medio al paso de un cuerpo.

LABRANZA MINIMA: mínimo laboreo indispensable para lograr las condiciones físicas de suelo adecuadas para un cultivo.

LABRANZA CERO: caso extremo de labranza mínima el cual corresponde a la siembra directa sin remover el suelo.

NITRIFICACION: conversión del amonio (NH₃) en nitratos (NO₂), transformación que realizan las bacterias quimiosintetizadoras.

RESUMEN

La valoración agronómica se llevó a cabo en el CIAB (Centro de Investigaciones Agropecuarias y Biológicas) propiedad de la Universidad de Nariño, la prueba de digestibilidad *In situ* se realizó en el C.I Obonuco.

Esta investigación tuvo como objetivo determinar el valor nutritivo del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) bajo dos sistemas de labranza y fertilización orgánica y/o mineral en zona de ladera evaluando sus repercusiones a nivel de producción agronómica, bromatológica y digestibilidad *In situ* del pasto, además de las propiedades químicas, físicas y microbiológicas del suelo.

Para la investigación se utilizó un lote experimental de 3900 m² y un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas se evaluaron diferentes niveles de fertilización orgánica y/o mineral, donde las parcelas principales fueron L0: labranza cero y LM: labranza mínima. Los niveles de fertilización fueron: T0:sin fertilización; T1: 100% fertilizante orgánico; T2: 75% orgánico, 25% mineral, T3 50% orgánico, 50% mineral; T4: 75% mineral, 25% orgánico; T5 100% fertilizante mineral.

Se realizó prueba de digestibilidad *In situ* con el forraje obtenido en los diferentes tratamientos utilizando para ello tres vacas Holstein con peso promedio de 420 kg; el análisis se efectuó bajo un diseño factorial teniendo en cuenta sistemas de labranza, niveles de fertilización, cortes y sus interacciones como fuentes de variación

Los lotes bajo sistema de labranza mínima presentaron el mejor comportamiento agronómico, bromatológico y de digestibilidad.

La labranza mínima mejoró las propiedades físicas y microbiológicas de los suelos, además proporcionó una buena biodisponibilidad de los nutrientes aportados por los fertilizantes aplicados lo que se vio reflejado en mayor producción de biomasa seca, proteína, energía y digestibilidad de la materia seca y proteína.

La fertilización combinada con bovinaza y fertilizante mineral puso en evidencia el efecto complementario de las dos fuentes aumentando su disponibilidad y extracción por la planta traduciéndose en mayores producciones de biomasa seca, mientras la aplicación exclusiva de fertilizante mineral aumentó solamente el contenido proteico.

Los tratamientos bajo labranza mínima y fertilización orgánica y/o mineral obtuvieron los mayores ingresos netos/ha/año, siendo los niveles crecientes de fertilización orgánica, el factor de mayor incidencia en los costos de producción.

La mayor relación beneficio:costo lo presentaron los tratamientos testigos debido a sus bajos costos de producción. Sin embargo, el valor nutritivo de el pasto proveniente de estos tratamientos no fue el mejor debido a sus bajas producciones de biomasa y digestibilidad.

ABSTRACT

The agronomic valuation was carried out in the CIAB (Agricultural and Biological Investigations Center) at Nariño University, the digestibility test *In situ* was carried out in the C.I Obonuco.

This investigation had as objective to determine the nutritious value of the kikuyo grass (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) I lower two tillage systems and fertilization organic and/or mineral in hillside area evaluating its repercussions to level of agronomic production, bromatolgyc and digestibility In situ of the grass, besides the chemical, physical properties and microbiolgyc in the soil.

For the investigation it was used an experimental lot of 3900 m² and a design at random in blocks with arrangement in divided parcels different levels of fertilization organic and/or mineral they were evaluated, where the main parcels were L0: minimum tillage and LM: minimum tillage. The fertilization levels were: T0: without fertilization; T1: 100% organic fertilizer; T2: 75 organic%, 25% mineral, T3 50 organic%, 50% mineral; T4: 75% mineral, 25 organic%; T5 100% mineral fertilizer.

He was carried out digestibilidad test *In situ* with the forage obtained in the different treatments using for it three you vacate Holstein with weight average of 420 kg; the analysis was made under a factorial design keeping in mind tillage systems, fertilization levels, courts and its interactions like variation sources.

The lots lower system of minimum farm they presented the best agronomic behavior, bromatolgyo and of digestibility.

The minimum farm improved the physical properties and microbiolgycs of the fsoil, it also provided a good biodisponibility of the nutrients contributed by the applied fertilizers what was reflected in bigger production of dry biomass, protein, energy and digestibility of the dry matter and protein.

The fertilization combined with bovinaza and mineral fertilizer put in evidence the complementary effect of the two sources increasing its readiness and extraction for the plant being translated in more productions of dry biomass, while the exclusive application of mineral fertilizer increased the proteic level.

The treatments lower minimum tillage and fertilization organic and/or mineral they obtained the biggest revenues netos/ha/año, being the growing levels of organic fertilization, the factor of more incidence in the production costs for the high applied quantities.

The May relationship benefit:cost presented in the treatments witness due to its low production costs. However, the nutritious value of the grass coming from these treatments was not the best due to its low production digestibility.

INTRODUCCION

La crisis en la disponibilidad de recursos naturales en la actualidad, junto con el crecimiento y desarrollo de las sociedades y la demanda alimentaria a nivel mundial que estas implican, han llevado a plantear una nueva filosofía denominada “producción sostenible”, por medio de la cual se pretende afrontar la problemática de la producción a través de la adopción de sistemas eficientes y competitivos que permitan minimizar los problemas de degradación del medio ambiente y que además sean perdurables en el tiempo.

Estos cambios exigen la investigación en sistemas productivos que integren el aprovechamiento de residuos orgánicos y sistemas de laboreo reducido de la tierra con el propósito de validar paquetes tecnológicos que aporten sus beneficios a la mejora y sostenibilidad del recurso suelo sin sacrificar su productividad.

Por otra parte el estudio de las especies forrajeras naturalizadas ha sido poco abordada y se ha concentrado preferencialmente en especies mejoradas de alta producción que en la mayoría de los casos son inadecuadas para las condiciones topográficas de ladera de nuestra región Andina Nariñense donde predomina el minifundio y donde el pasto kikuyo se encuentra bien adaptado y crece con

facilidad. Sin embargo, no se le ha prestado atención a su manejo por la errónea creencia de su mala calidad, baja producción y susceptibilidad a las heladas.

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones se observó la importancia de evaluar el contenido nutricional y posible aprovechamiento a nivel de rumen del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) manejado bajo dos sistemas de labranza y fertilización orgánica y/o mineral, evaluando también las repercusiones a nivel físico, químico y microbiológico del suelo por efecto de los diferentes sistemas de atención cultural aplicados.

1. DEFINICION Y DELIMITACION DEL PROBLEMA

El pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) es una de las gramíneas que mejor se ha adaptado a la zona de clima frío en Nariño especialmente en regiones donde no se presentan heladas, sin embargo no se le ha dado la importancia necesaria por parte de productores e investigadores del sector pecuario.

Las investigaciones sobre el pasto kikuyo en el campo nutricional son escasas por diversos factores culturales y creencias erróneas de la gente, al punto de considerarlo como una maleza, erradicándolo o sustituyéndolo por otras especies forrajeras genéticamente mejoradas las cuales representan mayores costos de producción debido a sus exigencias especialmente en fertilización y preparación de suelos, realizadas generalmente con implementos pesados que contribuyen al deterioro de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, incrementando el costo ambiental y económico de la alimentación en la producción animal.

2. FORMULACION DEL PROBLEMA

La productividad del sector pecuario en Nariño, no representa cifras atractivas en especial porque el 27.19% del área total de la zona andina no es apta para actividades agropecuarias, ya que han sido deterioradas por su manejo irracional, uso de equipo pesado diseñado para otras condiciones topográficas y uso indiscriminado de productos agroquímicos, que ha llevado a los productores a la extrapolación de tecnologías originadas bajo condiciones diferentes sacrificando la sostenibilidad del sistema.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el valor nutritivo del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) bajo dos sistemas de labranza y fertilización orgánica y/o mineral en zona de ladera.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

3.2.1. Evaluar el efecto de dos sistemas de labranza y fertilización orgánica y/o mineral sobre la producción agronómica del pasto kikuyo.

3.2.2. Evaluar el efecto de dos sistemas de labranza y fertilización orgánica y/o mineral sobre la composición bromatológica del pasto kikuyo.

3.2.3. Evaluar el efecto de dos sistemas de labranza y fertilización orgánica y/o mineral sobre las propiedades químicas, físicas y microbiológicas del suelo.

3.2.4. Determinar la digestibilidad *In situ* de la materia seca, proteína, FDN, FDA, hemicelulosa y celulosa del pasto kikuyo obtenido en los diferentes tratamientos

3.2.5. Establecer la viabilidad económica de los diferentes tratamientos evaluados

4. MARCO TEORICO

4.1. GENERALIDADES SOBRE LABRANZA

Arar la tierra para hacerla más productiva fue desde tiempos remotos, la primera acción del hombre al hacerse agricultor. El arado de vertedera actual, que fue inventado hace más de 200 años, surgió en las zonas frías de Europa y Norte América, con el objetivo de invertir el suelo antes o al comienzo de la primavera, con la finalidad de exponerlo a los rayos del sol, enterrar las malezas y estimular la actividad de los microorganismos del suelo y la rápida germinación de las plantas adelantando de esta forma el periodo de cosecha. Este tipo de arado, ya sea arrastrado por los animales de trabajo o por tractores permitió aumentar la capacidad productiva del suelo (Ríos 2001, 3).

El mismo autor (1) afirma que los sistemas de labranza convencionales incluyen maquinaria e implementos de tipo pesado que son una de las mayores causas de la erosión y compactación del suelo, ya que generalmente invierten la capa superficial del perfil agrícola dejándolo desnudo y a la interperie.

Así mismo, Grillo y Camero (1981,6) argumentan que con la aplicación de labranza convencional al suelo se incrementan los costos de preparación y por ende los costos totales de la producción del cultivo, además de un deterioro en las propiedades físicas del suelo con la pulverización de la capa arable y compactación de los niveles inferiores, disminución de la infiltración y del control de la erosión.

4.1.1. Labranza mínima. Studert (2001, 2) define la labranza mínima como un conjunto de técnicas que tienen como propósito mejorar y hacer sostenible la producción agrícola, mediante la conservación de los suelos, el agua y los recursos biológicos por medio de la reducción en el número de operaciones de laboreo respecto de la labranza convencional; de esta manera, un suelo bajo labranza mínima quedará protegido parcialmente con una cobertura de rastrojo confiriéndole cierto grado de protección especialmente en zonas con pendiente que son más propensas a la erosión.

Por su parte Grillo y Camero (7) afirman que las ventajas de la labranza mínima o reducida se ven reflejadas en la reducción de los costos de producción, mayor producción de biomasa, mejora en las condiciones físicas del suelo y mayor eficiencia en la utilización de los fertilizantes aplicados.

Ortiz y Ossa (1986, 10) argumentan que la escarificación en praderas de kikuyo puede considerarse como un sistema de labranza mínima, lo cual constituye una labor necesaria sobre todo cuando el mal manejo de la pradera y después de largo

uso del potrero se produce acolchonamiento del pasto que lo hace improductivo y afecta al suelo al restarle aireación.

4.1.2. Labranza cero. El caso más extremo de labranza mínima es la siembra directa o labranza cero; sin embargo este sistema debe ser implementado teniendo en cuenta la naturaleza y características del cultivo predominante, como también las condiciones físico-químicas del suelo, ya que si bien es cierto que la no labranza protege el suelo de la erosión puede ser causa de una mala incorporación de fertilizantes, baja difusión e intercambio de gases e impedancia mecánica para la profundización radicular (Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT), 1988, 176).

Teniendo en cuenta lo anterior, puede afirmarse que la labranza cero no es aplicable a praderas de cobertura densa como el kikuyo, de hecho, las bajas producciones este forraje son causadas en gran medida por la deficiente aireación radicular que impide la entrada de los nutrientes y humedad (Bernal, 1994, 35).

Studdert (3), señala que la no labranza puede ocasionar un deficiente desarrollo de las plantas debido a la baja liberación y movilización de los nutrientes, ya que no hay ruptura de los agregados y se limita el intercambio gaseoso necesario para la mineralización del nitrógeno.

4.2. EFECTO DE LA LABRANZA SOBRE EL SUELO

Grillo y Camero (15) comentan que el laboreo de la tierra con implementos pesados tiene un efecto favorable sobre las propiedades físicas a corto plazo, ya que el suelo puede ser esponjado y la materia orgánica desmenuzada e incorporada al suelo, sin embargo a largo plazo se hace evidente el deterioro de la estructura y compactación. Al respecto, Rodríguez (1984, 9) afirma que la compactación del suelo, puede definirse como el aumento de la densidad aparente, como resultado de las cargas o de la presión aplicada o por el amasamiento producido por el tránsito del tractor en estado de humedad poco adecuado.

El mismo autor (13) sostiene que cada cultivo presenta requerimientos particulares en cuanto a disponibilidad de aire y humedad, dentro de un rango general ; por lo tanto, la reacción a determinadas condiciones es variable, por ejemplo, en una pradera de kikuyo se encontró una interacción negativa entre la producción de biomasa y la cero labranza posiblemente atribuida a la baja incorporación de los fertilizantes y deficiente humedad.

Por otra parte Studdert (4) argumenta que el contenido de humedad del suelo, puede verse incrementado con la práctica de la no labranza, sin embargo en praderas de kikuyo bajo este sistema, generalmente es menor debido a la cobertura densa que este presenta el cual dificulta el humedecimiento de la tierra.

La mejora de las propiedades físicas del suelo causadas por la labranza mínima, mejora también algunas propiedades químicas y microbiológicas del suelo ; la

adecuada distribución de los agregados conduce a una buena relación de agua aire y nutrientes propiciando condiciones óptimas para la solubilización y toma de nutrientes (Burbano, 1989, 21).

Villegas (1998, 3) manifiesta que los sistemas de labranza reducida o mínima, que contemplan la incorporación superficial de la materia orgánica, propician condiciones óptimas para su descomposición, estabiliza el suelo mejorando las condiciones para una buena actividad microbiana y una adecuada relación humedad oxígeno asegurando a largo plazo una apropiada estructura del suelo.

Así mismo Burges (1996, 147) sostiene que la mayoría de microorganismos benéficos del suelo, entre ellos, las bacterias responsables de la solubilización del nitrógeno y del fósforo como algunas especies de hongos y actinomicetos, son de carácter aerobio, por lo tanto la disturbación de la rizósfera proporciona los niveles necesarios de oxígeno para su normal desempeño en las funciones de mineralización.

Adicionalmente, Villegas (29-30) asevera que un suelo bajo labranza mínima, con buenas características de aireación y humedad, permite la rápida descomposición de la materia orgánica, proceso durante el cual se forman sustancias agregantes, ligantes y/o estabilizantes del suelo, producto de los diferentes desechos metabólicos de los microorganismos como también de los exudados de la raíz, siendo este efecto mayor a medida que avanza el estado de descomposición de la materia orgánica.

4.3. FERTILIZACION

4.3.1. Fertilidad del suelo y fertilización. Bernal (66) define la fertilidad del suelo como la cualidad que este posee para suministrar los nutrientes apropiados, en cantidades adecuadas y balanceadas para el crecimiento normal de las plantas, cuando otros factores como la luz, temperatura, humedad y condiciones físicas son favorables.

La fertilidad del suelo, puede dividirse en : a) fertilidad actual : la cual se define como el nivel inmediato de un nutriente disponible en el perfil agrícola, b) fertilidad potencial : la cual se refiere al nivel de materia orgánica y de allí al nivel de nitrógeno total, es decir, al nutriente en su forma global no disponible inmediatamente para las plantas (Bernal, 66-68).

En un programa de manejo de pastos, indudablemente la práctica de la fertilización produce resultados satisfactorios en corto tiempo ya que aumenta la fertilidad del suelo y por ende la cantidad y calidad de forraje, y con ella la capacidad de sostenimiento de mayor número de animales. Medina (1980, 1), por su parte Bernal (353) sostiene que las especies forrajeras particularmente las gramíneas responden muy bien a la fertilización, esta respuesta positiva se debe al nitrógeno; sin embargo la mayor cantidad de forraje producido lleva necesariamente a una mayor extracción o demanda de otros nutrimentos particularmente P, K, S, Mg y Ca. En consecuencia si el suelo no dispone de

suficiente cantidad de estos elementos y no son añadidos en la fertilización se perderá en una parte el efecto del nitrógeno aplicado y además disminuirá el valor nutritivo del forraje.

4.3.2. Fertilización mineral. Navarrete (1996, 15) menciona que el kikuyo responde positivamente a la aplicación de fertilizante nitrogenado ya que el nitrógeno es considerado el elemento que más limita el crecimiento de los pastos tropicales y especialmente de clima frío, donde las tasas de mineralización son más lentas, sin embargo, a medida que se incrementa el uso del nitrógeno se harán evidentes deficiencias de fósforo, potasio y oligoelementos.

El mismo autor (160) afirma que la producción de biomasa en cultivo puro de kikuyo responde bien a la aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio, pudiendo en algunos casos duplicar la producción con la aplicación de 50 kg/N/ha. Cuando el kikuyo es cosechado en el momento óptimo, produce forraje abundante y de buena calidad pudiéndose obtener más de 20 ton/ha/año de forraje deshidratado. Urbano (1996, 1) reporta producciones de biomasa seca de 1.2 y 1.5 ton/ha con aplicaciones de 0 y 400 kg/N/ha/año respectivamente.

Soto (1979, 54) encontró que la respuesta del pasto kikuyo a la aplicación de 0, 50 y 100 kg/N/ha/corte, fue de 1.43, 1.99 y 2.86 ton de materia seca/ha/corte respectivamente ; dicho autor concluye que la óptima utilización del nitrógeno se obtendría con una aplicación de 100 kg/N/ha después de cortes o pastoreos realizados a intervalos de 80 días.

4.3.3. Fertilización orgánica. Gros (1966, 74) comenta que la fertilización orgánica, constituye el soporte y alimento de la mayor parte de los microorganismos del suelo, que la hacen pasar por sucesivas etapas, del estado de materia orgánica sin descomponer al estado mineral, forma en que servirá de alimento a la planta, sin embargo, es absurdo enfrentar los abonos minerales y la fertilización netamente orgánica cuya acción en el suelo se apoya y complementa.

Se ha comprobado que la aplicación de dosis crecientes de bovinaza líquida incrementa el desarrollo de los pastos, y se ha sugerido que dicha respuesta está mayormente determinada por el aporte de nitrógeno; en este sentido Crespo (1990, 4) encontró que la respuesta del nitrógeno aportado por el estiércol equivale aproximadamente a 2/3 del aplicado como sulfato de amonio.

Unger y Stewart citados por Crespo (6) encontraron que en cuatro aplicaciones sucesivas de bovinaza líquida en dosis de 0 a 268 ton / ha incrementaron significativamente la retención de agua, contenido de materia orgánica y disminuyeron la densidad aparente, aumentó también la estabilidad de los agregados en varios suelos forrajeros, sin embargo la eficiencia de utilización del estiércol como abono por las plantas depende de factores como dosis, capacidad de retención del suelo, época del año y método de aplicación.

Por su parte Burbano (1989, 392) argumenta que en el aspecto físico, el suelo se ve favorecido cuando recibe aplicaciones de materiales orgánicos de origen

animal ; la infiltración, conductividad hidráulica y retención de agua normalmente se incrementan, mientras que la densidad aparente se reduce.

Al respecto Gros (12) advierte que la fertilización orgánica con estiércol, además de sus aportes en elementos mayores, menores y oligoelementos de fácil mineralización, los efectos indirectos aportados por la mejora en las condiciones físicas constituyen un factor importante que optimiza significativamente la absorción de los elementos suministrados por la fertilización mineral al proveer un ambiente adecuado para la normal funcionalidad de los microorganismos solubilizadores.

Bernal (59) sostiene que determinadas condiciones del estiércol conducen a conceptuar favorablemente sobre sus bondades con relación al aspecto químico del suelo, así aunque el material tenga una baja concentración de nutrientes, su disponibilidad es muy alta y existe mucha evidencia en el sentido de que el estiércol además de suplementar nutrientes hace más disponibles algunos nutrimentos del suelo para las plantas.

Castro y Gutierrez (1996, 65) mencionan los siguientes aspectos, relacionados con la influencia y beneficios de la materia orgánica:

Contribuye a mejorar las propiedades físicas y reduce la erosión de los suelos, Incrementa la capacidad de intercambio catiónico, da origen a antibióticos microbianos, sustancias hormonales y catalíticas, suministra una buena proporción

de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, boro y molibdeno, los ácidos húmicos, estimulan el crecimiento radicular, la materia orgánica forma los agregados estables en el suelo y mejoran su estructura y aumenta la capacidad amortiguadora.

Gros (38) advierte que cuando se adiciona al suelo materiales orgánicos con una relación carbono : nitrógeno mayor a 30 se favorece la inmovilización del nitrógeno mineral, ya que los microorganismos lo toman para satisfacer sus necesidades. Cuando la relación carbono : nitrógeno está comprendida entre 20 y 30 los microorganismos tienen aproximadamente la cantidad de nitrógeno que necesitan y la inmovilización del nitrógeno es poco probable.

4.4. FACTORES QUE INCIDEN EN LA PRODUCCION DE FORRAJE

4.4.1. Factores ecológicos

4.4.1.1. Temperatura. Peña (1995, 138) sostiene que el crecimiento de las plantas es mucho mayor, bajo un régimen apropiado de fluctuaciones térmicas que bajo una temperatura constante, factor al cual se le ha denominado termoperiodicidad, se ha demostrado que la temperatura afecta los procesos de fotosíntesis, respiración, transpiración, absorción de agua y nutrientes, como también la actividad enzimática entre otras.

La temperatura afecta el crecimiento y metabolismo de los pastos. Las fructosanas que constituyen los mayores carbohidratos de reserva, disminuyen notablemente cuando las temperaturas son muy altas, la raíz y parte aérea de la planta también se ve afectada por las altas temperaturas por la rápida pérdida de sucrosa, aumento en el porcentaje de celulosa, lignina y pentosanas (Bernal, 20)

Vasquez y Torres (1987, 98), reportan que los extremos térmicos pueden acarrear daños severos en los forrajes, las temperaturas bajas extremas pueden propiciar la formación de cristales de hielo en los espacios intracelulares de los tejidos produciendo la muerte a las células; evento muy usual en el kikuyo cuando es atacado por heladas.

En suelo las diferentes reacciones bioquímicas y la actividad microbial necesitan un rango de temperatura óptima para su normal desempeño. La temperatura puede afectar las tasas de mineralización del nitrógeno, ya que en la transformación de compuestos orgánicos del nitrógeno a nitrógeno amoniacal, es catalizada por enzimas sensibles a los cambios bruscos de temperatura. Lo propio sucede con los microorganismos nitrificadores (Burbano, 298).

4.4.1.2. Luz. Peña (138) afirma que la intensidad de la luz afecta directamente el crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo, la respuesta de las plantas a la luz no es lineal ; es decir al aumentar la intensidad de la luz la fotosíntesis no aumenta proporcionalmente por la saturación de los cloroplastos en las primeras capas de las células.

Bernal (28) señala que los efectos de la intensidad luminosa sobre el crecimiento de las plantas están relacionados fundamentalmente con la fotosíntesis. Las concentraciones de bióxido de carbono atmosférico también pueden afectar estos procesos, cuya fijación y asimilación da origen a una clasificación como plantas con sendero luminoso C3 y C4 dependiendo de los productos finales logrados.

Al respecto Peña (136,137) menciona que la fijación y asimilación fotosintética del CO₂ se conoce como Ciclo de Calvin el cual presenta 3 moléculas de carbono llamado ácido 3-fosfoglicérico, mientras que una variante de este ciclo presenta moléculas de 4 átomos de carbono llamado ácido aspártico y Málico propiedad que confiere a las plantas características de C3 o C4.

El mismo autor (139), sostiene que las plantas C4 poseen ventajas con respecto a las C3 ya que las primeras presentan mayor actividad y velocidad fotosintética y menor pérdidas de agua por transpiración, la velocidad de las gramíneas es dos veces mayor a la de las leguminosas, concluyendo que las gramíneas presentan senderos luminosos C4 y las leguminosas C3, factores que deben ser tenidos en cuenta en el manejo de plantas con dichas características.

4.4.1.3. Precipitación. La precipitación y humedad del suelo es sin duda uno de los elementos de mayor influencia en la producción de los pastos, por efecto del agua sobre los procesos fisiológicos internos de la planta. La expansión celular depende de un mínimo de turgencia en la célula y el alargamiento y desarrollo de tallos y hojas se detiene rápidamente ante un déficit de agua (Peña, 54)

Entre los factores climáticos que influyen en la producción de forraje Peña (138) destaca el agua como uno de los más importantes, ya que su contenido en las células regula la apertura de los estomas, dicha apertura, posibilita la entrada de CO_2 en las hojas y por tanto la realización de la actividad fotosintética. La carencia de agua produce una disminución en la fotosíntesis y por ende en el crecimiento y desarrollo de la planta.

Así mismo, Bernal (30) menciona que los excesos de agua pueden desplazar al aire de los poros no capilares e inducir a una deficiencia de oxígeno que puede causar la muerte de las raíces, disminuir la fotosíntesis y generar procesos bioquímicos de desnitrificación.

Por otra parte, Jurado y Jurado (1977, 5-8) afirman que la humedad del suelo determinada por la intensidad y duración de las lluvias, puede influir en la fluctuación de las propiedades químicas, entre ellas en el nivel de nitratos de la planta. Estos autores demostraron que la máxima acumulación de nitratos ocurre al comienzo de las lluvias después de un periodo seco, posiblemente por el incremento en la actividad microbial.

4.4.2. Factores edáficos

4.4.2.1. Propiedades físicas del suelo. Castro (1990, 13) afirma que las propiedades físicas fundamentales como porosidad, capacidad de retención de

agua, distribución y tamaño de partículas y estructura, pueden dar una visión global de la potencialidad productiva de un suelo.

Por su parte Grillo y Camero (21) argumentan que el estado físico del suelo determina entre otras cosas la capacidad de las raíces para profundizar en el perfil del suelo en busca de nutrimentos y agua, el impedimento mecánico que presentan los suelos compactados restringe el desarrollo radicular y por ende el desarrollo del cultivo.

La densidad del suelo tiene efecto directo sobre la relación cuantitativa de sólidos, gases y fase líquida ; consecuentemente afecta al contenido de agua, aire y nutrientes, las operaciones de labranza convencional en la medida que se incrementan en interacción con el tiempo, tienden a deformar el arreglo de los poros y agregados y a destruir estos (Cairo y Quintero, 1987, 177)

Goriyenko citado por Castro (15) asegura que las plantas reaccionan negativamente a la degradación del suelo como la excesiva densidad aparente considerando que el rango óptimo es entre 1.1 g/cc a 1.4 g/cc, mientras que el rango óptimo para la porosidad total se considera entre 50 y 55%. Valores extremos para estas variables pueden ocasionar impedimento para la profundización de raíces o lixiviación de nutrientes.

El mismo autor (17) afirma que la porosidad está formada por la suma de los porcentajes de poros de diferente tamaño donde los poros grandes o macroporos

serven para la aireación e infiltración, los medianos para la conducción de agua y los pequeños para el almacenamiento del agua disponible para la planta, por lo cual el factor de mayor relevancia no es la porosidad total *Per se* sino la distribución equitativa del tamaño de los poros.

Por otra parte, Peña (6) manifiesta que la capacidad de campo como condición física del suelo, determina el límite productivo de la planta, el cual define como la parte de la humedad utilizable que puede ser fácilmente extraída por la planta, a la cual responde con una elevada producción.

4.4.2.2. Propiedades químicas del suelo. La naturaleza química del suelo, controla el suplemento y disponibilidad de los nutrimentos para el crecimiento de las plantas, siendo las principales el contenido de materia orgánica, reacción del suelo o pH y capacidad de intercambio catiónico (Bernal, 62).

Burbano (26) afirma que la reacción del suelo es una de las propiedades químicas más importantes, toda vez que afecta la solubilidad de muchos de los nutrimentos esenciales y también de sustancias tóxicas, afecta las propiedades de intercambio catiónico y las diversas actividades de los microorganismos que viven en este medio. Al respecto Navarrete (23) sostiene que la excesiva utilización de fertilizantes, especialmente nitrogenados pueden afectar algunas características químicas y físicas del suelo, especialmente pH, disponibilidad de nutrientes y permeabilidad reduciendo la capacidad productiva de los cultivos.

Respecto al contenido de materia orgánica, Bernal (62) menciona que esta puede constituirse en una fuente importante de nutrientes como nitrógeno, fósforo y azufre. La materia orgánica en avanzado estado de descomposición puede formar compuestos coloidales con alta capacidad de intercambio catiónico cercano a los 200 meq/100g, los valores bajos de pH pueden ser causa de una baja tasa de descomposición, lo cual es evidente especialmente en suelos de clima frío.

4.4.2.3. Propiedades microbiológicas. Burges, (52) define al suelo como un complejo vivo el cual no solamente sirve como medio de apoyo mecánico o sustrato del que se aseguran y nutren las raíces de las plantas, sino que su biodiversidad compone un complejo sistema de interrelación de microorganismos que con sus acciones permiten y crean las condiciones y factores necesarios para que se desarrollen tanto las plantas como la microflora, microfauna, macroflora y macrofauna, que son de gran importancia como agentes pedogenéticos del suelo.

Adicionalmente la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas dependen en gran parte de los microorganismos que lo habitan, los cuales pueden mostrar cierto grado de especialización con relación a las actividades que ejecutan, así por ejemplo, hay algunos que intervienen en la degradación de los residuos orgánicos ; otros en las transformaciones de elementos o sustancias a formas aprovechables o no por la planta, causar enfermedades, producir antibióticos, intervenir en la agregación de partículas etc (Chamorro, 1981, 56).

Blasco (1970, 65) clasifica a los microorganismos del suelo en los siguientes grupos :

a) Microorganismos autóctonos : Son aquellos nativos del suelo, los cuales lo caracterizan y siempre se encuentran en él.

b) Microorganismos zimógenos : Que se desarrollan de acuerdo a tratamientos específicos tales como adición de materia orgánica, fertilización, aireación del suelo u otro.

c) Microorganismos transitorios : Que se introducen en el suelo como en el caso de las bacterias nodulantes o parásitos de plantas o animales que no pueden pasar largas temporadas en el suelo sin la presencia de sus hospederos.

El mismo autor (66) menciona que el número y especie predominante de microorganismos varia con el tipo y condiciones del suelo, además de las complicadas relaciones entre especies (simbiosis, comensalismo, antagonismo, etc.) las asociaciones de microorganismos del suelo normalmente se encuentran como microcolonias sobre las partículas del suelo mientras que muy pocos se encuentran en la solución de este.

Burbano (76) menciona que la capacidad metabólica de los microorganismos del suelo, posee gran versatilidad ; no hay compuesto orgánico natural que no sea atacado por un microorganismo. El suelo como ecosistema incluye todos los

grupos microbianos dentro de los cuales se encuentran las bacterias, actinomicetos hongos, algas y protozoarios.

a) Las bacterias : Dentro de los microorganismos del suelo, las bacterias son los más pequeños y numerosos, de las cuales la mayor parte son quimioheterotróficas y juegan un importante papel en el ciclaje de energía y nutrientes. Algunas bacterias aunque son más bajas en número, son muy importantes para el crecimiento de las plantas superiores. Dentro de este grupo se destacan los géneros *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* y *Thiobacillus* que participan en las reacciones de oxidación del nitrógeno y del azufre respectivamente (Burbano, 86).

Mayea, Novo y Valiño (1982, 17) afirman que las bacterias nitrificantes son entre las autótrofas las que han recibido mayor atención por su importancia en los procesos de nitrificación que está dado en dos procesos : oxidación de amonio a nitrito y oxidación de nitrito a nitrato, la primera oxidación se lleva a cabo por bacterias del género *Nitrosomonas* y la segunda por el género *Nitrobacter*.

Otro tipo de bacterias son las desnitrificantes las cuales bajo ciertas condiciones, reducen los nitratos a nitrógeno elemental y a dióxido de nitrógeno, elementos que bajo estas características pueden escapar a la atmósfera (Blasco, 67-68).

Mayea, Novo y Valiño (18) aseguran que otro tipo de bacterias comunes en el suelo son las solubilizadoras de fósforo, las cuales poseen actividad fosfatasa necesaria para la disolución microbiológica de los fosfatos.

b) Los actinomicetos : Burbano (90) sostiene que los actinomicetos son microorganismos que forman un puente taxonómico entre los hongos y las bacterias, son de naturaleza aerobia; razón por la cual la aireación del sistema radicular está relacionada con su mayor número.

Mayea, Novo y Valiño (22) señalan que la importancia de estos microorganismos en el suelo no ha sido claramente definida, sin embargo, existen evidencias de que participan en los procesos de descomposición de plantas y animales, en la formación de la fracción húmica del suelo y son antagonistas de otros microorganismos por los antibióticos que producen.

Particularmente, los actinomicetos no incrementan en número inmediatamente al añadir material rico en carbono, demostrando que no compiten con las bacterias ; sin embargo posteriormente cuando solo permanecen los compuesto muy estables, son efectivos competidores de bacterias y hongos (Mayea, Novo y Valiño,22; Burbano, 90).

Blasco (67) argumenta que las funciones de los actinomicetos en el suelo es muy variada, desde la descomposición de materia orgánica hasta la producción de antibióticos y la fijación de nitrógeno de más reciente hallazgo.

c) Los hongos : Burbano (92) afirma que los hongos carecen de clorofila, lo que significa que no pueden elaborar sus propios alimentos tal como lo hacen las

plantas verdes, de ahí que se ven obligados a vivir de los restos de otras plantas y animales y sobre plantas y animales vivos en calidad de saprófitos o parásitos.

Blasco (66) argumenta que los hongos están encargados de procesos especiales en los cuales las bacterias tienen poca o ninguna importancia como la descomposición de la lignina y la celulosa, sin embargo, la función más importante desde el punto de vista de la fertilidad del suelo es la formación de micorrizas.

Mayea, Novo y Valiño (22) comentan que los hongos proliferan en suelos ricos en materia orgánica a la cual se adhieren motivados por su naturaleza heterotrófica y aerobia. Pueden medrar en el suelo tanto a pH neutro como alcalino, en los suelos ácidos su número tiende a incrementar, pues no hay la competencia de los actinomicetos ni de las bacterias que se encuentran limitados por la acidez.

Por otra parte, se ha encontrado que los hongos poseen capacidad para catalizar reacciones químicas, sin embargo, esta capacidad puede verse disminuida o cesar completamente cuando la relación humedad aireación es deficiente, un incremento de la humedad del medio puede favorecer el número fungal y disminuirlo gradualmente a medida que se profundiza en el suelo debido en buena medida a la disminución del O₂ (Burbano, 119).

4.5. GENERALIDADES SOBRE EL PASTO KIKUYO (*Pennisetum clandestinum* Hoehst.)

4.5.1. Origen. El pasto kikuyo es una gramínea originaria de Africa Central y Oriental, territorio de la tribu Kikuyu , de la cual derivó su nombre. En su región de origen se desarrolla entre los 1950 y los 2700 msnm con una precipitación no menor a los 1.000 mm por año, constituyéndose en el pasto natural más importante que crece en Kenia (Navarrete, 3).

Piñeros (1993, 5) menciona que ésta gramínea fue introducida en el año de 1928 a la Sábana de Bogotá, donde su siembra inicial dio excelentes resultados y en octubre de 1931 se llevó por primera vez al Departamento de Boyacá, más precisamente al municipio de Duitama en el cual se diseminó rápidamente debido a su buena adaptación a diferentes suelos, temperaturas y a su alta producción de forraje.

4.5.2. Clasificación Botánica. Medina (3); Evangelista y Porto (1997, 63) clasifican botánicamente el kikuyo de la siguiente forma :

Reino :	vegetal
Sub-reino :	fanerógamas
División :	angiospermas
Clase :	monocotyledóneas
Orden :	gramiales
Familia :	gramineae
Género :	Pennisetum

Especie : Clandestinum Hoehchst

4.5.3. Adaptación. Es una planta perenne, vigorosa y con hábitos de crecimiento rastrero, se propaga por medio de semillas, rizomas y/o estolones ; sus tallos son suculentos, las hojas de un verde brillante y sin pubescencia, excepto en los márgenes, presenta raíces profundas que se forman en los nudos de los rizomas ; algunos tallos crecen erectos o semierectos pudiendo alcanzar alturas hasta de 60 cm (Bernal, 43).

Es susceptible a las heladas que pueden llegar a dañar su parte vegetativa, pero su sistema radicular le permite recuperarse rápidamente, ya que posee tallos tanto subterráneos como superficiales que pueden invadir el terreno y formar una densa capa de material vegetal, confiriéndole además una gran resistencia al pisoteo del ganado. Es resistente a la sequía pero se ha comprobado que requiere por lo menos una precipitación anual de 762 mm (Navarrete, 5).

Cadavid y Vallejo (1993, 8) comentan que el kikuyo resiste satisfactoriamente el pastoreo continuo debido a su hábito de crecimiento, pero cuando esta sembrado en mezclas con leguminosas debe pastorearse en rotación con periodos de descanso entre 6 y 9 semanas; dependiendo de la humedad disponible y pastorearlo a una altura entre 5 y 10 cm. En ocasiones, cuando ha sido mal manejado, se acolchona y se rebaja significativamente la producción por lo tanto es necesario renovarlo mediante un sobrepastoreo o corte con guadaña, escarificar levemente y aplicar enmiendas y fertilizantes.

4.6. VALOR NUTRITIVO DEL PASTO KIKUYO

Bernal (89) afirma que la eficiencia potencial de un forraje para el crecimiento y producción de carne, leche o lana son el reflejo de su valor nutritivo. Por lo tanto un pasto se considera de buena calidad si posee todos los nutrimentos esenciales disponibles y en proporciones balanceadas, tiene alta digestibilidad y es gustoso o agradable para el animal (Tabla 1).

El mismo autor menciona que el valor nutritivo de un pasto esta determinado por una gran cantidad de factores que interactúan y confluyen para dar como resultado un pasto con determinadas características, entre estos factores se encuentran la genética, manejo, y factores externos como el suelo y el clima.

4.6.1. Composición química. Soto (5) afirma que tanto la biomasa de forraje producida como su composición química puede ser alterada mediante un adecuado plan de manejo, la fertilización nitrogenada y frecuencia de corte por ejemplo han arrojado buenos resultados con respecto a los niveles de proteína del forraje ; la aplicación cada 10 semanas de 22, 56 y 158 kg/N/ha, produce un incremento en la producción de biomasa y contenido proteico y una disminución

del contenido de FDA, celulosa y lignina, mientras que en forraje cortado cada 70 días incrementa su contenido de FDA y celulosa, no siendo claro su efecto sobre el contenido de proteína y lignina (Whitney, 1974, 288).

Por su parte, Navarrete (17) comenta que la fertilización nitrogenada, constituye un factor de gran influencia en el valor nutritivo de los forrajes. Respuestas positivas y negativas han sido obtenidas de acuerdo con la cantidad de fertilizante aplicado, existen numerosos casos en los cuales, la aplicación de nitrógeno a los pastos no resulta en un mayor contenido de proteína ; sin embargo, la producción total de proteína por unidad de superficie generalmente se aumenta por consecuencia del incremento en la producción de forraje. Este efecto ha sido interpretado como una dilución del nitrógeno en un mayor volumen de forraje.

Said citado por Benavides (1976, 4) estudió el valor nutritivo del pasto kikuyo a las 5, 7, 9 y 12 semanas y encontró en el primer estado un contenido de proteína alto de 23.7%, luego de 12 semanas decreció al 13%. La fibra cruda y el extracto no nitrogenado se incrementó en 4 y 7.5 unidades respectivamente, en cambio el extracto etéreo y la energía bruta decreció con la madurez. De igual manera el coeficiente de digestibilidad aparente, en los mismos cuatro estados decreció ya que a las cinco semanas tuvo un promedio de 78.2% para la proteína y para 12 semanas de 58.3% ; Para la materia orgánica, de 72.6 a 56.7% ; para extracto etéreo de 68.8 a 36.5% ; para la fibra cruda de 74.2 a 61.7 y extracto no nitrogenado de 67.9 a 53%.

Por su parte, Van Soest citado por Benavides (12) estima que la fibra para los no rumiantes sirve como diluyente de las fracciones altamente digestibles y es por lo tanto un factor negativo de la calidad, sin embargo, para los rumiantes la calidad de la fibra, es de mayor importancia no solo para la digestibilidad sino también para mantener niveles adecuados de grasa en la leche.

El bajo valor nutritivo de un forraje disminuye el rendimiento de los animales por un triple efecto ; baja concentración de nutrientes, menor digestibilidad de los mismos y disminución considerable en el consumo de forraje, este detrimento en el valor nutritivo puede estar también determinado por el estado de madurez de la planta, por lo tanto un pasto utilizado en el momento oportuno, aunque no sea de muy alta calidad puede dar mejores resultados que un pasto de mejor calidad pero que se encuentra demasiado maduro (Bernal, 92).

El mismo autor (104) sostiene que las condiciones ambientales como humedad, intensidad de la luz y temperatura afectan la composición química de los forrajes, ya que aquellos producidos bajo condiciones de sequía presentan menor digestibilidad, la luz intensa y altas temperaturas aumentan el contenido de pared celular y reduce la digestibilidad de la materia seca; la combinación de la temperatura y transpiración explica gran parte de los efectos ambientales sobre la calidad del forraje.

En otro sentido Soto (11) menciona que la calidad proteica del forraje, está relacionada directamente con la variable consumo de materia seca, lo cual es indiscutible sobre todo para forrajes de baja digestibilidad en los cuales el nivel de proteína se encuentra por debajo del 8%.

4.7. DIGESTIBILIDAD

Church y Pond (1988, 51-58) afirman que la digestibilidad es la desaparición del alimento en el aparato digestivo, sin embargo una definición más amplia incluye la absorción al mismo tiempo que la digestión. La información sobre la digestibilidad se utiliza en forma muy extensa en la nutrición de los animales, para evaluar los alimentos o estudiar la utilización de los nutrimentos, la digestibilidad es muy variable ya que un mismo alimento proporcionado a un mismo animal no siempre se digiere en la misma cantidad. Varios factores pueden alterar el grado de digestión, dentro de los cuales se encuentran el nivel de consumo del alimento, los trastornos digestivos, frecuencia de la alimentación, deficiencia de nutrimentos, procesamiento de los alimentos y otros efectos relacionados con los nutrientes (efectos no aditivos de la combinación de diferentes alimentos).

4.7.1. Factores que afectan la digestibilidad. Karp citado por Portilla, Rodriguez y Sarralde (2000, 24) afirma que uno de los factores que afecta la digestibilidad de los vegetales es la presencia de lignina en su estructura, la lignina hace parte de la pared celular la cual desempeña funciones de protección y soporte, esto por

cuanto la membrana plasmática que recubre la célula ofrece mínima protección para el contenido celular.

Para Church (1996, 318-323) existen diversos compuestos que influyen sobre el lugar, velocidad y cuantía de la digestión de los carbohidratos y otros nutrientes, así como la utilización de los mismos por el animal. La lignina es el componente químico de la fibra que se asocia con mayor fuerza en la indigestibilidad de los nutrientes y se ha demostrado su utilidad para predecir la cuantía de la digestión de la fibra, la lignificación de la materia vegetal ha sido asociada también con un bajo rendimiento de los animales. El mayor contenido de lignina está asociado con los estados avanzados de maduración de los forrajes, lo cual constituye la base para suponer que la lignificación es uno de los principales factores responsables del escaso valor nutritivo de los forrajes maduros.

Soto (14) por su parte argumenta que la digestibilidad de un pasto disminuye a medida que avanza su estado de madurez, sin embargo, el descenso en el porcentaje de digestibilidad con respecto al tiempo, no tiene un carácter lineal, pues disminuye lentamente con el desarrollo de la planta hasta que las espigas emergen en aquellos pastos que florecen ; posterior a este estado, el descenso es más acelerado y la deposición de carbohidratos estructurales es mucho más marcada.

El mismo autor (18) afirma que la edad del rebrote en praderas de kikuyo influye en la digestibilidad de los componentes verticales de la planta, como son lámina foliar, tallos y estolones. Los valores promedios de cuatro cortes en época de

verano en cuanto a digestibilidad *In vitro* de la materia seca de lámina, vaina y forraje entero fueron de 66.1, 70.5 y 67.3% respectivamente. Los contenidos de proteína fueron de 21.44, 17.5 y 20.56% respectivamente destacándose que la vaina con el porcentaje más bajo de nitrógeno presentó el mayor coeficiente de digestibilidad.

Las plantas han desarrollado rasgos estructurales para permitirles sobrevivir y reproducirse en su ambiente el cual incluye bacterias y hongos que pueden utilizar las plantas para su propio crecimiento. Sin embargo, la extensión y la velocidad a la cual actúan estos pueden ser bajas debido a las barreras defensivas que son parte de la pared celular de la planta ; estas barreras se pueden dividir en químicas y físicas, dentro de las físicas a saber :

a) Cutícula: Es indigestible y forma una barrera a la penetración de enzimas, sin embargo, es destruida durante la digestión ayudada por la masticación rompiendo el tejido en láminas y exponiendo el interior de los tejidos.

b) Ceras : Son asociadas con la superficie externa y son usualmente también indigestibles, por lo tanto necesitan ser penetradas, en una amplia extensión están relacionadas con la cutícula y son removidas con esta.

c) Vellosidades : Los pequeños pelos de la superficie de la planta a veces contienen depósitos de silicatos insolubles que ofrecen una barrera adicional a la digestión enzimática.

d) Humedad de la planta : La pared celular tiene un contenido de humedad bajo, particularmente en estados avanzados de crecimiento y este probablemente reduce la propagación y reactivación de las enzimas digestivas.

e) Lignina : Indudablemente el factor principal al determinar la digestibilidad de la pared celular de la planta es la cantidad de lignina y su distribución y asociación con otros componentes de la pared celular. La correlación negativa entre el contenido de lignina y la digestibilidad es razonablemente fuerte, pero hay diferencias entre las clases de plantas, entre especies y entre variedades.

f) Cristalización de la celulosa : Algunas celulosas se presentan estrechamente empaçadas , bien ordenadas de tal forma que opone resistencia a la penetración enzimática, por lo tanto la proporción de la celulosa ordenada en esta forma afectan la amplitud de la digestión.

g) Complejo de minerales : Principalmente de silicio y silicatos de los cuales se tiene mucho conocimiento por resistir y reducir la digestión por estar vinculados a la lignina, la proporción en que otros minerales puede estar implicada es incierta.

Dentro de los factores químicos se encuentran los ácidos fenólicos, que ocurren en asociación con la lignina y son fuertes inhibidores de las enzimas ; grupos acetílicos y otros químicos que algunas plantas contienen en cantidades relativamente altas los cuales interfieren con la actividad microbial o potencial

enzimático entre los cuales se incluyen los terpenoides, flavonoides alcaloides y compuestos aromáticos.

4.7.2. Determinación de la digestibilidad *In situ*. Church (185) afirma que la determinación de la digestibilidad mediante este método se realiza introduciendo en una bolsa de poliéster con pequeños poros el material a estudiar. Esta bolsa se suspende en el rumen durante periodos determinados de tiempo. Microbios, líquidos y productos finales de la digestión entran y salen a través de los poros. El material que desaparece de la bolsa se considera que ha sido digerido, sin embargo los resultados se hallan sometidos a errores tanto por entrada como por salida, ya que algunos componentes solubles y partículas pequeñas pueden abandonar la bolsa para ser digeridos y algunos microorganismos pueden entrar en la bolsa durante la fermentación.

Por su parte, Orskov citado por Portilla, Rodriguez y Sarralde (21) sugirió el empleo de bolsas de nylon como método rutinario para determinar la velocidad de degradación de las proteínas de los forrajes y suplementos, método en el cual un número variable de bolsas se incuban en el rumen durante diferentes periodos de tiempo, de forma que pueda reconocerse el ritmo de degradación.

El mismo autor afirma que el tamaño de la malla que se use para las bolsas debe ser tal que permita la entrada de los microorganismos ruminales y la salida de los gases producidos, pero que impida al máximo la salida de partículas del ingrediente en estudio. El tamaño recomendable de la malla de las bolsas de nylon

deberá ser de 20 a 40 μm , lo que proporciona orificios de aproximadamente 400 a 1600 μm^2 , el tamaño de las bolsas y la cantidad de la muestra serán aproximadamente de 140 por 90 mm y 3 a 5 gramos de materia seca, respectivamente, deberá procurarse el libre movimiento del material incubado de tal forma que se evite la formación de pequeños microambientes dentro de la bolsa lo que determina una baja repetibilidad de los resultados.

5. DISEÑO METODOLOGICO

5.1. LOCALIZACION

La valoración agronómica se llevó a cabo en el Centro de Investigaciones Agropecuarias y Biológicas (CIAB), ubicado en la Granja Botana, propiedad de la Universidad de Nariño, localizada a 9,0 km. al sur de la ciudad de San Juan de Pasto por la vía panamericana con una altitud de 2809 msnm una temperatura promedio de 11°C, una precipitación anual de 870 mm y una humedad relativa del 85%*.

La prueba de digestibilidad *In situ* se desarrolló en el Centro de Investigaciones Obonuco, perteneciente a la Corporación Colombiana de Investigaciones agropecuarias, localizado en el Corregimiento de Obonuco, en el municipio de San Juan de Pasto, Departamento de Nariño, a una altura de 2710 m.s.n.m., con una

* Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales. (IDEAM). Pasto, Colombia, 2001.

(comunicación personal)

precipitación anual de 840 mm, una temperatura promedio anual de 13° C y una humedad relativa de 87%.*

5.2. AREA EXPERIMENTAL

La investigación se realizó en un lote experimental de 3800 m², el cual se dividió en dos bloques de 1900 m² cada uno. Estos a su vez se subdividieron en 30 parcelas de 40 m². Entre bloques se dejó una distancia de 2m y entre parcelas de 1m, en las orillas se dejó 0.5 m para evitar el efecto borde.

5.3. EQUIPOS E INSUMOS

5.3.1. Equipos. La preparación inicial de la pradera incluyó corte del pasto con guadaña y posteriormente escarificación en el lote correspondiente con arado de chuzo el cual se adecuó con una cuchilla metálica para permitir el corte de la capa superficial del kikuyo, disturbación y aireación de la rizósfera utilizando para esto tracción animal

5.3.2. Insumos. Para la fertilización orgánica y/o mineral posterior a la labranza, se aplicó bovinaza fresca con un contenido de nitrógeno del 0.25 % (Anexo X) y

* Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales. (IDEAM). Pasto, Colombia, 2001.

(comunicación personal)

un abono comercial completo de fórmula 17-6-18-2. Las cantidades de fertilizante a aplicar se determinaron de acuerdo al análisis inicial de suelos (Anexo Y) e investigaciones preliminares, que estiman una cantidad de 100 kg de nitrógeno/hectárea/año Crespo (25).

5.4. ANIMALES

Para determinar la prueba de digestibilidad *In situ* se utilizaron tres vacas Holstein con peso promedio de 420 kg, provistas de cánula ruminal tipo T simple elaborada en acrílico, con diámetro de cuatro pulgadas y tapa en fibra.

5.5. TOMA DE MUESTRAS

5.5.1. De forraje. La toma de muestras de forraje verde se realizó cortando una muestra al azar de cada réplica con la ayuda de un marco metálico de 25 X 25 cm (0.0625 m²). El forraje cortado fue pesado, empacado en bolsa de papel y rotulado respectivamente ; previa determinación de altura de planta e índice de área foliar se llevaron las muestras a estufa a una temperatura de 75°C por 48 horas y posteriormente a 110°C por tres horas, se llevó a campana de desecación hasta peso constante, se determinó el peso, se molió y empacó en recipientes de vidrio debidamente rotulados (Apráez, 1994, 3).

5.5.2. De suelos. Las muestras de suelos se tomaron siguiendo el protocolo descrito por Mayea, Novo y Valiño (151), para lo cual inicialmente se escogió al azar el lugar de muestreo en cada réplica y después de limpiar el área superficial se excavó una trinchera a una profundidad aproximada de 20 cm. Con una espátula estéril, se procedió a tomar la cantidad de suelo necesaria y se vertió en envases de vidrio esterilizados previamente, estos envases se rotularon y se refrigeraron temperatura de 4° a 6°C para mantener su humedad original. Estas muestras se utilizaron para las determinaciones química, física y microbiológicas.

5.5.3. De desaparición *In situ*. La remoción de las bolsas se realizó a medida que se cumplían los tiempos programados ; las bolsas se sumergieron en agua fría, para detener todo proceso de degradación, se lavaron con chorro de agua limpia hasta que esta saliera transparente. Las bolsas se llevaron a estufa a una temperatura de 60° C, hasta peso constante, luego se enfriaron en una campana de desecación por 20 minutos, se pesaron y se registró la información obtenida, posteriormente se clasificaron las muestras de acuerdo al tratamiento y al tiempo de incubación y se colocaron en recipientes previamente rotulados.

5.6. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las diferentes muestras tanto de forraje como de suelos y muestras post-incubación fueron procesadas en los laboratorios de nutrición animal, suelos y microbiología de la Universidad de Nariño Sede Toro Bajo.

5.7. QUÍMICA DE SUELOS

Los parámetros químicos y físicos se determinaron siguiendo la metodología reportada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 1995, 150-185) como sigue:

5.7.1. pH. Método potenciométrico, relación 1:1

5.7.2. Materia orgánica. Por oxidación con dicromato de potasio y Walkley Black colorimétrico.

5.7.3. Nitrógeno total. Se calculó con base en la materia orgánica mediante la fórmula : $\%N = 0.014497 + 0.044757 (\% \text{materia orgánica}) - 0.000597 (\% \text{materia orgánica})^2$

5.7.4. Fósforo disponible. Por el método de Bray II y Kurtz.

5.7.5. Potasio de cambio. mediante el método del acetato de amonio 1N a pH neutro y absorción atómica.

5.7.6. Nitratos y nitritos. Por el método del ácido cromotrópico y colorimétrico.

5.8. FÍSICA DE SUELOS

5.8.1. Densidad aparente . Por el método del cilindro graduado de Abel Gonzalez.

5.8.2. Densidad real. Por el método del picnómetro.

5.8.3. Porosidad total. Se determinó teniendo en cuenta la relación:
Porosidad=100 (1-densidad aparente/densidad real).

5.8.4. Capacidad de campo. Por el método de Columnas de Chapingo.

5.9. MICROBIOLOGÍA DE SUELOS

La determinación de las variables microbiológicas se realizó según la metodología descrita por Mayea, Novo y Valiño (373-409) e IGAC, (2-502).

El conteo de bacterias totales, hongos y actinomicetos se realizó mediante el método de observación indirecto por medio de la siembra de una muestra diluida de suelo en cajas de Petri con medios específicos. Previamente se realizó una solución madre de suelo la cual se utilizó para las diferentes determinaciones.

5.9.1. Número total de bacterias. El medio de cultivo utilizado para determinar esta variable fue el Thornton (Anexo W), al que se añadió un ml de suspensión -

dilución desde 10^{-4} a 10^{-8} Posteriormente, se llevó a incubación a 28°C . La lectura se realizó a partir del tercer día.

5.9.2. Hongos. Se añadió 1ml de las disoluciones 10^{-2} a 10^{-7} a las cajas de Petri estériles y se vertió 10 ml de agar Czapek-dox (Anexo W) y se procedió igual que para el conteo de bacterias totales. El conteo se realizó al día 7 .

5.9.3. Actinomicetos. Para su determinación se añadió 1 ml de las disoluciones 10^{-3} a 10^{-7} a cajas de Petri estériles, se vertió 10ml de medio agar almidón (Anexo W) y se procedió de igual manera que en los anteriores. La lectura se realizó a los 7 días de incubación.

Al término de el periodo de incubación se procedió al conteo de las colonias, para lo cual se tomaron en cuenta aquellas repeticiones donde se desarrollaron entre 30 y 300 colonias, descartando las cantidades superiores e inferiores como también las colonias con apariencia fungosa o turbia con dificultad para la observación. Para la estimación del número de colonias se utilizó la siguiente fórmula :

Número de gérmenes por gramo de suelo = $(L \times 10^N) / Pm \times \text{ml de inóculo}$

Donde :

L = Lectura, número promedio de colonias en las cajas de petri con la disolución elegida

N = Exponente de la dilución considerada

Pm = Peso de la muestra en gramos de base seca

ml = Mililitros utilizados para el inóculo.

5.9.4. Bacterias nitrificantes. Para variable se cuantificaron por separado los gérmenes nitrosos y los nítricos ; el total de bacterias nitrificantes corresponde a la suma de dichos gérmenes.

a) Gérmenes nitrosos: El medio de cultivo estéril (Anexo W) se inoculó con 0.5 ml de las suspensiones - diluciones de 10^{-1} a 10^{-6} y se incubó a 28°C por 28 días, la presencia en cada tubo de nitritos o de nitratos se estableció por medio de ácido sulfúrico o difenilamina.

b) Gérmenes nítricos: Para su identificación, se siguió el mismo procedimiento anterior pero además, se adicionó 50 mg de urea a cada tubo, considerando positivos aquellos tubos que presentaron una coloración azul intensa debido a la presencia de nitratos..

Para cada caso se determinó el número más probable de gérmenes por gramo de suelo de acuerdo a la tabla de Mac Crady (IGAC, 421)

5.9.5. Bacterias desnitrificantes. Una vez esterilizado el medio (Anexo W) se inoculó suspensiones diluciones de 10^{-1} a 10^{-8} , posteriormente se llevaron a incubación a 28°C . La lectura de resultados se realizó a los días 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 12 y 15 se hizo a cada tubo la prueba para nitratos contando como positivos

aquellos tubos que dan negativo a esta prueba. El número de gérmenes por gramo de suelo se determinó de acuerdo con las tablas de Mc Crady (IGAC, 421).

5.9.6. Bacterias solubilizadoras de fósforo. Se utilizó un medio a base de $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ como única fuente de fósforo, se agregó suficiente cantidad del medio seleccionado y se incubó a 37°C durante 72 horas haciendo observaciones diarias (Novo *et al*, 1995, 57-96).

5.9.7. Número de lombrices. Se realizó simultáneamente con la toma de con la toma de muestras para las otras determinaciones.

5.10. PRUEBA AGRONÓMICA

5.10.1. Producción de biomasa seca. La biomasa seca se determinó por medio de análisis proximal de Weende según la metodología descrita por la Official Association Analysis Center (AOAC, 1995, 76-80)

5.10.2. Índice de Area foliar (IAF). Para el cálculo de esta variable se tuvo en cuenta la metodología propuesta por Bernal (23) según el cual, de las hojas intermedias se debe tomar un centímetro y pesarlo, con base en la producción de biomasa y la relación hoja:tallo se calcula el índice.

5.10.3. Altura de plantas. Se midió la longitud de las plantas desde el cuello de la raíz hasta la punta de la hoja más larga.

5.10.4. Profundidad radicular. La medición se realizó excavando el horizonte agrícola del suelo en forma perpendicular hasta encontrar las puntas de las raíces más largas.

5.10.5. Periodo de recuperación. Esta variable se determinó teniendo en cuenta el estado “abanderado” del pasto, con la finalidad de realizar el corte en estado de mayor crecimiento de acuerdo a lo recomendado por Peña (153).

5.11. VALORACIÓN BROMATOLÓGICA

La valoración bromatológica se realizó mediante análisis proximal de Weende para materia seca, de Kedjhal para proteína (AOAC, 78), y de Van Soest para fibra (FDN, FDA, hemicelulosa y celulosa), la energía bruta se determinó por el método calorímetro.

5.12. PRUEBA DE DIGESTIBILIDAD *In situ*

La digestibilidad *In situ* de la materia seca, proteína cruda, FDN, FDA, celulosa, hemicelulosa y lignina se determinaron por el método de la bolsa de nylon de acuerdo a la metodología descrita por Orskov (1982, 53-56), la valoración y

análisis de las muestras se realizó en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad de Nariño.

Las bolsas se colocaron en los animales fistulados organizadas e identificadas de acuerdo al tratamiento y corte a los cuales pertenecían las muestras, se ataron a cuerdas de fibra sintética de diferentes colores para facilitar su identificación. La longitud de la cuerda fue adecuada para permitir el movimiento libre de las bolsas en el medio líquido y sólido del rumen y asegurarlas a la tapa de la cánula.

5.13. Análisis económico. Para establecer la viabilidad económica de los factores en estudio, se seguirá la metodología para la evaluación económica de proyectos de investigaciones agropecuarias propuesta por Cino y De Armas (1996, 35) que para este caso se utilice la valoración costo:beneficio, considerando únicamente aquellos factores económicos que difieren entre los tratamientos, manteniendo estables aquellos que le son comunes.

5.14. TRATAMIENTOS

Los bloques designados para las pruebas agronómica, bromatológica y de suelos fueron :

L0 = Labranza cero

LM= Labranza mínima

Los tratamientos se representan por :

T0 = Cero orgánico ; cero mineral

T1 = 100% orgánico ; cero mineral

T2 = 75% orgánico ; 25% mineral

T3 = 50% orgánico ; 50% mineral

T4 = 25% orgánico ; 75% mineral

T5 = cero orgánico ; 100% mineral

Cada tratamiento con cinco réplicas.

5.15. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANALISIS ESTADISTICO

Para las citadas pruebas, se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas para dos factores ; sistemas de labranza y fertilización.

La evaluación de la digestibilidad *In situ* se realizó mediante un diseño de bloques al azar con arreglo factorial para tres factores ; tratamientos, labranza y corte.

Una vez obtenida la base de datos provenientes de las diferentes pruebas realizadas se realizó la prueba de homocedasticidad para comprobar la homogeneidad de varianzas en las observaciones, en los casos donde se detectó la no distribución normal de los datos se realizó transformación a raíz de X y

logaritmo para aquellas variables menores de 500 y las que sobrepasan este valor respectivamente. Sin embargo la discusión de los resultados se realizó en base a los datos reales (Martinez 1994, 99; Castañeda, 1990, 58)

La información obtenida se procesó con el programa S.A.S (Statistical Analysis System) ; el análisis se hizo mediante los procedimientos de análisis de varianza ; la comparación de medias para efectos simples y las interacciones se realizaron mediante la prueba de Tukey.

5.15.1. Planteamiento de hipótesis.

a) Hipótesis nula : $H_0 = \mu = \mu_2 = \dots \mu_T$; La media de los tratamientos es igual. No hay efecto de la labranza y la fertilización sobre la producción y valor nutritivo del pasto kikuyo.

b) Hipótesis alterna : $H_a = \mu = \mu_2 = \dots \mu_T$; La media de los tratamientos no es igual. La fertilización y labranza afectan estadísticamente la producción y valor nutritivo del pasto kikuyo.

5.15.2. Modelos propuestos. Para la respuesta del suelo, agronómicas y bromatológicas del forraje se propuso el siguiente modelo :

$$Y_{ijkl} = U + B_i + L_j + F_k + (L.F)_{jk} + E_{ijkl}$$

Donde :

Y_{ijkl} = respuesta del forraje

U = media de los tratamientos

B_i = efecto del bloque

L_j = efecto de la labranza (parcela grande)

F_k = efecto de la fertilización (parcela pequeña)

$(L.F)_{jk}$ = interacción entre labranza y fertilización

E_{ijkl} = error

Para la valoración de la digestibilidad *In situ* :

$$Y_{ijklm} = U + T_i + F_j + C_k + (TF)_{ij} + (TC)_{ik} + (FC)_{jk} + (TFC)_{ijk} + E_{ijklm}$$

Donde :

Y_{ijklm} = digestibilidad del forraje

U = media de los tratamientos

T_i = efecto del tratamiento

F_j = efecto de la labranza

C_k = efecto del corte

$(TF)_{ij}$ = interacción tratamiento * labranza

$(TC)_{ik}$ = interacción tratamiento * corte

$(FC)_{jk}$ = interacción labranza * corte

$(TFC)_{ijk}$ = interacción tratamiento * corte * labranza

E_{ijklm} = error

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. VARIABLES EDÁFICAS

6.1.1. Química de suelos

6.1.1.1. pH. La Tabla 2 y Figura 1 resumen los resultados para esta variable, el análisis de varianza (Anexo A), mostró que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) para los tratamientos, los sistemas de labranza y la interacción no presentaron diferencias. El valor más alto ($P < 0.05$) se observó en el T0L0, estadísticamente diferente a los demás con un pH de 6.5, mientras que el pH más bajo lo presentó el T2LM con 5.7.

Según Guerrero (1998, 24), el rango de pH encontrado en esta investigación se puede clasificar como ligeramente ácido, confiriéndole al suelo condiciones adecuadas para el cultivo del kikuyo.

Los sistemas de labranza y la interacción no presentaron diferencias estadísticas lo cual permite afirmar que la escarificación del horizonte superficial no afectó significativamente el pH y los niveles de fertilización actuaron

independientemente del tipo de labranza aplicada, corroborando lo afirmado por Muñoz y Alvarado (1980, 93); Demolon (1967, 367), según los cuales los suelos de puntos próximos pueden presentar diferencias de pH alcanzando hasta una unidad a lo cual denominan “microheterogeneidad”.

Además de lo anterior las variaciones observadas pueden obedecer a que los compuestos orgánicos o uréicos tuvieron un efecto inmediato diferente a la reacción final con elevación pasajera del pH debido a la amonización ó quizá porque las gramíneas son capaces de acidificarlo especialmente en la rizósfera como consecuencia del CO_2 desprendido (Demolon, 110).

6.1.1.2. Nitrógeno Total. La Tabla 2 y Figura 2 presentan los datos correspondientes a esta variable. El análisis de varianza (Anexo A), indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) tanto para sistemas de labranza como para niveles de fertilización y la interacción entre las anteriores.

Los tratamientos T4LM y T2LM con 0.7 y 0.61% presentaron los valores más altos ($P < 0.05$), mientras los tratamientos T0LM y T0L0 con 0.4 y 0.45% respectivamente fueron los más bajos.

Guerrero (87) sostiene que en suelos de clima frío se considera al nitrógeno total en niveles menores a 0.25% como bajo, entre 0.25 y 0.5% como medio y mayor de 0.5% como alto, teniendo en cuenta lo anterior se puede afirmar que los

niveles de nitrógeno total obtenidos en esta investigación se encuentran en un rango medio - alto.

Se observó un efecto positivo tanto del sistema de labranza mínima como de los niveles de fertilización, evidenciando la interacción entre estos dos factores,

debido a que la aireación del horizonte superficial incrementó la actividad microbial responsable de las funciones de nitrificación, adicionalmente, el nitrógeno presente en el horizonte superior normalmente es de origen orgánico, razón por la cual los procesos de acumulación del nitrógeno esta íntimamente relacionada con la acumulación de materia orgánica (Burbano, 1998, 287).

Sin embargo, teniendo en cuenta las mayores producciones de forraje obtenidas bajo labranza mínima se esperaría que los niveles de nitrógeno total en el suelo fueran menores en el bloque bajo este sistema de labranza como consecuencia de su extracción a lo largo del periodo experimental, efecto que no se observó, quizá porque buena parte del nitrógeno se encontraba en proceso de mineralización y por ello su liberación se hizo en forma gradual a través del tiempo (Crespo, 56).

Al respecto Gros (116) argumenta que la aptitud del suelo para suministrar nitrógeno mineral a los cultivos depende evidentemente de la importancia de las reservas orgánicas pero también de la profundidad y aireación del suelo que condicionan la actividad microbiana responsable de la reorganización del nitrógeno que se lleva a cabo cuando se adicionan fertilizantes ya sea orgánicos o minerales; la relación carbono / nitrógeno presente en estos fertilizantes juega un papel decisivo en dicha reorganización ya que si es muy alta (>30) el nitrógeno puede quedar inmovilizado temporalmente por los microorganismos afectando el desarrollo normal de la planta.

Lo anterior deja implícita la importancia de la incorporación del fertilizante ya sea orgánico o mineral mediante el rompimiento y aireación del horizonte agrícola ya que así se evita en buena medida las pérdidas ocasionadas por volatilización.

6.1.1.3. Fósforo disponible. Los datos correspondientes a esta variable se presentan en la Tabla 2 y Figura 3. El análisis de varianza (Anexo A), indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización e interacción.

Los mayores niveles de fósforo ($P < 0.05$), se obtuvieron en los tratamientos T4LM, T5LM y T1LM con 14, 12 y 11.9 ppm respectivamente, en tanto que los menores valores se encontraron en T3LM, T2LM, T0LM y T0L0 con 3.8, 6.4, 5.7 y 6.4 ppm respectivamente.

Todos los valores encontrados son inferiores a 15 ppm, cantidad que es considerada como baja según la clasificación propuesta para suelos de clima frío por Guerrero (1980, 87).

Posiblemente, los mayores niveles de fósforo obtenidos se deben al fósforo

residual que aun no ha sido utilizado por la planta, quizá por encontrarse en un proceso de mineralización o inmovilizado por los microorganismos en el suelo, lo que hace que la fracción soluble del suelo disponga de este elemento y sea tomado por la raíz en forma lenta (Gros, 118).

Al respecto, Cadavid y Vallejo (27) comentan que buena parte de este elemento puede encontrarse inmovilizado, especialmente aquel de origen nativo y el aportado por el fertilizante orgánico, debido a la baja tasa de mineralización de los fosfatos orgánicos, lo que explicaría el valor obtenido en el tratamiento T1LM.

Por otra parte, las cantidades relativamente superiores de fósforo para los tratamientos T1, T4 y T5 bajo labranza mínima pueden explicarse por la profundización y actividad radicular por medio de la cual se extraen compuestos fosfóricos hasta de las capas más profundas los cuales se combinan con los residuos vegetales y se acumulan en la capa superficial principalmente, sin embargo, este comportamiento no fue similar en los tratamientos T2LM y T3LM, quizá en estos el fósforo encontrado estuvo condicionado principalmente por el contenido fitatos en la roca formadora del suelo (Whitehead, 1970, 198; Jacob, 1967, 80).

6.1.1.4. Potasio de cambio. Los datos correspondientes a esta variable se presentan en la Tabla 2 y Figura 4. El análisis de varianza (Anexo A) indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para los sistemas de labranza, niveles de fertilización y la interacción.

Los tratamientos T2L0 y T1L0 presentaron los mayores valores ($P < 0.05$), con 4.6 meq/100g para cada uno, mientras que el menor valor se obtuvo en el tratamiento T3LM con 2.0 meq/100g.

Se observó en el bloque bajo labranza mínima una tendencia a presentar las concentraciones más bajas de potasio, lo cual posiblemente se debió a que con esta labor se mejoró en parte la extracción de este elemento por parte de la planta. Adicionalmente, Luna y Suarez (1978, 96) afirman que los contenidos de potasio en los suelos presentan una relación directa con la incorporación y disponibilidad de nitrógeno el cual ejerce una influencia decisiva sobre su accesibilidad y extracción.

Por otra parte, los altos valores obtenidos en el bloque sin labranza probablemente obedecen a que su deficiente humedad y aireación, redujo la asimilación de este elemento en virtud a la poca profundidad de raíz haciendo que el potasio sea físicamente poco accesible para la planta en los tratamientos ubicados en este bloque (Jacob, 99).

6.1.1.5. Materia Orgánica. Los datos correspondientes a esta variable se presentan en la Tabla 2 y Figura 5. El análisis de varianza (Anexo A), indica que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) para la interacción. Los sistemas de labranza y niveles de fertilización en forma individual no presentaron diferencias.

Todos los tratamientos fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$), correspondiendo los mayores promedios a los tratamientos T1LM, seguido del T2LM y el T3LM con 22, 17.1 y 14.3% respectivamente. El tratamiento T0L0 obtuvo el menor promedio con 10.57%.

Los niveles de materia orgánica obtenidos se clasifican dentro de un rango alto según la ponderación propuesta por Guerrero (87), quien sostiene que los porcentajes de materia orgánica en clima frío menores de 5% se clasifican como bajos, entre 5 y 10% como medios y mayores de 10% como altos.

Los valores obtenidos por los tratamientos T1LM y T2LM posiblemente se deben a la materia orgánica aplicada, sin embargo, no se observó resultados similares en los tratamientos 1 y 2 sin labranza, debido quizá a que la aplicación superficial del material orgánico y el fieltro superficial del pasto dificultó su incorporación al suelo, adicionalmente, en el bloque bajo labranza mínima el pase del arado extrajo material vegetal como raíces y estolones que pueden haberse incorporado al componente orgánico aumentando su fracción porcentual (Gros, 107).

Al respecto Crespo (6) comenta que los porcentajes de materia orgánica del suelo pueden incrementarse con la adición de cantidades importantes de materia orgánica de fácil descomposición, como el estiércol de bovino, sin embargo se debe tener cuidado con la forma de aplicación ya que el suministro en cobertera y en forma líquida puede rebajar la difusión gaseosa entre el suelo y el aire por la formación de una costra superficial bloqueando dicha difusión, lo cual se evita en gran medida mediante la incorporación del estiércol a profundidades entre 10 y 15 cm.

Otro argumento que refuerza las ventajas del arado sobre la incorporación de la materia orgánica son los beneficios obtenidos sobre las propiedades físicas, lo

cual se reflejó en una mayor producción de biomasa, por efecto un a mayor solubilidad y disponibilidad de nutrientes.

6.1.1.6. Nitratos. En la Tabla 2 y Figura 6 se presentan los datos correspondientes a esta variable. El análisis de varianza (Anexo A), indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización e interacción.

Se encontró un evidente incremento en la concentración de nitratos cuando se realizó disturbación de la rizósfera sobresaliendo los tratamientos T2LM con 126.9, seguido del T4LM y T5LM con 82.6 ppm para ambos tratamientos ($P < 0.05$). Los tratamientos sin labranza presentaron valores mínimos menores de 2 ppm.

Orozco (1996, 11) encontró concentraciones de nitratos de 92.3 ppm en suelos fertilizados con porquinaza con aplicaciones mensuales por un periodo de 15 meses, observando un proceso acumulativo atribuido probablemente al desbalance existente entre los procesos de nitrificación en el suelo y la tasa de asimilación en la planta.

El significativo incremento de los nitratos en el lote laboreado puede explicarse bajo dos puntos de vista: Tandom y Dar citados por Jurado y Jurado (3) afirman que un suelo con la superficie expuesta a la luz del sol, puede acumular nitratos por medio de un proceso de fotonitrificación muy complejo.

Alternativamente se expone la hipótesis según la cual la acumulación de nitratos se atribuye esencialmente a los factores estacionales de precipitación y humedad del suelo, además de la actividad nitrificante de las bacterias responsables de estas funciones (Burbano, 243), teoría que satisface más el comportamiento observado en esta investigación, ya que el análisis microbiológico de suelos corrobora el aumento de la actividad nitrificante estimulada por la aireación del horizonte superficial e incorporación de materia orgánica al mismo.

6.1.2. Física de suelos

6.1.2.1. Densidad Aparente. Los datos para esta variable se resumen en la Tabla 3 y Figura 7. El análisis de varianza (Anexo B), indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización y la interacción.

Los menores promedios ($P < 0.05$), se obtuvieron en los tratamientos T2LM seguido del T1LM y el T3LM con 0.62, 0.70 y 0.73 g/cc respectivamente, el mayor valor se encontró en el T0L0 con 0.82 g/cc.

Los valores encontrados para esta variable se encuentran por debajo de los reportados por Rodriguez (31), quien afirma que valores de densidad aparente comprendidas entre 1.1 y 1.4 g/cc pueden considerarse como óptimas para el crecimiento de la mayoría de los cultivos y son un indicativo confiable del buen estado estructural del suelo Bernal (62).

Los menores valores obtenidos en el bloque bajo labranza mínima, posiblemente obedecen a que la remoción de la capa superficial permitió una reorganización de los poros incrementando la presencia de oxígeno, lo cual hace que el volumen del suelo aumente y su peso disminuya, sin embargo, esto puede estar en función de los implementos y presión de laboreo de las tierras (Grillo y Camero, 72).

Se observó también un efecto favorable en esta variable al incorporar materia orgánica al suelo, posiblemente, la interacción positiva entre sistemas de labranza y fertilización mejoró la distribución de los agregados del suelo al entrar en contacto directo con el estiércol aplicado (Castro, 52).

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que la toma de muestras de suelo para esta determinación se realizó entre 10 y 20 cm donde el contenido de materia orgánica es mayor, como también el estado de granulación con lo cual el número de macroporos aumenta el volumen aparente, lo cual pudo haber incidido en los resultados para esta variable.

6.1.2.2. Densidad Real. En la Tabla 3 y Figura 8 se aprecian los datos para esta variable. El ANOVA (Anexo B) mostró que no existen diferencias estadísticas para las fuentes de variación.

Herrera y Amezcua (1989, 29) encontraron una densidad real de 2.31 g/cc en un suelo bajo labranza mínima con 2 pases de rastrillo de discos. Grillo y Camero

(73) encontraron que los valores de densidad real son difíciles de alterar ya que esta variable se relaciona con las características mineralógicas del material parental, sin embargo la erosión y excesiva compactación puede lograrlo a largo plazo.

Adicionalmente, Cairo y Quintero (169) afirman que la densidad real de la capa arable puede estar influenciada por la cuantía de elementos orgánicos presentes en ella, es así como en suelos minerales con porcentajes menores al 3% de materia orgánica pueden presentar normalmente valores de densidad real entre 2.6 y 2.7 g/cc, mientras que en suelos con bastante materia orgánica estos pueden ser menores a 2.4 g/cc.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede suponer que los valores encontrados en este trabajo se encuentran en un término medio debido a la estructura franco arenosa que presentó el suelo en estudio con distribución equilibrada entre material mineral y orgánico, pese a que la aplicación de estiércol y el sistema de labranza aplicados no incidieron significativamente sobre esta variable.

6.1.2.3. Porosidad. Los datos correspondientes a esta variable se presentan en la Tabla 3 y Figura 9. El análisis de varianza (Anexo B), indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización e interacción. El tratamiento T1LM fue significativamente ($P < 0.05$) diferente a los demás tratamientos presentando el promedio más alto con 70%, en tanto que el valor más bajo se obtuvo en el T0L0 con 62.4%.

Castro (42) encontró con tres pases de rastrillo de discos porosidades de 59, 56 y 51%, determinadas a 5, 10 y 15 cm de profundidad respectivamente deduciendo que la porosidad presenta relación inversa con la profundidad de muestreo.

Los porcentajes de porosidad total obtenidos en esta investigación son considerados como adecuados para el crecimiento favorable de los cultivos ya que según Baver (1973, 196), porosidades mayores o iguales al 50% son consideradas óptimas, mientras que las menores al 10% dificultan la dinámica de intercambio de gases y agua como también el crecimiento y profundización de las raíces.

En líneas generales se observó que los lotes donde se realizó labranza mínima presentaron mayores porcentajes de porosidad total, además el tratamiento T1LM, corrobora la interacción labranza por fertilización ya que el estiércol adicionado a este tratamiento posiblemente, fue adecuadamente incorporado al suelo a través de su aplicación en fresco y sobre la línea de labranza, lo cual quizá aumentó la

porosidad total del suelo al incrementar el espacio ocupado por macro y micro poros (Castro, 41).

Gros (58) concuerda con lo anterior al afirmar que el abonado en profundidad con estiércol es más ventajoso que la aplicación superficial por su agregación más rápida al horizonte cultural, la aplicación superficial por su parte produce muy bajos o nulos resultados en las mejoras físicas del suelo ya que generalmente el material aplicado se momifica perdiendo su calidad nutritiva y de mejorador estructural, por lo cual posiblemente el T0L0 tuvo también rendimientos pobres en biomasa.

Por otra parte, el incremento en la porosidad pudo haber influenciado una mayor solubilización y disponibilidad de los fertilizantes aplicados, por el aumento de la dinámica de transporte líquido y gaseoso necesarios para que el sistema radicular tome los nutrientes del suelo y sean traslocados a los tejidos de la planta (Herrera y Amezquita, 32).

6.1.2.4. Capacidad de Campo. Los datos correspondientes a esta variable se presentan en la Tabla 3 y Figura 10. El análisis de varianza (Anexo B), indica que

existen diferencias significativas para los tratamientos y la interacción, los sistemas de labranza no presentaron diferencias.

Los tratamientos T3LM y T1LM presentaron los mayores promedios ($P < 0.05$) con 61.48 y 60.19% respectivamente, en tanto que el menor valor se obtuvo en el T5L0 con 44.4%.

Jurado y Jurado (46) encontraron valores para capacidad de campo de 29.7 y 53.08%, mediciones realizadas en periodo seco y húmedo respectivamente.

Los mayores valores encontrados en los tratamientos T3LM y T1LM se atribuyen posiblemente al efecto aportado por la materia orgánica por sus capacidades de absorción y retención de humedad, por otro lado el incremento de la porosidad en el T1LM, quizá influyó en una mayor capacidad de campo debido a un mayor espacio poroso el cual en su momento fue ocupado por el agua (Benitez *et al.*, 1983, 88).

Por otra parte el efecto de la labranza mínima posiblemente influyó sobre esta variable, ya que con la disturbación de la rizósfera realizado con el pase del arado, se ocasionó un reordenamiento de los poros y esponjamiento de la capa superficial del suelo incrementando el espacio entre los agregados disponible para albergar agua (Castro, 63).

Adicionalmente, la capacidad de campo puede estar determinada por las características texturales del horizonte del suelo, es así como en suelos arcillosos se ha encontrado porcentajes superiores al 80% mientras que en los arenosos pueden ser inferiores al 15%, casos en los cuales la materia orgánica entraría a

desempeñar un papel de regulador de la humedad aumentando su retención en suelos arenosos y permeabilidad en suelos arcillosos (Chamorro, 63).

Lo anterior justifica los valores adecuados obtenidos en esta investigación ya que todas las parcelas en el lote experimental presentaron una textura franco arenosa permitiendo una medición más uniforme de la capacidad de campo, observando con mayor claridad los efectos atribuidos a los sistemas de labranza y niveles de fertilización y que a su vez se reflejan en la producción de biomasa del pasto.

Por otra parte se puede mencionar el efecto complementario que se busca al combinar fuentes de nitrógeno mineral y orgánico, ya que la fracción orgánica al aumentar la capacidad de campo, evita en buena medida que los nutrientes aportados por la parte mineral se pierdan por lixiviación, por medio de su retención en la solución del agua capilar alojada en los poros.

6.1.2.5. Textura. Todas las parcelas del lote experimental se clasificaron en un grado textural franco - arenoso tanto en el análisis inicial como en el final, significando esto que ni la fertilización ni la labranza lograron modificarla.

Baver (165), al respecto sostiene que la textura de un suelo es difícilmente modificable mediante labores culturales, aunque la adición de materiales orgánicos y enmiendas calizas pueden alterar en bajo grado esta propiedad a lo largo de varios años de constante aplicación.

La textura del suelo según Cairo y Quintero (114), es una propiedad física de difícil alteración la cual depende de sus constituyentes granulométricos quienes aportan con sus propiedades, sus buenas cualidades y/o defectos, determinando así los rendimientos agrícolas de un suelo, tales como facilidad de abastecimiento de nutrientes para la planta, adecuada relación agua : aire, facilidad de laboreo y condiciones de anclaje y crecimiento de raíces entre otras.

6.1.3. Microbiología de suelos

6.1.3.1. Bacterias totales. Los datos obtenidos para esta variable se consignan en la Tabla 4 y Figura 11. El análisis de varianza, (Anexo C) reveló que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización y la interacción de las anteriores.

Todos los tratamientos fueron diferentes estadísticamente, ($P < 0,05$), las poblaciones más altas se encontraron en los tratamientos T1LM con 47×10^8 , seguido del T3LM con 44×10^8 microorganismos por gramo de suelo seco (mo/g/s.s). Las poblaciones más bajas se obtuvieron en el tratamiento T0L0, con 9.9×10^8 mo/g/s.s.

Los valores obtenidos son superiores a los reportados por Burbano (86), quien sustenta que en líneas generales, un gramo de suelo seco puede albergar algo más de 1×10^9 microorganismos bacteriales, incluyendo todos los grupos morfológicos y funcionales tales como *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Thiobacillus*, *Arthrobacter*, *Azotobacter* y *Pseudomonas* entre otros.

Las mayores poblaciones bacteriales encontradas en los tratamientos T1LM y T3LM, posiblemente se deben a la materia orgánica incorporada en la rizósfera, y su aporte nutritivo produciendo un aumento en el volumen de la población zimógena, especialmente de aquellas bacterias de naturaleza heterotróficas y quimioheterotróficas, las cuales emplean carbono para su síntesis celular (Barbosa y Posada 1994, 28).

Al respecto, Burbano (115) afirma que el aporte nutritivo, de la materia orgánica puede ser de mayor importancia en la medida que esta se incorpore directamente a la rizósfera, ya que así los microorganismos heterotróficos responsables de su descomposición, tendrán fácil acceso a los compuestos orgánicos adicionados, promoviendo el aumento en el volumen de su población cuando los factores ambientales son adecuados, hecho que se evidenció con la interacción positiva ($P < 0.01$) entre fertilización orgánica y labranza mínima encontrada en esta investigación.

Los conteos bacteriales en el T0L0, fueron menores ($P < 0,05$) a los demás tratamientos, posiblemente, este tratamiento presentó condiciones menos favorables para estos microorganismos especialmente por deficiencia en nutrientes y poca aireación, la población encontrada en este tratamiento pudo incluir los microorganismos nativos adaptados a estas condiciones, quienes obtienen su energía a partir de tejido radicular muerto y bacterias autótrofas que dependen de compuestos inorgánicos como fuentes energéticas (Orozco, 79).

Por otra parte Burbano (115) menciona que la relación aireación - humedad del suelo es determinante en la cuantía de la población bacteriana pudiendo ser mínima cuando se presentan extremos, puesto que el exceso de agua podría ocupar gran parte del espacio poroso desplazando al oxígeno y limitando la difusión de gases, las poblaciones bacterianas parecen alcanzar su mayor número cuando el espacio poroso se encuentra ocupado por agua en un 60% y con una capacidad de campo que le permita mantener esta humedad por largo tiempo, lo cual ratifica los resultados obtenidos en los tratamientos T3LM y T1LM que presentaron la mayor capacidad de campo con 60 y 61.4% respectivamente (Tabla 3).

Aparentemente el pH no incidió el crecimiento bacteriano, posiblemente debido a que el rango encontrado en esta investigación (5.7 y 6.5, Tabla 2) se considera adecuado para el normal desempeño funcional, y reproductivo de la mayoría de microorganismos bacterianos. Las condiciones altamente ácidas o alcalinas tienden a inhibir ciertos grupos de bacterias en el suelo y promover el crecimiento de otros (Burges, 143)

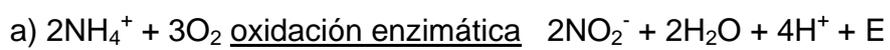
6.1.3.2. Bacterias nitrificantes. Los conteos de bacterias nitrificantes se resumen en la Tabla 4 y Figura 12. El análisis de varianza, (Anexo C) reveló que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización y la interacción de las anteriores.

Los tratamientos T3LM, T4LM, T5LM y T1LM, fueron estadísticamente superiores ($P < 0,05$), con promedios de 217.5×10^3 , 163.2×10^3 , 140×10^3 y 110×10^3 mo/g/s.s. Los menores promedios se encontraron en los tratamientos T4L0, T2L0, T3L0, T0LM y T0L0 con valores de 8.7×10^3 , 13.5×10^3 , 14.7×10^3 , 24.4×10^3 y 35×10^3 respectivamente.

Se observó un marcado efecto de la labranza y niveles de fertilización sobre esta variable, la interacción positiva ($P < 0.01$) entre estos dos factores, probablemente incrementó la población nitrificadora debido a los beneficios aportados por la aireación superficial y la incorporación de la materia orgánica al horizonte agrícola ya mencionados.

Al respecto Orozco (77) dice que el volumen de bacterias de especificidad nitrificadora (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*) están determinadas por las condiciones de aireación, humedad y nutrientes en el suelo. La presencia de oxígeno es de vital importancia debido a la funcionalidad aerobia estricta de estas bacterias, puesto que interviene en las reacciones de oxidación enzimática

del amonio en su conversión a nitrito y posteriormente a nitrato bajo las siguientes reacciones :





donde cada reacción es llevada a cabo por bacterias específicas, es así como en la primera reacción actúan las *Nitrosomonas*, que oxidan el amonio produciendo nitrito, mientras que en la segunda actúan las *Nitrobacter* que toman el nitrito de la reacción anterior y lo oxidan para producir nitrato forma en la cual la mayoría de plantas aprovechan el nitrógeno, el paso transitorio del nitrito es fugaz, ya que es oxidado en su totalidad por las nitrobacterias.

Garcia (2001, 34) hace énfasis en relación con el contenido nutritivo del suelo y la población de bacterias nitrificantes, puesto que estas bacterias de carácter quimioautotrófico necesitan como nutrientes: CO_2 , oxígeno y NH_4^+ para vivir, más no materia orgánica como tal, de hecho esta es tóxica para las nitrosomonas, por consiguiente su mayor desarrollo se presenta cuando la materia orgánica ha sido atacada previamente por otros microorganismos heterotróficos y quimioheterotróficos.

El mismo autor (37), menciona que las bacterias que degradan los restos orgánicos y las que llevan a cabo la nitrificación, son completamente distintas y tienen necesidades diferentes ; para las primeras es esencial la materia orgánica y para las segundas constituye un veneno, todas requieren oxígeno, pero las primeras son más capaces de absorberlo que las nitrificantes, por lo cual si la concentración de oxígeno es baja las *Nitrosomonas* y sobre todo las *Nitrobacter* no pueden sobrevivir.

Las anteriores consideraciones ponen de manifiesto que la actuación de estos tipos de bacterias es secuencial más no simultánea y posiblemente en esta investigación la determinación de esta variable coincidió con estados avanzados de mineralización y cierto grado de estabilización, por lo cual los tratamientos donde se incorporó materia orgánica presentaron poblaciones altas, de las cuales las *Nitrosomonas* pueden haber ocupado un mayor porcentaje.

Para Burbano (86), la población de bacterias nitrificantes en los suelos, ciertamente es muy pequeña, pero queda compensada su reducida representación por la gran importancia de sus funciones, generalmente estos microorganismos son de carácter quimioautótrofos obligados, razón por la cual pueden existir bajo el cumplimiento exclusivo de sus funciones de oxidación del amonio y el nitrito.

Por otra parte, la mayor acumulación de nitratos encontrada en el suelo bajo labranza mínima, (Tabla 4.) corrobora una mayor actividad nitrificante en este sistema de labranza; los nitratos tienden a acumularse en el suelo en forma disponible para la planta de acuerdo a lo afirmado por Orozco (54), sin embargo su extracción y traslocación a los tejidos foliares, no fue relevante ya que se encontraron valores mínimos (Tabla 3.); posiblemente debido a que las condiciones climáticas en especial precipitación no propiciaron desbalances en la tasa de asimilación de estos compuestos.

Gros (100) menciona que las bacterias nitrificantes son las responsables de la inmovilización del nitrógeno causada al adicionar al suelo material orgánico con relación carbono - nitrógeno alta (>30) por inhibición de las proteinasas, lo cual es factible contrarrestar en gran medida con la combinación de fuentes de nitrógeno orgánicas y minerales, puesto que así el nitrógeno aportado por la parte mineral, al ser más disponible es tomado en primera instancia por las bacterias nitrificantes asegurando la continuidad en sus funciones, sin embargo este efecto, probablemente no tuvo mayor incidencia en esta investigación, debido a la baja relación carbono nitrógeno de la bovinaza utilizada y al efecto complementario del fertilizante mineral adicionados en los tratamientos correspondientes.

6.1.3.3. Bacterias desnitrificantes. Los conteos de bacterias desnitrificantes se resumen en la Tabla 4 y Figura 13. El análisis de varianza, (Anexo C), reveló que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización y la interacción de las anteriores.

Los valores superiores para bacterias s ($P < 0.05$), se observaron en los tratamientos T3LM con 21760, seguido del T5L0 y T5LM con 12500 mo/g/s.s para ambos tratamientos.

La mayor cantidad encontrada en los tratamientos T3LM y T5LM verifican una relación directa con la producción de nitratos (Tabla 2) reflejo de una mayor población de bacterias específicas para este fin. Según IGAC (57), esta relación está determinada en gran medida por la presencia de nitratos y materia orgánica oxidable, ya que en su mayor parte las bacterias anaerobias y facultativas que

hacen posible la desnitrificación son heterótrofas, la presencia de materia orgánica y nitratos favorece estos procesos.

Burges (99), por su parte sostiene que las condiciones anaerobias del suelo causadas generalmente por anegamiento, constituyen el factor de mayor influencia en las pérdidas de nitrógeno por desnitrificación, especialmente por la naturaleza anaerobia de las bacterias responsables de esta función, por consiguiente los cultivos inundados pueden presentar mayor actividad que un suelo con permeabilidad y drenaje adecuados.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede suponer que los conteos bacteriales obtenidos en esta investigación denotan una baja actividad, puesto que el lote experimental en general presentó buen drenaje, las propiedades físicas del suelo y la pendiente del lote (25%), tampoco fueron favorables para que se presenten acumulaciones excesivas de humedad, por lo cual las pérdidas de nitrógeno por desnitrificación pudieron ser mínimas y las poblaciones de bacterias desnitrificantes encontradas fueron producto posiblemente de pequeñas zonas aisladas en condiciones anaerobias, que se pueden presentar por una tasa lenta de difusión de gases propiciando una actividad desnitrificante en algunos puntos localizados del suelo IGAC (57).

Al respecto IGAC (56), Burbano (88) afirman que aunque el número de bacterias desnitrificantes puede sobrepasar el millón en el horizonte agrícola, esto no siempre se debe interpretar en el sentido de que pueda haber una gran

desnitrificación, puesto que estas bacterias pueden estar localizadas en puntos aislados del suelo donde su efecto es de poca importancia.

6.1.3.4. Bacterias solubilizadoras de fósforo. Los datos correspondientes a esta variable se encuentran en la Tabla 4 y Figura 14. El análisis de varianza (Anexo C) indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para niveles de fertilización e interacción, los sistemas de labranza no presentaron diferencias.

Todos los tratamientos fueron diferentes estadísticamente, ($P < 0.05$) sobresaliendo el T1LM seguido del T3LM con 5741×10^2 y 3630×10^2 mo/g/s.s respectivamente. Los valores más bajos se obtuvieron en los tratamientos testigo T0L0 y T0LM con 605×10^2 y 733×10^2 mo/g/s.s respectivamente.

Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango reportado por Castro y Mejía (1999, 9), quienes afirman que estos microorganismos pueden encontrarse en un número comprendido entre 1×10^5 y 1×10^7 bacterias/gramo de suelo.

Posiblemente la mayor población solubilizadora de fósforo obtenida en los tratamientos T1LM y T3LM obedece a la materia orgánica incorporada al suelo puesto que según Castro y Mejía (6), los microorganismos responsables de la solubilización o mineralización del fósforo actúan primordialmente sobre el fósforo orgánico para luego transformarlo en inorgánico, considerando una relación directa con respecto al número de microorganismos y a la disponibilidad del

sustrato orgánico en el suelo, lo cual ratifica también los conteos bajos obtenidos en los tratamientos sin fertilización.

Al respecto, Burbano (349), afirma que cuantitativamente las bacterias solubilizadoras de fósforo, pueden ver incrementada su población directamente con los contenidos de materia orgánica, puesto que estas se abastecen energéticamente del fósforo orgánico que esta contiene.

Por su parte, Castro y Mejía (8) comentan que la disponibilidad de fósforo aprovechable para las plantas, depende directamente de la actividad bacterial que exista, de manera análoga como sucede con el nitrógeno, ya que si el sustrato orgánico del suelo contiene menos fósforo del requerido para suplir los requerimientos energéticos de dichos microorganismos, este puede desaparecer del medio por efecto de la inmovilización.

Adicionalmente, la población y actividad solubilizadora de fósforo es mayor a medida que aumenta la actividad biológica del suelo, por medio de la producción de anhídrido carbónico, lo cual denota una aparente relación con la población de bacterias totales, lo cual corrobora el comportamiento del T1LM, debido quizá al anhídrido carbónico resultante de su metabolismo.

6.1.3.5. Hongos. Los datos correspondientes a esta variable se presentan en la Tabla 4 y Figura 15 El análisis de varianza (Anexo C), indica que las fuentes de variación no presentaron diferencias estadísticas.

Aunque los sistemas de labranza no presentaron diferencias estadísticas, se pudo observar una tendencia a aumentar la población fungal con la labranza, probablemente, debido a que estos microorganismos son predominantemente aerobios y usualmente se encuentran adheridos o cerca de la materia orgánica, ya que por su naturaleza heterotrófica dependen de estas sustancias para la obtención de energía, razón por la cual la presencia de hongos, está considerablemente limitada a la capa arable debido a que es en este horizonte donde puede existir un abundante suministro alimento aportado por la adición de fertilizantes, materia orgánica y material vegetal muerto (Burbano, 101).

Otra posible razón por la cual los conteos no fueron estadísticamente diferentes, es por que se han encontrado que en los platos de dilución las colonias desarrolladas mayoritariamente se derivan de esporas inactivas, puesto que los hongos tienen la capacidad de entrar en “dormancia”, condición típica que presentan cuando encuentran condiciones adversas, pudiéndose encontrar microorganismos inactivos pero viables por décadas Burbano (99).

Por otra parte, Burges (97) afirma que el estudio de los hongos tiene suma importancia desde el punto de vista de su patogenicidad, capacidad degradar materia orgánica y formación de micorrizas, los patógenos pueden causar podredumbre de la raíz en condiciones anaerobias, lo cual hace suponer la necesidad de airear frecuentemente el sistema radicular de las praderas especialmente aquellas de cobertura densa como el kikuyo.

6.1.3.6. Actinomicetos. La Tabla 4 y Figura 16 resumen los datos para esta variable. El análisis de varianza (Anexo C) indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para niveles de fertilización e interacción. Los sistemas de labranza no presentaron diferencias.

La mayor población ($P < 0.05$) incluyó predominantemente los tratamientos bajo labranza mínima, como son el T3LM, T2LM, T4LM, y T5LM con poblaciones de 4.36×10^{10} , 3.92×10^{10} , 3.79×10^{10} y 2.88×10^{10} mo/g/s.s respectivamente, mientras que de los tratamientos sin labranza solamente se incluyó al T3L0 y T2L0 con 3.8×10^{10} y 3.67×10^{10} mo/g/s.s respectivamente.

Se observó una aparente influencia sobre la población de actinomicetos cuando se realizó aireación del sistema radicular, lo cual es explicable teniendo en cuenta la naturaleza aerobia de estos microorganismos, además prosperan adecuadamente en presencia de materia orgánica ya que dependen de ella para obtener la energía necesaria para sus funciones. Se han encontrado poblaciones mayores en sitios con alto contenido de material carbonáceo y humus que en hábitats pobres en

materia orgánica según afirma Burbano (92), lo cual corrobora las poblaciones bajas obtenidas en las parcelas sin fertilización.

Por otra parte, la población de actinomicetos obtenida en esta investigación, supera la de bacterias totales, lo cual posiblemente se debe a que los actinomicetos constituyen un grupo de organismos que morfológica y fisiológicamente forman taxonómicamente un puente entre las bacterias y

hongos, por tal razón la cuantificación de su volumen poblacional puede en algunos casos superar en número a las bacterias (Orozco, 1990, 46).

Adicionalmente IGAC (23) argumentan que los actinomicetos no incrementan su número de forma inmediata después de la incorporación de materia orgánica, lo que demuestra que en esta fase no compiten con las bacterias; sin embargo, posteriormente cuando solo permanecen los compuestos muy estables son efectivos competidores de bacterias y hongos superándolos en número, lo cual puede explicar también la mayor población encontrada con respecto a las bacterias, debido posiblemente al estado avanzado de descomposición de la materia orgánica al finalizar el periodo experimental.

6.1.3.7. Número total de lombrices. Al realizar los muestreos tanto al inicio como al final del periodo experimental, no se encontró la presencia de lombrices; a pesar de que las propiedades fisico-químicas del suelo tales como materia orgánica, Ph y densidad aparente (Tablas 2 y 3) fueron adecuadas, estas no se encontraron en ninguno de los lotes evaluados. Las razones de estos resultados pueden explicarse con base en que tanto al muestreo inicial como al final coincidieron con épocas críticas de humedad y temperatura para la presencia de estos organismos.

Al respecto Chamorro (17) manifiesta que uno de los factores de mayor influencia en la presencia de la lombriz de tierra es la humedad, ya que tanto el exceso como

el déficit de la misma pueden alterar negativamente las condiciones óptimas de su hábitat el cual debe estar cerca de la capacidad de campo.

De otra parte Ferruzzi (1994, 17) sostiene que otro de los factores de relevante importancia en la presencia de lombrices es la temperatura, la cual debe oscilar entre 10 y 12 °C, por consiguiente rangos de temperatura que se alejen excesivamente de dicho rango pueden provocar el efugio de estos organismos a profundidades entre 2.3 a 2.5 metros.

Adicionalmente, la ausencia de lombrices pudo haberse dado a causa de el ataque de enemigos naturales tales como insectos, ratones y pájaros entre otros, los cuales pueden suplirse de ellas como alimento o causarles daño (Ferruzzi, 102).

6.2. VARIABLES AGRONOMICAS

Los resultados obtenidos en este acápite corresponden al promedio de cuatro cortes consecutivos realizados posteriormente a la fertilización y labranza. Los respectivos andevas se consignan en anexos; para mayor claridad y objetividad se centró la discusión sobre los resultados promedios de todas las variables al final del experimento.

6.2.1. Producción de biomasa seca. En la Tabla 5 y Figura 17 se presentan los datos correspondientes a esta variable. El análisis de varianza (Anexo D) indica

que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización e interacción entre las anteriores

Los tratamientos T3LM, T2LM, T1LM y T4LM con 5.62 , 5.42, 5.34 y 4.74 ton/ha/corte respectivamente superaron ($P < 0.05$) a los demás tratamientos. Los lotes T0L0, T0LM y T1L0, obtuvieron los promedios más bajos con 2.43, 3.14 y 3.19 ton respectivamente.

Los mayores promedios logrados en el presente ensayo son superiores a los reportados por Urbano (1996, 1), quien encontró producciones de materia seca de 1.2 a 1.5 ton/ha/corte con aplicaciones de 0 y 400 kg/N/ha/año y una frecuencia de corte de 35 días.

Superan también a los encontrados por Soto (76), quien encontró en kikuyo cosechado a los 39, 50 y 78 días producciones de 1.27, 1.75 y 3.25 ton/ha/corte respectivamente.

La mayor producción obtenida en los tratamientos bajo sistema de labranza mínima, se puede atribuir entre otros factores a la interacción existente entre sistemas de labranza y fertilización ($P < 0.01$) de lo cual se deduce que la labranza mínima de una u otra forma influyó en la incorporación del fertilizante orgánico y/o mineral haciendo que sus nutrientes sean aprovechados eficientemente por la planta. La incorporación de material orgánico al suelo a través de la labranza

mínima, mejoró las condiciones físicas del suelo tales como densidad aparente y porosidad total (Tabla 3) aumentando la dinámica del agua y el aire en el suelo (Grillo y Camero, 17).

Respecto a lo anterior se puede afirmar que la rehabilitación de la pradera de kikuyo realizada con el arado criollo, permitió un rompimiento de la capa superficial aireándola y haciendo posible una adecuada incorporación de los fertilizantes. En este sentido, Medina (3) dice que el kikuyo por sus hábitos de crecimiento, puede producir un acolchonamiento que impide la entrada de humedad, nutrientes y Oxígeno al horizonte A, haciéndose necesario romper el césped para mejorar la aireación a nivel de la rizósfera, aportando también un efecto benéfico especialmente para los microorganismos aerobios y evitar las pérdidas por volatilización al aplicar superficialmente el fertilizante.

Por otra parte, los buenos resultados obtenidos cuando se mezcló fertilizante mineral y orgánico, corroboran un efecto complementario de las dos fuentes. Al respecto, Medina (7) argumenta que la combinación de fuentes de Nitrógeno orgánico y mineral permite un efecto inmediato de la parte mineral y a la vez amplia la acción en el tiempo debido a la fracción orgánica, efecto que fue mayor por la presentación fresca del estiércol aplicado; la parte orgánica optimizó el aprovechamiento del fragmento mineral al promover la agregación de partículas, estabilidad de los gromérulos e incrementar la relación materia orgánica, agua y oxígeno necesarios para la rápida solubilización de los nutrientes (Bernal, 43).

Al analizar la producción de forraje a lo largo de los cuatro cortes (Anexo E) las mayores producciones de biomasa se encontraron en el segundo corte, posiblemente debido a que el periodo de recuperación para este fue superior en todos los tratamientos; adicionalmente, pudo presentarse interacción entre la edad del rebrote y la fertilización, probando de esta forma que las fuentes orgánicas de nitrógeno, pueden constituirse en reguladoras del suministro de este elemento, actuando como un represor en los primeros estadios del crecimiento y un generador de nitrógeno en estados posteriores cuando el nitrógeno mineral se agota (Soto, 37). Hecho que fue más evidente en los tratamientos con mayores niveles de fertilizante mineral, donde la producción se redujo casi a la mitad en los dos últimos cortes.

Adicionalmente, Crespo *et al.* (1998, 189) sostienen que las condiciones climáticas como precipitación y humedad relativa juegan un papel decisivo en la producción de biomasa, sin embargo, algunas gramíneas como el kikuyo, presentan características que les permiten sobrevivir en condiciones adversas, una de ellas es la “dormancia”, o latencia fisiológica propia de estos pastos cuando hay sequía, condición en la cual pudo entrar el pasto en esta investigación ya que la primera mitad del periodo correspondiente al segundo corte se caracterizó por ausencia de lluvias mientras que en la segunda mitad aumentaron considerablemente (Figura 18).

6.2.2. Índice de Area foliar (IAF). Los datos obtenidos para esta variable se presentan en la Tabla 5 y Figura 19. El análisis de varianza (Anexo D) reveló

diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización. La interacción no presentó diferencias.

Los tratamientos T4LM, T3LM, T2LM y T1LM fueron superiores ($P < 0.05$) a los demás con valores de 12.09, 10.93, 10.64 y 10.46 respectivamente. El T0L0 presentó el valor más bajo con 4.34.

Los valores superiores encontrados en esta investigación, se encuentran por encima de los reportados por Bernal (23) quien afirma que para gramíneas de clima frío el índice de área foliar puede encontrarse entre 9 y 10, bajo condiciones climáticas y de fertilidad del suelo adecuadas.

Se observó una relación directa del índice de área foliar respecto a la producción de biomasa, fundamentalmente en las parcelas bajo labranza mínima exceptuando la testigo que puede explicarse por el hecho de que una mayor área foliar aumenta el aprovechamiento de la luz incidente que la planta utiliza en sus procesos de fotosíntesis para la formación de sus tejidos (Soto, 53).

Las bondades aportadas cuando se aplicó labranza mínima a los lotes fueron evidentes especialmente en aquellos tratamientos donde se aplicó fertilizante orgánico-mineral, corroborando que la incorporación al suelo de los fertilizantes optimiza el aprovechamiento de los nutrientes por la planta (Bernal, 56).

Al analizar esta variable en todo el experimento, (Anexo F) se encontró que en el segundo corte, los tratamientos con labranza mínima obtuvieron la mayor área

foliar, posiblemente por presentar el mayor periodo de recuperación, además, la alta precipitación en la segunda mitad del periodo correspondiente a dicho corte (Figura 18) proporcionó una humedad que quizá fue utilizada eficientemente debido a la mejora en las propiedades físicas (Tabla 3) que pudieron haber incidido en la movilización de nutrientes en el suelo y aprovechamiento de los mismos (Benavides, 45).

Respecto a lo anterior se puede afirmar que la síntesis de tejido foliar puede verse influenciada grandemente por las características físicas del suelo tales como densidad aparente, porosidad total y capacidad de campo, características que condicionan en buena parte la solubilización y aprovechamiento de los fertilizantes (Peña, 76).

6.2.3. Altura de la planta. La Tabla 15 y Figura 20 resumen los datos de esta variable. El análisis de varianza (Anexo D) indica que se existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización y la interacción entre las anteriores.

Según la prueba de Tukey, los mayores promedios se dieron en T1LM con 29.03, T3LM con 26.47 y T2LM con 25.92 cm. Los tratamientos T0L0 y T0LM obtuvieron los menores valores con 11.85 y 16.83 cm respectivamente.

Los valores obtenidos son similares a los reportados por Castillo *et al.* (1990, 67), quienes encontraron que las aplicaciones de Nitrógeno en dosis superiores

a 150 kg /ha/año incrementan la altura del pasto de 15 a 28 cm con respecto a un testigo sin fertilización cuando se corta el pasto a una altura entre 5 y 10 cm.

También Castro (62) encontró valores de 38.33 y 28.67 cm en kikuyo bajo sistema de labranza mínima con uno y tres pases de rastra respectivamente y con 75 kg/N/ha, sin embargo, el autor no encontró interacción entre fertilización y sistemas de labranza lo cual atribuye a la estación seca en la cual se realizó el trabajo.

Bajo labranza mínima se encontró una relación directa de la altura de la planta con respecto a la fertilización orgánica lo cual concuerda con lo afirmado por Burbano (298), quien sostiene que la aplicación de materiales orgánicos al suelo estimula el crecimiento de población microbial encargada de los procesos de nitrificación (Tabla 4), con lo cual se incrementa el nivel de nutrientes solubles para la planta, evento de mayor relevancia cuando se aplica algún sistema de labranza reducida que permita una mejor incorporación del fertilizante orgánico y aumente los niveles de oxígeno especialmente en el horizonte de influencia radicular.

Adicionalmente, el corte del pasto a una altura aproximada de 10 cm probablemente facilitó su recuperación, puesto que el kikuyo posee su área foliar cerca de la superficie del suelo (Bernal, 47) la cual no fue totalmente removida durante el corte; como consecuencia la planta pudo disponer de una mayor cantidad de carbohidratos de reserva para su rebrote alcanzando mayor altura en menor tiempo.

Los valores globales para los cuatro cortes mostraron un incremento de esta variable en los lotes bajo labranza mínima, lo cual se puede atribuir a que la disturbación de la rizósfera propició un ambiente óptimo para la extracción nutrientes, reflejándose en un mayor crecimiento de las plantas.

CIAT (129) afirma que el incremento en la altura de la planta, puede producir sombreado en la superficie del suelo, estimulando la absorción de nitrógeno y por ende el crecimiento, tamaño foliar y biomasa total, lo cual esta corroborado por la correlación directa presentada por estas variables en esta investigación.

Los mayores promedios de altura se obtuvieron en el segundo corte (Anexo G), posiblemente debido al mayor periodo de recuperación, pues según Kemp citado por Delgado y Cabrera (1989, 7), el pasto kikuyo generalmente aumenta su altura con intervalos más largos entre los cortes, como resultado de un mayor incremento en el área foliar y aprovechamiento de la luz en la actividad fotosintética; aspecto este que se reflejó en la producción de biomasa e índice de área foliar en especial de los tratamientos bajo labranza mínima y fertilización mixta.

6.2.4. Profundidad radicular. Los datos obtenidos para esta variable se presentan en la Tabla 5 y Figura 21. El análisis de varianza (Anexo D) indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización y la interacción entre las anteriores.

Los tratamientos T3LM, T2LM, T1LM, T4LM y T5LM con 26.2, 25.8, 25.4, 24 y 23.2 cm respectivamente presentaron los mayores promedios, mientras que los tratamientos T0LM, T3L0, T2L0, T5L0, T4L0, T1L0 y T0L0 con 17.0, 16.8, 16.6, 16.2, 16.2, 15.8 y 12.4 respectivamente, presentaron los menores promedios ($P < 0.05$).

La mayor longitud de raíz presentada por los tratamientos bajo labranza mínima, pueden explicarse por la mejora en las propiedades físicas tales como densidad aparente y porosidad, que en cierto grado fueron mejoradas al escarificar el suelo a una profundidad entre 10 a 20 cm con este sistema, propiedades que pueden afectar directamente el crecimiento radicular (CIAT, 106).

En este sentido Bernal (45) afirma que adecuada preparación del suelo y adición de materia orgánica al mismo, pueden aumentar la longitud de la raíz, ya que estas labores culturales disminuyen en buena medida el impedimento mecánico permitiendo a la raíz profundizar en el horizonte del suelo.

Los menores valores para esta variable se observaron en los tratamientos donde no se disturbó la rizósfera, posiblemente debido a la presencia de horizontes cementados o endurecidos producto de la deficiente humedad del suelo ocasionada por la cobertura densa que puede presentar el kikuyo impidiendo la entrada de humedad al subsuelo.

Al respecto CIAT (154) comenta que un nivel de humedad bajo, en el suelo puede ocasionar “impedancia mecánica”, ya que la ausencia de agua intensifica el

componente cohesivo que impide el normal crecimiento de la raíz. Sumado a esto el efecto de acolchonamiento que presenta el kikuyo cuando no se escarifica puede afectar el desarrollo radicular por falta de humedad y oxígeno puesto que el alargamiento de las raíces decrece en proporción logarítmica con el impedimento mecánico y además por la interacción entre este, el oxígeno y la humedad del suelo.

El alargamiento de las raíces como variable de respuesta presentó una relación directa con el vigor general de la planta, lo que a su vez se vio reflejado en un incremento en la biomasa total, consecuencia de una eficiente asimilación y utilización de los nutrientes.

6.2.5. Periodo de recuperación. Los datos obtenidos para esta variable se encuentran consignados en la Tabla 5 y Figura 22. El análisis de varianza (Anexo D) indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización y su interacción.

Los menores promedios ($P < 0.05$) para periodo de recuperación se obtuvieron en los tratamientos T5LM, T2LM y T1LM con 54.5, 54.7 y 55.2 días respectivamente, mientras que el mayor valor lo presentó el tratamiento T0L0 con 62.3 días.

Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango reportado por Medina (12), quien encontró intervalos entre pastoreo de 40 días en invierno y 65 días en verano sin agua suplementaria con altura de corte entre 5 y 10 cm.

Similares periodos de recuperación encontraron Ortiz y Ossa (54) quienes reportan periodos de recuperación de 42 a 56 días en una pradera de kikuyo bajo pastoreo rotativo con bovinos.

Al observar los valores globales para esta variable, se puede deducir que la fuente orgánica utilizada se equipara con la fuente mineral, viéndose esto reflejado en un rápido crecimiento y reducción del intervalo entre cortes, debido a que la forma de aplicación favorecida por la labranza mínima estimuló la solubilización de sus componentes nutritivos, explicando de esta forma la interacción altamente significativa para los factores fertilización y labranza como lo muestran los tratamientos T5LM, T2LM y T1LM.

Por otra parte la reducción en los periodos de recuperación se puede atribuir a que el estiércol aplicado aumentó la capacidad de retención de agua, propiciando condiciones favorables para una rápida entrega de nutrientes a partir de la materia orgánica que al descomponerse produce ácidos orgánicos y dióxido de carbono que ayudan a disolver minerales como el potasio haciendo que las plantas al tomarlos puedan regenerar sus tejidos con mayor rapidez (Burbano, 24).

El mayor periodo de recuperación se presentado en el corte dos, (Anexo H) posiblemente obedeció a que para dicho corte presentó un régimen de lluvias irregular (Figura 18) con periodo seco en la primera mitad, lo cual ocasionó un periodo de relativa latencia y reducción en el ritmo de crecimiento de la planta

(dormancia), seguido de un aumento en la precipitación pluvial hacia la segunda mitad de este corte lo que posiblemente estimuló la movilización y toma de nutrientes acelerando el crecimiento de la planta o “llamarada de crecimiento”. (Peña, 146).

Lo anterior concuerda con lo afirmado por Navarrete (7), quien manifiesta que el periodo de recuperación del kikuyo se ve grandemente afectado por la humedad relativa del aire y precipitación pluvial, debido a la sensibilidad que presenta esta especie a la demanda evaporativa.

6.3. VARIABLES BROMATOLÓGICAS

6.3.1. Materia seca. Los datos obtenidos para esta variable se encuentran consignados en la Tabla 6 y Figura 23. El análisis de varianza (Anexo I), indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para niveles de

fertilización y significativas ($P < 0.05$) para la interacción, para sistemas de labranza no se encontraron diferencias.

Los tratamientos T5LM, T1LM, T4LM, T4L0 y T2L0 con 15.16, 15.21, 15.27, 15.38 y 15.42% respectivamente presentaron los valores más bajos ($P < 0.05$), mientras que los más altos se obtuvieron en los tratamientos T0L0 y T0LM con 20.82 y 18.7 % respectivamente.

Burbano y Sanchez (1986, 11) reporta porcentajes de materia seca del 19.1% en kikuyo cosechado a los 42 días después de la fertilización con dosis de 75 kg/N/ha.

Alzate y Muñoz (1983, 76), por su parte encontraron porcentajes de materia seca de 16.96, 16.31 y 15.41% en kikuyo fertilizado con 2.5, 4 y 5.5 ton/ha/corte de estiércol de cerdo con intervalo entre cortes de 35 días, valores que se encuentran dentro del rango encontrado en esta investigación.

Las dosis crecientes de fertilizante mineral tuvieron una tendencia a disminuir los contenidos de materia seca especialmente en los tratamientos bajo labranza mínima, posiblemente debido a que la menor deposición de carbohidratos estructurales le permitió a la planta retener mayor humedad en los espacios intercelulares de sus tejidos.

Al respecto Benavides Ruiz y Legarda (2000, 30) comentan que los mayores porcentajes carbohidratos estructurales en la planta pueden afectar la retención de humedad en sus tejidos por la rigidez y baja permeabilidad de sus membranas.

El efecto del sistema de labranza no se observó de manera clara, el rango encontrado fue uniforme tanto para los lotes bajo labranza mínima como para los lotes sin labranza, con excepción de los tratamientos testigos en los cuales posiblemente la deficiencia de nutrientes en el suelo ocasionó una menor retención de humedad en los tejidos de la planta como consecuencia de una

mayor deposición de carbohidratos estructurales, reflejándose en un aumento de la materia seca. (Carmona y Martinez, 1988, 76).

El análisis de esta variable a lo largo del experimento (Anexo J) permitió observar que los mayores porcentajes se obtuvieron en el cuarto corte correspondiendo el valor más alto al tratamiento T0L0, con 24.2%, posiblemente debido a una acumulación de carbohidratos estructurales, característica común de los pastos cuando los elementos nutritivos del suelo se agotan gradualmente y no se restituyen en cada corte (Benitez *et al.*, 87).

Al respecto, Peña (142) afirma que al incrementar el número de cortes sin restituir los nutrientes extraídos del suelo, el contenido especialmente de nitrógeno decrece por su utilización permanente en el rebrote y formación de tejidos; ante este agotamiento la planta inicia su acumulación de reservas en sus partes permanentes como raíces y bases de los tallos, aumentando su grosor y densidad, lo cual puede repercutir en valores altos de materia seca del forraje.

Adicionalmente la baja precipitación presentada en el periodo correspondiente al cuarto corte, (Figura 18) pudo haber influido sobre esta variable, debido a un deficiente balance hídrico perjudicando en cierto grado la síntesis de tejidos celulares. Al respecto, Vasquez y Torres (303) mencionan que a medida que la humedad del suelo disminuye, los porcentajes de materia seca aumentan debido a la disminución del área foliar y aumento en el número de tallos que es donde se

alojan la mayor cantidad de carbohidratos estructurales y menor contenido de humedad incrementando los valores de materia seca.

Se observó los menores porcentajes de materia seca en el primer corte, exceptuando los tratamientos testigos, posiblemente el menor periodo de recuperación influyó en la distribución vertical de los componentes de la planta, como lo aseguran Vasquez y Torres (314), para quienes las plantas jóvenes sintetizan en mayor cantidad tejidos destinados a su formación y crecimiento, por otro lado si la planta no es cosechada en el momento óptimo, empezará a depositar sustancias de reserva, lo cual puede aumentar la materia seca.

6.3.2. Proteína. Los datos obtenidos para esta variable se encuentran consignados en la Tabla 6 y Figura 24. El análisis de varianza (Anexo I), indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización y la interacción.

Los mayores promedios ($P < 0.05$) se obtuvieron en los tratamientos T5LM, T3LM, y T4LM con 15.78, 15.35 y 15.22% respectivamente, en tanto que el menor se encontró en el T0L0 con 11.40%.

Benavides (28) encontró porcentajes de 11.4, 10.35 y 9.84% en kikuyo cosechado en condiciones naturales sin fertilización ni escarificación a los 40, 80 y 120 días respectivamente. Porcentajes similares encontró Navarrete (46) al combinar abono mineral 25-15-0 y sulfato de amonio en dosis de 50 kg/N/ha/corte en época de invierno y verano obteniendo valores de 12.03 y 10.18 respectivamente.

Laredo y Mendoza (1982, 158) reportan valores de proteína cruda del 14,36% en kikuyo cultivado en periodo de invierno, afirmando que con un pasto de estas características es factible garantizar los requerimientos de mantenimiento y producción de leche hasta una cantidad de 12 kg / día con 3.5% de grasa.

Posiblemente los valores obtenidos en este trabajo, son un reflejo de las bondades aportadas por las fuentes de nitrógeno y el sistema de labranza aplicado, debido a su interacción positiva, lo cual concuerda con lo sustentado por Bernal (90), quien afirma que la disponibilidad de nutrientes solubles para los forrajes como consecuencia de una buena fertilidad del suelo se ve reflejada en el incremento de su valor nutritivo sobre todo en los contenidos de proteína y minerales.

Crespo *et al.* (59) afirman que la fertilización nitrogenada influye en el valor nutritivo al aumentar el contenido de proteína y disminuir la presencia de carbohidratos estructurales, lo que explica el valor obtenido por el testigo absoluto.

La respuesta del kikuyo a la aplicación de fuentes de nitrógeno orgánica y/o mineral, fue positiva, sin embargo los resultados fueron mayores cuando el fertilizante se incorporó con la labranza. En este sentido, Bernal (163) sostiene que los niveles de proteína se comportan de manera positiva y en tendencia lineal con la fertilización nitrogenada, sin embargo factores como origen, dosis, formas y frecuencias de aplicación deben ser tenidas en cuenta para no incurrir en pérdidas por volatilización y/o lixiviación de los nutrientes.

La incorporación directa de los fertilizantes, en el horizonte de influencia radicular posiblemente estimularon la actividad microbiana nitrificante (Tabla 4) encargadas de la conversión del amonio en nitrato, el cual es directamente asimilado y translocado para la síntesis de tejidos y compuestos nitrogenados (Burbano, 368).

Al respecto, Vasquez y Torres (143) afirman que la incorporación directa de las fuentes de nitrógeno ya sean de origen orgánico o mineral, estimulan la dinámica de los microorganismos presentes en el suelo encargados de la descomposición y mineralización de los nutrientes aplicados volviendo disponible el nitrato, el cual es utilizado para la síntesis proteica en la parte aérea de la planta.

Al analizar los valores obtenidos en los cuatro cortes (Anexo K), se deduce que los porcentajes más altos se encontraron en los dos primeros, sobresaliendo los tratamientos bajo labranza mínima y dentro de estos aquellos con niveles crecientes de fertilizante mineral. Los porcentajes de proteína disminuyeron progresivamente para todos los tratamientos hacia el cuarto corte, como consecuencia del agotamiento mencionado anteriormente.

Los mayores porcentajes de proteína obtenidos en los dos cortes inmediatos a la rehabilitación y fertilización de la pradera, corroboran que el nivel de fertilidad del suelo es determinante en la síntesis proteica, especialmente por la disponibilidad de nitrógeno, elemento esencial para la fotosíntesis pues hace parte de la molécula de clorofila, responsable de esta función (Bernal, 56).

Adicionalmente el comportamiento de las lluvias (Figura 18) pudo haber influenciado la deposición de proteína en el pasto ya que los dos primeros cortes estuvieron acompañados de la mayor precipitación. Al respecto Machado y Dávila (1997, 7) encontraron una correlación positiva con un $r = 0.87$, con respecto a precipitación vs proteína, deduciendo que la fracción proteica en el kikuyo aumenta a medida que hay más precipitación.

Con respecto al periodo de recuperación, se observó una incidencia mínima en los porcentajes de proteína, sin embargo Soto (45) afirma que los contenidos proteicos tienden a descender con el aumento del intervalo entre cortes, posiblemente esto se deba a que el corte se realizó cuando el pasto presentó su mejor estado de crecimiento o estado abanderado antes de que iniciara su proceso de maduración (Peña, 45).

6.3.3. FDN. Los datos obtenidos para esta variable se encuentran consignados en la Tabla 6 y Figura 25. El análisis de varianza (Anexo I) indica que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) para sistemas de labranza y altamente significativas ($P < 0.01$) para niveles de fertilización y la interacción.

Los mayores promedios ($P < 0.05$) se obtuvieron en los tratamientos T3L0 y T5L0 con 66.30 y 66.14% respectivamente, mientras que el más bajos lo presentó el T4LM con 61.5%.

Los valores encontrados se encuentran dentro del rango reportado por Bernal (54), quien afirma que los componentes de la pared celular incluidos en la fracción fibra detergente neutro constituye entre el 40 y el 80% de la materia seca siendo mayor la proporción en pastos maduros con deficiencias de nutrientes en el suelo. También coinciden con los reportados por Soto (46), quien obtuvo valores de 63.84, 64.02 y 64.49% en kikuyo con dosis de 0, 50 y 100 kg/N/ha respectivamente

Benavides (36) reporta para kikuyo cultivado en condiciones naturales sin fertilización y cosechado a tres edades diferentes: 40, 80 y 120 días obteniendo porcentajes de 54.07, 55.69, y 59.66% respectivamente, valores que se encuentran por debajo de los obtenidos en este trabajo.

Los valores superiores obtenidos por los tratamientos bajo labranza cero posiblemente obedecen a que los fertilizantes aplicados no se incorporaron en

forma adecuada, con lo cual su utilización por parte de la planta fue menor, lo que trajo como consecuencia una disminución en el índice de área foliar causada por una mayor proporción de tallos respecto a hojas con lo cual el contenido de FDN aumentó; característica propia del kikuyo cuando crece en condiciones de baja fertilidad del suelo (Soto, 76).

Mac Donald *et al.* (1995, 415) coincide con lo anterior al afirmar que el déficit de nutrientes del suelo puede propiciar una baja en la calidad nutritiva de los forrajes, por aumento y lignificación de la pared celular y descenso en compuestos proteicos y extractos libres de nitrógeno.

Los promedios más bajos para esta variable se observaron en los tratamientos T4LM (61.50%), seguido del T1L0 (62.69%), T5LM (63.58) y T3LM (63.75%) Se observó una tendencia a disminuir el FDN con la aplicación de labranza mínima a excepción del T1L0. Estos valores bajos se pueden relacionar con la disponibilidad biológica del nitrógeno aplicado, lo que incidió en un aumento del área foliar y por ende un eficiente aprovechamiento de la luz en los procesos de fotosíntesis y formación de carbohidratos solubles (Peña, 144).

Por otra parte al observar la tendencia presentada en los cuatro cortes (Anexo L), se aprecia un cuadro irregular, aunque hacia el cuarto corte el lote bajo labranza cero presenta un incremento leve con respecto al lote bajo labranza mínima en todos los tratamientos, posiblemente el alargamiento radicular estimulado por la aireación del suelo (Tabla 5), confirió a la planta mayor eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes y humedad disminuyendo en cierta medida la acumulación de pared celular en los tejidos (Vasquez y Torres, 35).

También la baja humedad del suelo, causa de la baja precipitación en el cuarto corte, (Figura 18) pudo influir en el aumento de la fracción FDN, ya que en estas condiciones los nutrientes del suelo presentes en solución con el agua edáfica se encuentran muy concentrados formando sales cristalizadas las cuales deben esperar nuevamente la aparición de las lluvias para hacerse disponibles por la planta, caso en el cual la deposición de carbohidratos estructurales se realiza

como un sistema de sobrevivencia a condiciones de sequía (Vasquez y Torres, 90)

6.3.4. FDA. Los datos obtenidos para esta variable se encuentran consignados en la Tabla 6 y Figura 26. El análisis de varianza (Anexo I) indica que las fuentes de variación no presentan diferencias estadísticas.

Los valores globales para esta variable oscilaron entre 29.41 y 31.83% los cuales están dentro del rango encontrado por Soto (46), quien reporta valores de 31.78, 31.76 y 31.6% en kikuyo fertilizado con 0, 50 y 100 kg/Nha y periodo de recuperación de 50 días. También Giraldo (1995, 61) menciona valores para FDA del 30.98% para pasto kikuyo a los 52 días de rebrote.

Castro (46) encontró un FDA de 33.46, 31.76 y 32.52% en kikuyo cosechado a los

39, 50 y 78 días de rebrote fertilizado con 50 kg/N/ha, porcentajes que se encuentran dentro del rango obtenido en esta investigación.

La determinación de esta variable tiene mayor importancia si se tiene en cuenta la especie animal que se va a alimentar, al respecto Medina (14) sostiene que un porcentaje del 35% le confiere al pasto una calidad aceptable sobre todo en lo que respecta a la alimentación de rumiantes.

Cheeke (1995, 175), por su parte argumenta que los porcentajes de FDA generalmente dan una visión de la fracción indigerible, sin embargo, la mayor o menor digestibilidad de estos componentes depende en gran medida de las características de los enlaces donde esta presente la lignina.

La variación de los porcentajes de FDA en los cuatro cortes (Anexo M), no es totalmente clara ya que hacia el cuarto corte esta variable solamente incrementó en los tratamientos T0L0, T3L0 y T3LM en cantidades relativamente bajas, posiblemente por el agotamiento de los nutrientes solubles del suelo o por deficiente incorporación de los mismos al momento de su aplicación.

Con respecto al periodo de recuperación no se observó una incidencia marcada sobre esta variable, un efecto similar fue encontrado por Soto (47) quien obtuvo un comportamiento irregular de esta fracción con valores de 38.1, 40.5 y 37.14% con intervalo entre cortes de 24, 42 y 56 días respectivamente, sin encontrar explicación para el incremento observado a los 42 días. El autor sostiene que el comportamiento irregular de esta variable puede asociarse con los efectos estacionales del clima o por la disminución gradual en cuanto al nivel de nutrientes.

Adicionalmente es importante destacar que la fertilización de la pradera se realizó al inicio del experimento y no se fraccionó la dosis corte a corte, hecho por el cual, posiblemente los valores de FDA obtenidos fueron mayores a los reportados por algunos autores. A propósito, Medina (14) argumenta que el efecto de la

fertilización nitrogenada sobre la composición química del kikuyo presenta una interacción con el nivel de fertilidad del suelo, incrementando los contenidos de FDA debido al agotamiento en el nivel de nutrientes solubles que la planta utilizaría en la síntesis de proteína.

6.3.5. Hemicelulosa. Los resultados para esta variable se encuentran consignados en la Tabla 6 y Figura 27. El análisis de varianza (Anexo I), indica que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) para sistemas de labranza y altamente significativas ($P < 0.01$) para niveles de fertilización y para la interacción.

Los tratamientos T3L0, T4L0 y T5L0 con 35.69, 35.66 y 34.98%, fueron superiores ($P < 0.05$), mientras que los menores valores se obtuvieron en los tratamientos T1LM, T3LM y T4LM con 32.57, 31.97 y 30.88% respectivamente.

Los datos encontrados son superiores a los citados por Bernal (104), quien afirma que los valores para hemicelulosa generalmente se encuentran entre 15 y 21%, sin embargo sostiene que estos porcentajes pueden variar significativamente de acuerdo a la época de corte, estación del año, fertilización y fertilidad de los suelos, llegando a presentar valores superiores al 30% en gramíneas tropicales de clima frío. resultados similares fueron encontrados por Burbano y Sanchez (41) quienes reportan porcentajes de 32.6, 28.38 y 29.82% en kikuyo cosechado a los treinta días y fertilizado con 50 kg/N/ha con tres fuentes minerales de nitrógeno.

Los menores valores obtenidos cuando se hizo labranza mínima, probablemente obedecen al efecto de ésta sobre el nivel de nutrientes solubles utilizados por la planta, a través de una adecuada incorporación de los fertilizantes, viéndose esto reflejado en una mayor síntesis de contenido celular y compuestos nitrogenados, evidenciando una relación directa con las variables FDA y FDN ya que la determinación de la hemicelulosa se obtiene de la diferencia entre estas dos fracciones (Vasquez y Torres, 87).

Los mayores promedios encontrados en los tratamientos T3L0, T4L0 y T5L0 con 35.69, 35.67 y 34.98% respectivamente, son atribuibles a pérdida de nutrientes por volatilización causada por la fertilización superficial de la pradera, evento en el cual el área foliar de la planta disminuye y con ella la relación hoja : tallo, lo cual puede elevar los contenidos de hemicelulosa ya que es en los tallos donde mayoritariamente se alojan estos componentes fibrosos (Cheeke, 88).

Los tratamientos T1LM, T3LM y T4LM contrastan con lo anterior, quizá sus valores inferiores se deben al efecto benéfico de la labranza mínima sobre las características físicas del suelo (Tabla 3), lo que influyó en una mayor mineralización y disponibilidad de nutrientes, evento en el cual disminuyen los contenidos de hemicelulosa y los de proteína y carbohidratos solubles aumentan Soto (76).

Por otra parte, los porcentajes de hemicelulosa a lo largo de los cuatro cortes (Anexo N) presentaron una fluctuación poco clara, sin embargo, en el primer corte

los valores fueron menores especialmente en los tratamientos fertilizados debido posiblemente a la disponibilidad de nutrientes y mayor formación de compuestos nitrogenados, el efecto de la labranza fue poco visible para este corte.

Los periodos de recuperación tampoco afectaron esta variable, coincidiendo con lo afirmado por Bernal (104), según el cual la hemicelulosa no es muy afectada por la edad de la planta ya que esta se encuentra depositada en las paredes secundarias.

6.3.6. Celulosa. Los datos obtenidos para esta variable se encuentran consignados en la Tabla 6 y Figura 28. El análisis de varianza (Anexo I), mostró que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para sistemas de labranza, niveles de fertilización e interacción de las anteriores.

Se encontraron mayores promedios ($P < 0,05$) en los tratamientos T0L0, T3L0, T1LM, T2LM y T3LM con 15.01, 15.46, 15.9, 15.25 y 15.06%, mientras que los menores fueron para T1L0 y T5LM con 12.08 y 12.85% respectivamente.

Este rango de valores se encuentra por debajo de los reportados por Bernal (104), quien afirma que la celulosa puede ser el más abundante de los carbohidratos estructurales, su cantidad puede variar entre el 20 y el 40% del total de la materia seca.

También Burbano y Sanchez (46) encontraron valores para celulosa del 24.1% en kikuyo cosechado a los 30 días con nivel de fertilización de 50 kg/N/ha. Soto (47) obtuvo valores de 24.22, 23.46 y 26.14% de celulosa en kikuyo a los 39, 50 y 78 días de rebrote respectivamente.

No se observó un efecto claro de los niveles de fertilización ni sistemas de labranza sobre esta variable a pesar de la interacción estadística altamente significativa. Al respecto Soto (8) sostiene que la proporción de celulosa se ve poco afectada por la fertilización nitrogenada como factor individual, sin embargo, su interacción con la frecuencia de corte puede modificar su contenido incrementándolo a intervalos más largos, incremento que puede ser menos marcado con la aplicación de fertilizante nitrogenado.

Evidencia de lo anterior se observa en el segundo corte, (Anexo O) en el cual el tratamiento T0L0 presentó un incremento en el contenido de celulosa con respecto a los demás; posiblemente debido a su mayor periodo de recuperación. El cual fue de 64 días (Anexo H); Los demás tratamientos no presentaron el mismo comportamiento posiblemente el menor periodo de recuperación aunado al efecto del fertilizante aplicado hicieron menos posible la acumulación de este carbohidrato estructural (Soto, 89).

Adicionalmente, los valores globales para esta variable no mostraron relación con los contenidos hemicelulosa, ya que se esperaba como es lógico, un incremento proporcional de estas dos fracciones lo cual posiblemente se debió a que los

datos obtenidos para estas variables corresponden al promedio de los cuatro cortes realizados.

6.3.7. Lignina. Los datos obtenidos para esta variable encuentran consignados en la Tabla 6 y Figura 29. El análisis de varianza (Anexo I) indica que existen diferencias significativas ($P < 0.05$) para, niveles de fertilización y la interacción. Para los sistemas de labranza no se encontraron diferencias.

Según la prueba de Tukey se observó superioridad estadística ($P < 0.05$) en T1L0, T0L0 y T0LM con 8.79, 8.31 y 8.03% mientras que el menor fue el T2LM con 5.77%.

Estos valores se encuentran dentro del rango reportado por Bernal (105), quien dice que para gramíneas de clima frío los porcentajes de lignina normalmente se

encuentran entre 5 y 8%. Burbano y Sanchez (44) reportan cifras de 3.74% en kikuyo cosechado a los 30 días valor inferior al encontrado en esta investigación.

Los mayores valores obtenidos en T1L0, T0L0 y TOLM posiblemente se deben a la lignificación producida cuando decrece el nivel de fertilidad del suelo como también por el aumento en el número y grosor de los tallos y disminución del área foliar y su incidencia en un bajo aprovechamiento de la luz en el proceso de fotosíntesis (Peña, 96).

Por otra parte, aunque los sistemas de labranza no presentaron diferencias estadísticas, el T2LM, obtuvo el menor promedio con 5.77%, posiblemente debido a que el fertilizante incorporado al suelo disminuyó la lignificación al presentar disponibilidad de nutrientes reflejo de la mejora en las condiciones físicas del suelo aportada por la materia orgánica y labranza mínima. También el menor periodo de recuperación de este lote pudo incidir en la menor deposición de lignina.

Al analizar los porcentajes de lignina a lo largo de los cuatro cortes (Anexo P), se deduce que el bloque donde no se realizó labranza, presentó los mayores porcentajes de lignina, especialmente en el corte cuatro. En el bloque bajo labranza mínima los incrementos hacia dicho corte fueron menos marcados, posiblemente por el efecto aireador proporcionado por este sistema de labranza, el cual estimuló el crecimiento radicular (Tabla 5) aportando a la planta mayor eficiencia en la absorción de nutrientes (CIAT, 98).

Por otra parte, la tendencia acentuada hacia el cuarto corte posiblemente está relacionada con el agotamiento en el nivel de nutrientes del suelo, por lo cual la síntesis de compuestos nitrogenados disminuye y aumenta la deposición de carbohidratos estructurales (Bernal, 108).

Adicionalmente la baja precipitación (Figura 18) del último periodo posiblemente redundó en una mayor acumulación de lignina, debido a la depresión de la actividad estomática que interviene en el intercambio de gases y agua,

característica que es muy común en condiciones de sequía (Vasquez y Torres, 123).

El periodo de recuperación no tuvo mayor influencia sobre esta variable, probablemente por que el corte se realizó en el momento de mayor crecimiento presentado por la planta cuando “hizo bandera” y no se dejó que el pasto madurara excesivamente.

Al respecto existen diferentes apreciaciones; Soto (45) afirma que el avance de la madurez causa reducción en los contenidos de lignina, mientras que Mac Donald *et al.* (103) contradice argumentando que un mayor periodo de recuperación causa incremento sustancial en la lignificación de la pared celular.

De lo anterior se puede deducir que los aumentos en los porcentajes de lignina están más relacionados con el nivel de fertilidad del suelo y por el efecto estacionario del clima principalmente la precipitación, que de la misma edad de la planta.

6.3.8. Ceniza. Los datos obtenidos para esta fracción se resumen en la Tabla 6 y figura 30. Según el análisis de varianza (Anexo I) las fuentes de variación no mostraron diferencias estadísticas.

El rango encontrado para esta variable osciló entre 7.55 y 9.73%, estadísticamente similares, ($P < 0.05$) demostrando que la labranza y fertilización aplicadas no incidieron en la concentración de cenizas en el forraje.

Es pertinente anotar que la determinación de la ceniza de los forrajes encierra el contenido global de todos los minerales dando una aproximación del valor de los mismos, sin embargo algunos minerales como parte del nitrógeno puede volatilizarse por las altas temperaturas a que se someten las muestras, como también la presencia de materiales extraños como arenas o polvos que pueden alterar los resultados finales (Benitez *et al.*, 116).

Por otra parte, el comportamiento presentado por esta variable en los cuatro cortes (Anexo Q) muestra uniformidad especialmente cuando se aplicó labranza mínima posiblemente debido a que la aireación del sistema radical confirió a la planta mayor eficiencia en la extracción mineral reduciendo los efectos estacionales producidos por la precipitación y temperatura (CIAT, 64).

Lo anterior difiere de lo sustentado por Van Soest (1994, 95) quien afirma que el contenido de ceniza en el pasto está grandemente influenciado por la humedad del suelo siendo mayor la concentración en periodos lluviosos que en periodos secos, sin embargo estas variaciones pueden estar determinadas por la composición vertical de la planta y la variabilidad en los niveles de minerales con respecto a la parte de la planta analizada.

6.3.9. Energía digestible (Mcal/kg). Los datos obtenidos para esta variable se consignan en la Tabla 6 y Figura 31. El análisis de varianza (Anexo I) mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) para la interacción, los sistemas de labranza y niveles de fertilización no presentaron diferencias.

Los tratamientos T5LM y T2LM con 3.04 y 3.01 Mcal/kg, presentaron los mayores valores ($P < 0.05$) mientras que el más bajo se obtuvo en el T0L0 con 2.81 Mcal/kg.

Los datos globales muestran que la fertilización ya sea mineral o combinada con orgánica en el pasto kikuyo, produce una respuesta positiva en el contenido energético, posiblemente su buena utilización incrementó el área foliar, y con ella se dio una buena disponibilidad de nutrientes, permitiéndole a la planta optimizar los procesos de fotosíntesis y síntesis de reservas energéticas, especialmente carbohidratos no estructurales, polisacáridos que constituyen para la planta una fuente importante para el almacenamiento de energía (Bernal, 98).

Benitez *et al.* (81) afirman que el nitrógeno aplicado al suelo puede mejorar sustancialmente los niveles energéticos del mismo por el incremento en los extractos libres de nitrógeno que se constituyen como reservas potenciales de energía para la planta.

A lo largo del experimento (Anexo R), se observó que los mayores contenidos energéticos se presentaron en el segundo corte, lo cual se puede atribuir

probablemente a que en este corte se obtuvo la mayor producción de biomasa y la curva de crecimiento y producción llegó a su ápice en dicho periodo.

Adicionalmente, se observó que al utilizar labranza mínima se produjeron mayores fluctuaciones, quizá la incorporación de los fertilizantes incrementó la disponibilidad de los nutrientes pero también influyó en su agotamiento.

6.3.10. Nitratos. Los resultados se encuentran consignados en la Tabla 6 y Figura 32. El análisis de varianza (Anexo I) mostró diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) solamente para niveles de fertilización, para sistemas de labranza y la interacción no las hubo.

Según la prueba de Tukey el mayor valor ($P < 0.05$) corresponde al tratamiento T4L0 con 6.2 ppm, mientras que el menor valor se obtuvo en el T0L0 con 3.04 ppm.

Los mínimos contenidos encontrados en esta investigación posiblemente se deben a que la tasa de formación de nitratos en el suelo no sobrepasó a la tasa de asimilación en la planta, puesto que los niveles de fertilizante nitrogenado fueron relativamente bajos, al respecto, Burbano (398) dice que los desbalances nutricionales en suelo y planta en cuanto a nitratos se producen cuando la fertilización nitrogenada se realiza en forma continuada y excesiva.

Por otra parte, estos valores pueden obedecer a que la pradera donde se realizó el trabajo llevaba varios años sin recibir fertilización, razón por la cual el efecto acumulativo se redujo al mínimo, corroborando lo sustentado por Zurita y Vanegas (1986, 19), quienes argumentan que el uso indiscriminado de fertilizantes especialmente de origen orgánico y con baja relación carbono / nitrógeno como es el caso del estiércol líquido porcino, conlleva a una creciente acumulación de nitratos en el forraje alcanzando niveles desde 4000 hasta 15000 ppm.

Respecto a los niveles tóxicos, varios autores coinciden en afirmar que niveles superiores a 5000 ppm son consideradas altamente peligrosos para los animales, Zurita y Vanegas (17); Orozco (1996, 45); Jurado y Jurado (29), por ello se puede afirmar que los contenidos de nitratos encontrados no presentan ningún riesgo de toxicidad.

Adicionalmente Zurita y Vanegas (16), afirman que los niveles de nitratos en el forraje son un reflejo de los nitratos presentes en el suelo y su absorción por la planta esta determinada en gran parte por las condiciones medioambientales entre las cuales la más importante parece ser la precipitación y humedad del suelo; también, Jurado y Jurado (30) afirman que un periodo de sequía prolongado puede producir una esterilización parcial del suelo y una acumulación de nitrógeno nitrificable, el cual pasa a nitrato tan pronto como se inician las lluvias.

Atuesta y Gonzales (1993, 35) mencionan que durante periodos de sequía prolongados las plantas toman el Nitrógeno del suelo como nitrato, forma bajo la cual lo almacenan en el tejido vegetal, cuando se presentan las lluvias en nitrato se moviliza para convertirse en proteína. Los niveles tóxicos de nitratos pueden presentarse cuando el pasto se corta inmediatamente después de un periodo prolongado de sequía, ya que el tiempo puede ser insuficiente para la conversión del nitrato en proteína.

6.3.11. Nitritos. Los datos para nitritos se presentan en la Tabla 6 y Figura 33. El análisis de varianza (Anexo I), reveló diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para niveles de fertilización y significativas ($P < 0.05$) para la interacción. Para sistemas de labranza no se encontraron diferencias.

El mayor promedio ($P < 0.05$) se obtuvo en los tratamientos T0L0, T1L0 y T2L0 con 6.28, 4.96 y 5.4 ppm respectivamente, mientras que el menor valor se obtuvo en el T3LM con 2.36 ppm.

Los valores encontrados se encuentran por debajo de los reportados por Delgado y Cabrera (41) quienes reportan niveles de 96 ppm utilizando estiércol líquido en dosis de 50 kg/ha.

Atuesta y Gonzales (29) mencionan cantidades de 3490 ppm en pasto kikuyo en condiciones de la Sabana de Bogotá, nivel considerado como altamente tóxico

para la alimentación del ganado, ya que su toxicidad es de 3 a 10 veces mayor que la de los nitratos. Las concentraciones de nitritos en los tejidos de la planta dependen de las condiciones ambientales que se den para que sea posible la reducción de los nitratos en nitritos, siendo la precipitación un de las más importantes ya que las mayores concentraciones de nitratos se presentan generalmente al inicio de los meses húmedos, con lo cual la absorción de estos compuestos, se incrementa y su reducción a nitritos decrece o se mantiene constante dentro de la planta.

6.4. PRUEBA DE DIGESTIBILIDAD *In situ*

Para su estudio se utilizó un análisis factorial para tres factores: niveles de fertilización, sistemas de labranza y cortes; para efectos simples y sus correspondientes interacciones. Los resultados de este acápite corresponden a los promedios de cuatro cortes y a desapariciones a las 24, 48 y 72 horas.

6.4.1. Digestibilidad de la materia seca. La Tabla 7 y Figura 34 resumen los datos para esta variable. De acuerdo al análisis de varianza (Anexo S) se comprobó que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) tanto para los efectos simples como para las interacciones y diferencias significativas ($P < 0.05$) para niveles de fertilización.

La comparación de medias de Tukey, reveló que el tratamiento T4LM con 62.98% presentó el coeficiente de digestibilidad más alto. Los tratamientos T1L0 y T0L0 con 48.99 y 49.04% obtuvieron los coeficientes más bajos, sin embargo, fueron estadísticamente similares a los tratamientos T4L0, T2LM, T3LM y T5L0 con 49.35, 49.62, 50,53 y 53.17% respectivamente.

La mayor degradabilidad encontrada en el tratamiento T4LM probablemente se deba al efecto del fertilizante mineral aplicado. Sin embargo, el T5L0 y T5LM los cuales se fertilizaron en dosis de 100% fertilizante mineral, no presentaron igual comportamiento quizá, en el T4LM el efecto complementario de las dos fuentes fertilizantes y el sistema de labranza mínimas influyeron en una mayor desaparición de la materia seca, atribuible a una mayor disposición foliar de este tratamiento (Anexo B), que como se sabe contiene mayor cantidad y calidad de nutrimentos que los tallos.

Adicionalmente, el mayor promedio se obtuvo en el primer corte (Anexo T) posiblemente debido a una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo especialmente de nitrógeno. Sin embargo aunque los demás cortes

fueron estadísticamente similares se observó una tendencia a disminuir con el avance de los mismos, probablemente debido a la extracción acumulativa de nutrientes reflejándose en menores digestibilidades especialmente en aquellos tratamientos fertilizados con 100% abono mineral.

Lo anterior está corroborado por Soto (56), quien asevera que la digestibilidad de la materia seca del kikuyo varia de acuerdo al estado de desarrollo del pasto de igual manera que con los niveles de fertilización nitrogenada aplicados, dentro de un rango entre 41.57 a 62.98%, rango que se encuentra dentro del encontrado en esta investigación (48.99 a 63.98%).

Portilla, Rodriguez y Sarralde (60) afirman que la digestibilidad de los forrajes se ve afectada significativamente por las características físicas del mismo tales como textura y palatabilidad, químicas como la composición bromatológica, las cuales en gran medida están determinadas por el estado de madurez, época del año, características fisico-químicas del suelo y niveles de fertilización; factores que en conjunto determinan el trabajo a nivel gastrointestinal y posterior aprovechamiento de los componentes nutricionales del pasto por parte del animal.

De otra parte, la interacción altamente significativa ($P < 0.01$) para tratamientos por labranza por corte demuestra que estos factores influyen de manera integrada para determinar la digestibilidad de la materia seca.

Al respecto Benitez *et al.* (63) mencionan que la digestibilidad de la materia seca de los pastos, depende en gran medida del estado de madurez, fertilización y condiciones del suelo, sin descartar variabilidad en la cantidad y distribución de las precipitaciones a lo largo del año, también las fluctuaciones en temperatura e intensidad lumínica, que pueden en algún evento ocasionar serios desbalances en la calidad nutricional de los pastos.

Adicionalmente, algunos autores divergen en los criterios en cuanto a los efectos de la fertilización nitrogenada en la digestibilidad de la materia seca, es así como Webster, Hogan y Edder citados por Benitez *et al.* (77) sugieren que el nitrógeno apenas tiene efecto en la digestibilidad, mientras que Wilkinson, Dawson y Adams citados por el mismo autor (79), afirman que aumenta con los niveles crecientes de nitrógeno, sin embargo, la digestibilidad de la materia seca se encuentra ligada estrechamente con la calidad del pasto y la velocidad con que los nutrientes existentes en el suelo, sean extraídos por parte de la planta; evento en el cual entraría a jugar un papel importante la fuente y presentación del material nitrogenado utilizado.

Es así como el fertilizante mineral al ser mineralizado con relativa rapidez redundará en una buena calidad nutritiva y digestibilidad, pero así mismo se agotará rápidamente reflejándose en un detrimento en la calidad y digestibilidad de la materia seca si no se reintegra el fertilizante en forma secuencial después del corte o pastoreo (Gros, 26).

6.4.2. Digestibilidad de la proteína. La digestibilidad de la proteína (Figura 35, Tabla 7) presentó diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para todos los efectos simples e interacciones según el ANDEVA presentado en el Anexo S.

El coeficiente de digestibilidad más alto ($P < 0.05$) lo presentó el tratamiento T4LM con 68.56% mientras que los más bajos fueron para los tratamientos testigos T0L0

y TOLM con 54.88 y 55.01% respectivamente, los cuales no presentaron diferencias entre sí ($P < 0.05$).

Los datos obtenidos se encuentran dentro del rango reportado por Benavides (31) quien encontró digestibilidades de 65.69, 67.34 y 60.02% para kikuyo cortado a los 40, 80 y 120 días de rebrote concluyendo que el estado de madurez del pasto puede llegar a un límite en el cual la digestibilidad de la proteína decrece.

Por su parte Soto (52) opina que la digestibilidad aparente de la proteína se ve grandemente afectada en forma negativa con el avance de la madurez. El mismo autor (53) encontró que la digestibilidad de la proteína del kikuyo aumentó en 7.3 unidades con valores de 42.52% para kikuyo sin fertilizar y 51.15% en kikuyo fertilizado con 50 kg/N/ha, en ambos casos cosechado a una edad de 39 días, sin embargo, no observó el mismo efecto al cortar el pasto a los 50 y 78 días con lo cual corrobora que tanto la fertilización como la edad de corte son factores determinantes en la digestibilidad de la proteína del kikuyo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que el mayor valor obtenido en el tratamiento T4LM estuvo más relacionado con el grado de solubilidad de los componentes proteicos en respuesta a la fertilización que con la edad a la que se cortó el pasto. En este sentido Orskov, citado por Portilla, Rodriguez y Sarralde (67) manifiesta que la fracción soluble se adhiere rápidamente a las paredes de las bacterias ruminales y por lo tanto se degrada en mayor cuantía, así mismo, las

proteínas menos solubles se adhieren más lentamente a las bacterias y son degradadas a diferente ritmo.

Adicionalmente, la interacción altamente significativa ($P < 0.01$) para el efecto tratamiento por labranza, hace suponer que un manejo adecuado en la preparación y fertilización del suelo en praderas de kikuyo, puede influir en la translocación de nutrientes entre ellos el nitrógeno desde el suelo hacia la planta reflejándose en un mayor tenor proteico y digestibilidad, lo cual está corroborado por la composición bromatológica de los tratamientos T4LM, T1LM, T3LM y T5LM (Tabla 6).

Por otra parte el contenido energético pudo haber incidido en la degradación de la proteína ya que el crecimiento, desarrollo y multiplicación de la microbiota ruminal requiere energía (ATP) y cuando los aportes energéticos no son adecuados se reflejará indiscutiblemente en una menor eficiencia en la degradación de la proteína (Potilla, Rodriguez y Sarralde, 72).

Es pertinente recalcar que al hacer mención a la proteína se hace en forma indiferente si el nitrógeno es de origen proteico o no proteico. Al respecto Bondi, (1988, 167) afirma que los forrajes cosechados en edad óptima de corte poseen una relación adecuada entre nitrógeno proteico y no proteico. Esta relación puede inclinarse más al lado del nitrógeno no proteico cuando se habla de pastos tiernos debido posiblemente a las altas ratas de nitrógeno asimilable y translocación a los

tejidos foliares en los estadios tempranos de la planta mayormente cuando se la ha fertilizado (Vasquez y Torres, 295).

Por último las bajas digestibilidades obtenidas en los tratamientos testigos T0L0 y T0LM probablemente se deben a desbalances en la mencionada relación energía proteína (5.6 y 5.0 respectivamente), además de la presencia de compuestos proteicos poco solubles sobre los cuales el trabajo de degradación microbial es relativamente más lento. Según Church (262), las diferencias en la degradación ruminal de las proteínas, se relaciona con el grado de asociación de estas con las membranas de las células vegetales, la velocidad de la digestión de la membrana celular y la velocidad de la proteólisis.

6.4.3. Digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN). Los coeficientes de digestibilidad para esta variable se presentan en la Tabla 7 y Figura 36. El análisis de varianza (Anexo S) indica que existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para los efectos simples e interacciones con excepción de la interacción labranza por corte para la cual se encontró diferencias significativas ($P < 0.05$).

La mayor digestibilidad ($P < 0.05$) se obtuvo en el tratamiento T1LM con 64.32% seguido del T4LM con 62.54%. Los tratamientos con menor digestibilidad correspondieron al T0L0 y T1L0 con 48.98 y 47.8% respectivamente.

Los valores obtenidos se encuentran por encima de los reportados por Soto *et al.* citado por Carmona y Martínez (68) quienes encontraron digestibilidades del 44.97% para FDN en kikuyo cortado a una edad de rebrote de 39 días.

Posiblemente la degradabilidad mostrada por el T1LM, se debe en gran parte a la solubilidad de la hemicelulosa fracción considerada como potencialmente energética y de ataque rápido por los microorganismos del rumen. Sin embargo el contenido de hemicelulosa no presentó relación con la digestibilidad del FDN, posiblemente esto obedece a una interferencia en el proceso debido a las características químicas que enlazan a la celulosa con la lignina (Van Soest, 90)

Al respecto Portilla, Rodríguez y Sarralde (72) argumentan que la FDN necesita un trabajo digestivo previo para convertirse en una fuente real efecto que está corroborado por la tendencia descrita en la Figura 36 en la cual se observa un aumento generalizado en la desaparición de esta fracción a partir de las 24 horas de incubación.

Los mismos autores, (75) manifiestan que uno de los factores que mayormente incide en la digestibilidad de la FDN es la edad de la planta debido a que los polisacáridos estructurales representan la mayor parte del material de las membranas de las células vegetales, las cuales se inician con una membrana pectinosa la cual con el avance de la madurez va siendo gradualmente sustituida por depósitos de celulosa y lignina, principales causantes de la disminución de la

digestibilidad a causa de los enlaces lignocelulósicos presentes en estas fracciones.

Lo anterior es corroborado por las digestibilidades promedias encontradas para los cortes 2 y 4, en los cuales se observó mayor edad de rebrote presentando similitud estadística ($P < 0.05$) con valores de 54.36 y 53.32% respectivamente (Anexo T.), mientras que los cortes 1 y 3 fueron estadísticamente similares con valores de 58.33 y 57.28% respectivamente, posiblemente debido a que el pasto cosechado a los cortes 1 y 3 alcanzó su máximo desarrollo a edad más temprana.

Por otra parte, las bajas digestibilidades obtenidas en los tratamientos T0L0 y T1L0 posiblemente obedecen a las características en la composición vertical de los componentes químicos de la planta, ya que como se analizó en el acápite de bromatología, los tratamientos bajo labranza cero presentaron menor alturas y menor área foliar, lo que se tradujo en un menor contenido de sustancias solubles por efecto de un deficiente aprovechamiento de la luz.

Al respecto, Benitez *et al.* (89) manifiestan que la composición vertical y morfológica de la planta tales como relación hoja:tallo e índice de área foliar, puede influir en la concentración en ciertos puntos como los tallos de compuestos fibrosos como celulosa, lignina y sílice que afectan la digestibilidad no solo de la FDN sino de la proteína y la materia seca.

6.4.4. Digestibilidad de la fibra detergente ácido (FDA). La Tabla 7 y Figura 37 presenta los datos para esta variable. Según el análisis de varianza (Anexo S) todas las fuentes de variación, efectos simples e interacciones presentan diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0.01$).

La prueba de Tukey reveló que los tratamientos T4LM y T2L0 con 60.68 y 57.07%, fueron estadísticamente superiores ($P < 0.05$) a los demás tratamientos. De otra parte, el valor más bajo ($P < 0.05$) se obtuvo en el tratamiento T0L0 con 39.96%.

Soto (53) reporta digestibilidades de 28.85, 40.25 y 48.77% para kikuyo cosechado a los 39, 50 y 78 días respectivamente, valores que se encuentran por debajo de los encontrados en esta investigación.

Por otra parte en los valores promedios para los cuatro cortes (Anexo T.), se observó una tendencia a la disminución de la digestibilidad en forma progresiva hacia el cuarto corte, lo cual concuerda con lo afirmado por Said citado por Soto (54), para quien la digestibilidad de la FDA y en general de todos los nutrientes del kikuyo disminuyen sustancial y consistentemente con el incremento en la edad de los tejidos.

Adicionalmente, la formación del artefacto ligno-celulósico así como tipos de enlaces de asociación con la lignina pueden influir para que se presenten digestibilidades bajas (Bondi, 295) con lo cual se corrobora también el valor bajo

obtenido en el T0L0 atribuible a la mayor lignificación presentada por este tratamiento como consecuencia de un déficit nutritivo en el suelo elevando la proporción de tallos los cuales se componen mayoritariamente de carbohidratos estructurales incluyendo celulosa y lignina. Por su parte Mc Donald *et al.* (215) afirma que forrajes con contenidos altos de carbohidratos estructurales especialmente lignina característica de los pastos viejos que no han sido fertilizados poseen digestibilidades bajas.

Adicionalmente, el efecto de la fertilización mineral sobre la digestibilidad de la FDA no fue totalmente clara aunque el tratamiento que alcanzó la mayor digestibilidad corresponde a un nivel de 75% fertilizante mineral y 25 % orgánico, sin embargo, su similitud estadística con el tratamiento T2L0 con 25% mineral y 75% orgánico hace suponer que los niveles crecientes de fertilizante mineral producen poco efecto en la digestibilidad del FDA posiblemente debido a una buena utilización por parte de la planta de los nutrientes aportados por el abono orgánico y al efecto complementario de las dos fuentes (Gros, 75)

Al respecto Carmona y Martínez (69) afirman que la aplicación de fertilizante nitrogenado mejora significativamente la digestibilidad de la FDA, sin embargo el incremento a 100 kg/N/ha aumentó de uno a tres unidades la digestibilidad en comparación con la dosis de 50 kg/N/ha.

6.4.5. Digestibilidad de la hemicelulosa. Los datos obtenidos para esta variable se consignan en la Tabla 7 y Figura 38. El análisis de varianza (Anexo S) indica que el efecto simple correspondiente a corte no presentó diferencias estadísticas,

de igual manera para la interacción labranza por corte. Las demás fuentes de variación presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0.01$).

Según la prueba de Tukey los tratamientos T1LM y T4LM fueron estadísticamente similares ($P < 0.05$) con valores de 66.9 y 66.56%; los tratamientos testigos T0LM y T0L0 presentaron los menores promedios con 56.39 y 55.05%. Los anteriores datos confirman lo expuesto con respecto al FDN y FDA, concluyendo que la hemicelulosa presenta valores correlacionados con estas fracciones.

Soto *et al.* citado Carmona y Martínez (68) reporta digestibilidades para hemicelulosa de 69.03, 81.71 y 80.62% en kikuyo cosechado a los 39, 50 y 78 días de rebrote y fertilizado con 100 kg/N/ha valores superiores a los encontrados en esta investigación.

El efecto corte no presentó diferencias estadísticas ($P < 0.05$) (Anexo T) posiblemente debido a que su naturaleza química y enlaces con la celulosas y lignina permitieron mantener los coeficientes de digestibilidad en forma constante a medida que avanzan los cortes (Portilla, Rodríguez y Sarralde , 89).

Por otra parte los menores valores obtenidos en los tratamientos testigos T0L0 y T0LM se pueden atribuir a un desbalance entre energía y proteína, ya que la falta de sincronización en la disponibilidad de ellos es el factor que más influye en los

bajos rendimientos microbianos y por ende en la fermentación de los carbohidratos estructurales (Orskov, 78).

6.4.6. Digestibilidad de la celulosa. La Tabla 7 y Figura 39 resume los datos obtenidos para esta variable. El análisis de varianza (Anexo S) reveló diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para todas fuentes de variación.

Según la prueba de Tukey, el tratamiento T2L0 superó a los demás tratamientos ($P < 0.05$) con un valor de 65.55% mientras que los tratamientos testigos T0L0 y T0LM obtuvieron los menores valores con 43.45 y 45.75% respectivamente.

Soto *et al.* citado por Carmona y Martínez (68) reportan coeficientes de digestibilidad para la celulosa de 64.48, 70.33 y 73.61% en kikuyo cosechado a los 78 días y con niveles de fertilización de 0, 50 y 100 kg/N/ha valores que son superiores a los encontrados en esta investigación.

Según Bondi (63) la importancia que tienen los rumiantes radica en su capacidad para utilizar los forrajes ricos en celulosa mediante de la acción de los microorganismos del rumen la celulosa se descompone por las celulasas microbianas en glucosa.

Quizá los menores contenidos energéticos, proteicos y el mayor contenido de lignina, fueron los responsables de la menor degradabilidad observada en los tratamientos testigos, pues como se sabe, los dos primeros favorecen el

crecimiento microbiano y con el la digestión de los carbohidratos estructurales y la lignina la interfiere al atrapar la celulosa en lo que Maynard *et al.* (1981, 196) denomina como “artefacto lignina”.

Adicionalmente, el mayor coeficiente de digestibilidad obtenido en el T2L0 se atribuye posiblemente a una adecuada relación energía:proteína, factor determinante en la digestibilidad de esta fracción ya que la cantidad y tipo de carbohidratos, principal fuente de energía son variables dependiendo en gran medida de la composición vertical de la planta.

En este sentido Church (321) comenta que la digestión de la celulosa está en función de la intensidad con la cual los microorganismos ruminales colonizan y degradan esta fracción, donde entra a jugar un papel preponderante la relación energía : proteína con respecto a un mayor crecimiento microbial en rumen y mayor colonización de la celulosa.

Por otra parte los menores valores obtenidos en los tratamientos T0L0 y T0LM son atribuibles posiblemente a las características presentadas por el artefacto lignina-celulosa el cual pudo influir en una menor solubilidad de la celulosa por un menor ataque microbiano en rumen debido a su grado de orientación molecular y cristalinidad (Portilla, Rodriguez y Sarralde, 81; Bondi, 65).

6.5. Análisis económico. El análisis económico (Tabla 8 y Anexo U) se abordó tomando como referencia el ingreso neto por concepto de producción de biomasa

seca/ha/año para lo cual se asignó un valor comercial por kg de materia seca de \$150*

El mayor ingreso se encontró en los tratamientos T3LM con \$4.989.181, seguido del T2LM y T1LM con \$4.973.775 y \$ 4.837.784 respectivamente. Adicionalmente, el T3LM presentó comparativamente menor inversión entre dichos tratamientos con valores de \$437.050, \$445.725 y \$452.800 para T3LM, T2LM y T1LM respectivamente.

De otra parte, los menores ingresos se obtuvieron en los lotes testigos T0L0 y T0LM con \$2.085.908 y 2.673.616 \$ respectivamente tratamientos en los cuales a pesar de que los costos de producción/ha/año fueron los más bajos con \$46.400 y \$86.400 para T0L0 y T0LM respectivamente sus bajas producciones de biomasa seca influyeron en los bajos ingresos obtenidos para dichos tratamientos.

Los niveles crecientes de fertilización orgánica fue el factor de mayor influencia en el incremento de los costos de producción debido a las cantidades altas aplicadas.

Con respecto a la fertilización orgánica se observó un incremento en los ingresos netos en el bloque con labranza mínima, debido a que bajo este sistema, las

* Colacteos, (2002) comunicación personal

producciones de biomasa seca aumentaron, lo cual corroboran los tratamientos T1L0 y T1LM en los cuales se obtuvo un ingreso del orden de \$2.395.512 y \$ 4.837.784 respectivamente.

A pesar de las grandes cantidades de bovinaza necesaria para cubrir los requerimientos de nitrógeno a la planta e incremento en la mano de obra para su aplicación, el bajo costo de la tonelada de estiércol vacuno permitió subsanar en cierto grado los costos de producción. Por otra parte la mejora en la fertilidad del suelo permitirá a mediano y largo plazo obtener mayores ingresos, ya que el uso de fertilizantes químicos se reducirá gradualmente además de que permite la sostenibilidad del sistema lo cual constituye un beneficio invaluable.

De otra parte los lotes T0L0 y T0LM presentaron la relación beneficio:costo más alta, con 45 y 30.9 respectivamente, lo cual se debió a sus bajos costos de producción. Sin embargo, el forraje obtenido de estos lotes fue de baja calidad, prueba de ello son sus bajos coeficientes de digestibilidad.

Se observó que la aplicación combinada de fertilizante orgánico y mineral generó un mayor beneficio cuando se aplicó labranza mínima lo cual está corroborado por los tratamientos T1LM (10.7), T2LM (11.2), T3LM (11.4) y T4LM (9.3) en comparación con el T1L0 (5.9), T2L0 (7.6), T3L0 (7.6) y T4L0 (8.2).

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones.

7.1.1. El efecto complementario del estiércol y el fertilizante mineral mejoró su biodisponibilidad por su adecuada incorporación al horizonte agrícola lo que se vio reflejado en un incremento positivo en los rendimientos agronómicos.

7.1.2. La aplicación en fresco y sobre la línea de labranza del abono orgánico y/o mineral, incrementó los contenidos de proteína y energía digestible y a su vez disminuyó la pared celular.

7.1.3. El incremento en las concentraciones de nitratos en el suelo fue evidente al aplicar labranza mínima, sobresaliendo los tratamientos T2LM con 126.9 ppm, seguido del T4LM y T5LM con 82.6 ppm para cada uno.

7.1.4. La labranza mínima permitió el reordenamiento de los poros y esponjamiento de la capa superficial reflejándose en una mejora en las propiedades físicas como densidad aparente, porosidad total y capacidad de campo.

7.1.5. La materia orgánica aumentó su fracción porcentual en el suelo mayoritariamente al aplicarla a una profundidad entre 10 y 20 centímetros que cuando se aplicó superficialmente.

7.1.6. La aireación de la rizósfera permitió un incremento en la población nitrificante debido a mejora en la relación oxígeno:humedad necesaria para estos microorganismos por su naturaleza aerobia.

7.1.7. El agotamiento en el nivel de nutrientes con el avance de los cortes se reflejó en bajas digestibilidades especialmente por el incremento de los carbohidratos estructurales y enlaces lignocelulósicos.

7.1.8. Los tratamientos bajo labranza mínima y fertilización orgánica y/o mineral obtuvieron los mayores ingresos netos/ha/año, siendo los niveles crecientes de fertilización orgánica, el factor de mayor incidencia en los costos de producción por las altas cantidades aplicadas.

7.2. Recomendaciones.

7.2.1. Divulgar y transferir los resultados de esta investigación con el propósito de adoptar nuevas alternativas con respecto al manejo y rehabilitación de praderas de kikuyo.

7.2.2. Evaluar el efecto de diferentes niveles y presentaciones de estiércol de bovino, cerdo y cuy bajo un sistema de labranza mínima sobre la productividad agronómica, composición de los pastos y repercusiones en los suelos de la zona Andina.

7.2.3. Llevar a cabo pruebas de comportamiento en bovinos con pasto kikuyo cultivado bajo los parámetros técnicos propuestos en esta investigación.

7.2.4. Evaluar el fraccionamiento corte a corte y diferentes niveles de bovinaza bajo labranza mínima en el comportamiento agronómico y nutricional del pasto kikuyo.

7.2.5. Utilizar las proporciones de fertilizante orgánico y/o mineral propuestas para los tratamientos T1, T2, T3 y T4 bajo labranza mínima dependiendo de la disponibilidad de bovinaza.

7.2.6. Sustituir en forma gradual el uso de fertilizantes químicos por estiércol producido en la misma finca a fin de aprovechar sus bondades en la fertilidad de los suelos y disminuir los problemas de contaminación causadas por su mala disposición

BIBLIOGRAFIA

ALZATE, Rodrigo. y MUÑOZ, Juan. Utilización del estiércol de cerdo en la fertilización de los pastos. Medellín, Colombia, 1983., 44 p. Trabajo de grado (Zootecnista). Universidad Nacional. Facultad de ciencias agropecuarias.

AOAC (Official Methods of Analysis. Ass. Off.). Agricultural Chemist. 16th ed. Washington, D.C. 1995. 125 p.

APRÁEZ, Edmundo. Análisis químico de los alimentos. Pasto, Colombia: Editorial Universitaria. Universidad de Nariño, 1994. 167 p.

ATUESTA, Roberto . y GONZALES. Germán. Niveles de nitritos y nitratos en algunos pastos de la Sabana de Bogotá, Colombia, 1993., 40p. Trabajo de grado (Zootecnista). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia.

BARBOSA, Carlos. y POSADA, Ivan. Comparación cualitativa y cuantitativa entre el compost y lombricompost de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*

Hoechst) y clavel (*Dianthus caryophyllus*). Bogotá, Colombia. 1994., 141 p. Trabajo de grado (ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional. Facultad de Agronomía.

BAVER, L.D. Física de suelos. México: Hispanoamericana, 1973. 529 p.

BENAVIDES, Segundo. Valor nutritivo del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst). Bogotá, Colombia. 1976., 45p. Trabajo de grado (Magister Scientiae). Universidad Nacional. Programa de estudios para graduados en ciencias agrarias. ICA.

BENAVIDES, Homero., RUIZ, Hugo. y LEGARDA, Lucio. Evaluación de algunos componentes de la fertilidad del suelo y su influencia en la dinámica nutritiva en suelos de clima medio y frío en el departamento de Nariño. En Revista de investigaciones. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia, N°1. vol 10. 2000. 111-126 pp.

BENITEZ, C., et al. Los pastos en Cuba. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba: Pueblo y educación. 1983. 676 p.

BERNAL, Jorge. Pastos y forrajes tropicales. 3a ed. Bogotá, Colombia: Buda. 1994. 569 p.

BLASCO, Mario. Curso de microbiología de suelos. Turrialba, Costa Rica: Centro Interamericano de ciencias agrícolas de la OEA. 1970. 247 p.

BONDI, Aron. Nutrición animal. Zaragoza. España: Acribia. 1988. 564 p.

BUBANO, Hernan. Las enmiendas orgánicas. En: Fertilización de cultivos de clima frío. Bogotá, Colombia: MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANOS. S.A. 1998. 361-398 pp.

_____ . El suelo, una visión sobre sus componentes biorgánicos. Pasto, Colombia: Editorial Universitaria. Universidad de Nariño. 1989. 447 p.

BURBANO, V. y SANCHEZ, B. Respuesta del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) a fuentes de nitrógeno y un abono compuesto en el altiplano de Pasto. Pasto, Colombia. 1986., 61p. Trabajo de grado (Zootecnista). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias pecuarias, Programa de Zootecnia.

BURGES, A. Introducción a la microbiología del suelo. Zaragoza, España: Acribia. 1996. 139 - 155 pp.

CADAVID, Elkin. y VALLEJO, Luís. Respuesta del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) a la aplicación de cal en un suelo ácido del altiplano norte de Antioquia. Medellín, Colombia 1993., 56 p. Trabajo de grado (Zootecnista). Universidad de Antioquia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia.

CAIRO, Pedro y QUINTERO, Giraldo. Suelos. La Habana, Cuba: Pueblo y Educación. 1987. 367p.

CARMONA, Prixila. y MATINEZ, Lucia. Potencial forrajero del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). En: Memorias del seminario de Zootecnia. Medellín, Colombia, Universidad Nacional, Facultad de ciencias agropecuarias, 1988, 80 p.

CARRILLO, Wilson. y AVELLA, Jaime. Respuesta del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) a varias fuentes y niveles de nitrógeno en Tuta y Firavitova- Boyacá. Tunja, Colombia. 1985., 109 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias agropecuarias. Programa de agronomía.

CASTAÑEDA, Pedro. Diseño de experimentos pecuarios. México: Trillas. 1990. 348 p.

CASTILLO, E., et al. Efecto de la fertilización nitrogenada en la época lluviosa sobre la productividad, composición química y digestibilidad In vitro del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) bajo pastoreo en el Cantón del Coronado, En Agronomía Costarricense N° 7, vol 5 (febrero de 1990). 9- 15 pp.

CASTRO, Daniel. Influencia del grado de disturbación del suelo y efecto fisiológico de un herbicida de contacto en una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst). Pasto, Colombia. 1990., 107 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias agrícolas. Programa de agronomía.

CASTRO, Leonor. Y GUTIERREZ, Fabian. Respuesta del cultivo de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) a la fertilización con gallinaza reforzada y fertilizantes químicos en la Tebaida, Quindio. Manizales, Colombia. 1996., 125 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía.

CASTRO, Nelson. y MEJÍA, Ivan. Efecto de bacterias solubilizadoras de fósforo en la producción del cultivo del arroz (*Oriza sativa* .L). Bogotá, Colombia. 1999., 3 - 11 pp. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional. Facultad de Agronomía.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Establecimiento y renovación de pasturas. Veacruz, México: CIAT. Noviembre de 1988. 426 p.

CINO, Maria y DE ARMAS, Carmen. Metodología para la evaluación económica de proyectos de investigaciones agropecuarias. La Habana, Cuba: Instituto de Ciencia Animal, 1996. 127 p.

CRESPO, G., et al. Los pastos en Cuba. La Habana Cuba: Ed: Pueblo y Educación. 1998. 345- 416 pp.

CRESPO, Gerardo. Estiércol líquido vacuno para la producción de pastos. La Habana, Cuba: Pueblo y educación. 1990. 33p.

CHAMORRO, Helena. Correlación entre la población de lombriz de tierra y las características físico-químicas de tres suelos seleccionados de la Sabana de Bogotá. Bogotá, Colombia. 1981., 87 p. Trabajo de grado (Magister Scientiae). Universidad Nacional. Programa de estudios para graduados en ciencias agrícolas. ICA.

CHEEKE, Peter. Alimentación y nutrición del conejo. 1^{ra} edición. Zaragoza, España: Acribia. 1995. 127 p.

CHURCH, C. El Rumiante: Fisiología digestiva y nutrición. Mexico: Acribia. 1996. 456 p.

CHURCH, D. y POND, W. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 6° ed. México: UTEHA. 1988. 438 p.

DELGADO, H. Y CABRERA, M. Efecto de diferentes fuentes y dosis de Nitrógeno y su influencia en la concentración de nitritos y nitratos en el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoescht). Pasto, Colombia. 1989., 98 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agronómicas. Programa de Agronomía.

DEMOLON, A. Dinámica del suelo. 5° edición. La Habana, Cuba: Edición Revolucionaria. 1995. 521 p.

EVANGELISTA, Ricardo. y PORTO, Gudesteu. Forragicultura. Lavras, Brasil: Universidad Federal de Lavras (UFLA). 1997. 246 p.

FERRUZZI, Carlo. Manual de lombricultura. 1° edición. Madrid, España: Mundiprensa. 1994. 138 p.

GARCIA, Esteban. El nitrógeno en los acuarios. 2001. 1-3 pp. (consulta vía internet, URL : [http\ FAO.org\ag\ags\AGSE\agse.s\general\CONTENTS.htm](http://FAO.org/ag/ags/AGSE/agse.s/general/CONTENTS.htm))

GIRALDO, Alfonso. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural. En : Memorias de dos seminarios internacionales sobre sistemas silvopastoriles. Bogotá, Colombia: CORPOICA, 1995. 159-186 pp.

GRILLO, Luís. y CAMERO, Mario. Efecto de tres sistemas de labranza sobre poblaciones de malezas y condiciones físicas del suelo en cuatro hortalizas de transplante. Bogotá, Colombia. 1981., 87 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional. Facultad de Agronomía.

GROS, André. Abonos, guía práctica para la fertilización. La Habana, Cuba: Ediciónl Revolucionaria. 1966. 397 p.

GUERRERO, Ricardo. Diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 1980. 141 - 179 pp.

_____. Fertilización de cultivos en clima frío. Bogotá, Colombia: MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANOS. S.A. 1998. 425 P.

HERRERA, Pablo. y AMÉZQUITA, Edgar. Efecto de la labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo. Bogotá, Colombia. 1989., 72 p. Trabajo de grado (Agrólogo). Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Agrología.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Métodos analíticos de laboratorio de suelos. 6° edición. Bogotá, Colombia: Subdivisión Agrológica. 1995. 502 p.

JACOB, A. Fertilización, nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. La Habana, Cuba: Revolucionaria. 1967. 626 p.

JURADO, Oscar. y JURADO, Raul. Variaciones estacionales de algunas propiedades físicas y químicas de dos suelos del altiplano de Pasto, Nariño, Colombia. Pasto, Colombia. 1977., 66p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Agronomía.

LAREDO, Alberto. y MENDOZA, Pablo. Valor nutritivo de pastos de zonas frías. I pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoeschst) anual y estacional. En Revista ICA. N° 4, 1982. 157 - 165 pp.

LUNA, C. y SUAREZ, V. El potasio en suelos derivados de cenizas volcánicas. Bogotá, Colombia: s.e. 1978. 38 p.

MACHADO, Daniel. y DAVILA, Ciro. Efectos de la fertilización con N,P y K. Y el microclima, en la asociación de alfalfa (*Medicago sativa*) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), bajo pastoreo rotativo. Merida, Venezuela. 1997. 9 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP). Universidad de Los Andes.(consulta vía internet. URL : [http\ FAO.org\ag\ags\AGSE\agse.s\general\CONTENTS.htm](http://FAO.org/ag/agse/agse.s/general/CONTENTS.htm)).

MARTINEZ, Orlando. Métodos estadísticos y diseño de experimentos en investigación agrícola y pecuaria. Bogotá, Colombia: s.e. 1994. 91 - 235 pp.

MAYEA, Sergio., NOVO, René. y VALIÑO, Agustín. Introducción a la microbiología del suelo. La Habana, Cuba: Pueblo y educación. 1982. 187 p.

MAYEA, Segio., et al. Introducción a la microbiología de suelos. La Habana, Cuba: Pueblo y educación. 1982. 187p.

MAYNARD, Leonard., et al. Nutrición animal. México: McGraw-Hill. 1981. 629 p.

Mc DONALD., et al. Nutrición Animal. Zaragoza, España: Acribia. 1995. 576 p.

MEDINA, Iuís. Rendimiento, composición química y digestibilidad *In vitro* del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoehst). 1980. 2-5 pp. (consulta vía internet. URL : [http\ fao.org\noticias\2000\000501](http://fao.org/noticias/2000/000501)).

MUÑOZ, A. y ALVARADO, E. Respuesta de la papa a la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio, gallinaza y cal en suelos de los municipios de San Pedro y Belmira en el departamento de Antioquia. En ICA Programa Nacional de Suelos. Informe de progreso. Bogotá, Colombia. 1980. 206 - 210 pp.

NAVARRETE, Eduardo. Respuesta del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) a la aplicación de diferentes fuentes y dosis de Nitrógeno. Bogotá, Colombia. 1996., 150 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

NOVO, René., et al. Prácticas de laboratorio de microbiología. La Habana, Cuba: Pueblo y educación. 1995. 84 p.

OROZCO, Hernando. Los microorganismos y su relación con la fertilidad y fertilización del suelo. Medellín, Colombia. 1990. 63 - 82 pp.

_____. Valor fertilizante del estiércol líquido porcino “porquinaza” en pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst). En: Revista Despertar lechero. Medellín, Colombia. N° 8, 1996. 48 - 55 pp.

ORSKOV, O. Nutrición proteica de los rumiantes. España: Acribia, 1982. 176 p.

ORTIZ, William. y OSSA, Ana. Evaluación de la estructura en praderas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) bajo dos sistemas de renovación. Medellín,

Colombia. 1986. 3 - 13 pp. Trabajo de grado (Ingeniero Agronomía). Universidad Nacional. Facultad de Agronomía.

PEÑA, Manuel. Fitotecnia de los pastos. La Habana, Cuba: Pueblo y educación, 1995. 57 p.

PIÑEROS, Jesús. Informe sobre el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). En: Revista Boletín Agrícola. Bogotá, Colombia, , No. 3, Vol.6. (Marzo, 1993) 5-7 pp.

PORTILLA, Wilson., RODRIGUEZ, Patricia. y SARRALDE, Carmen. Evaluación nutricional y degradabilidad *In situ* de algunas arbóreas y arbustivas con potencial forrajero para la suplementación de rumiantes en el altiplano de Nariño. Pasto, Colombia. 2000., 125 p. Trabajo de grado (Especialización en producción de bovinos para leche). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa Zootecnia.

RIOS, Jairo. Efecto del uso del arado de vertedera sobre el desplazamiento del suelo en ladera. Conferencias Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, 2001. 3 p.

RODRIGUEZ, Marino. Influencia de la reducción de operaciones de labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo, erosión y escorrentía. Bogotá, Colombia. 1984., 83p. Trabajo de grado (Magister Scientiae), Universidad Nacional. Programa de estudios para graduados en ciencias agrícolas. ICA.

SKERMAN, P. y RIVEROS, F. Gramíneas tropicales. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1992. 635 - 643 pp.

SOTO, Luís. digestibilidad y consumo voluntario del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) en ovinos bajo fertilización nitrogenada. Bogotá, Colombia. 1979., 83p. Trabajo de grado (Magister Scientiae). Universidad Nacional. Programa de estudios para graduados en ciencias agrícolas. ICA.

STUDERT, Guillermo. Labranza conservacionista. Balcarce, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Mar del Plata, UIB. 2001. 5p (consulta vía internet. URL : [http\ FAO.org\ag\ags\AGSE\agse.s\general\CONTENTS.htm](http://FAO.org/ag\ags\AGSE\agse.s\general\CONTENTS.htm)).

URBANO, Diannelys. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de tres gramíneas tropicales. Venezuela. 1996. 1-5 pp. (consulta vía internet. URL : [http\ FAO.org\ag\ags\AGSE\agse.s\general\CONTENTS.htm](http://FAO.org/ag\ags\AGSE\agse.s\general\CONTENTS.htm)).

VAN SOEST, Peter. Nutritional ecology of the ruminant. New York: Cornell University Press. 1994. 476 p.

VASQUEZ, E. y TORRES, S. Fisiología vegetal. La Habana, Cuba: Pueblo y educación. 1987. 643 p.

VILLEGAS, L., ROMERO, G. y RAMIREZ, R. Vida en el suelo y sus relaciones con los sistemas de labranza. En Revista cuadernos de Agronomía. Universidad de los Llanos Orientales, Colombia, vol 3. N°4. 1998. 21-31 pp.

WHITEHEAD, D. The Role on Nitrogen in Grassland Productivity. Berkshire, England: Commonwealth Agricultural Bureaux. 1970. 196 p.

WHITNEY, A.S. Growth of kikuyu grass kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) unde clipping In: Agronomy journal N° 2, vol 66. 1974. 281 - 287 pp.

ZURITA, Jorge. y VANEGAS, Carlos. Efecto de diferentes fuentes y dosis de nitrógeno sobre la producción de forraje y la acumulación de nitratos en los raigrases tertralite y terli. Bogotá, Colombia. 1986., 102 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional.

ANEXO

