

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
Escuela de Zootecnia

DISPONIBILIDAD Y VALOR NUTRICIONAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE TETRAPLOIDE
(*Lolium perenne*) EN LAS ZONAS ALTAS DE COSTA RICA

LUIS ALONSO VILLALOBOS VILLALOBOS

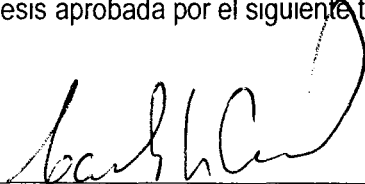
Tesis presentada para optar por el título
de Ingeniero Agrónomo en el grado académico
de Licenciado en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Setiembre del 2006

TESIS PRESENTADA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO EN ZOOTECNIA

Tesis aprobada por el siguiente tribunal examinador:



Ing. Carlos Arroyo Oquendo M. Sc.

Director de Escuela



Ing. Jorge Manuel Sánchez González M. Sc.

Director de Tesis



Ing. Augusto Rojas Bourrillón M. Sc.

Miembro del Tribunal



Licda. Mayra Montiel Gonghi M. Sc.

Miembro del Tribunal



Ing. Agr. Adrián Benavides Sánchez

Miembro del Tribunal



Luis Alonso Villalobos Villalobos

Sustentante

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por darme la vida y brindarme la oportunidad de alcanzar una meta más de las que me he propuesto.

A mis padres por darme la vida.

A mi madre por todos los sacrificios hechos durante mi carrera que generan frutos, como este trabajo y por ser un ejemplo a seguir en la ayuda desinteresada a las demás personas.

A mi padre por apoyarme para seguir adelante y por estar cuando lo he necesitado

A mi abuela "Yaya" por enseñarme a vivir la vida con plenitud y que los sueños se pueden alcanzar con sacrificio, esfuerzo y trabajo.

A mis hermanos Nati y Marito por brindarme su apoyo en la realización de este y muchos proyectos más de mi vida.

A mi novia Yerlin, por ser un gran apoyo y por llegar en un momento tan importante a mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Don Jorge Sánchez por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación en la que he aprendido y disfrutado haciendo lo que me gusta.

A Don Carlos Arroyo por sus adecuados consejos durante mi carrera en aspectos estudiantiles y personales, a la Ing. Maritza Araya por su apoyo durante las giras, al Ing. Adrián Benavides por su colaboración en la búsqueda de las fincas, a Doña Mayra Montiel y a Don Henry Soto por sus valiosos aportes a este trabajo y colaboración en el análisis estadístico.

A los profesores Gilberto Cabalceta por su desinteresada colaboración en el diagnóstico de fertilidad de suelos y Floria Bertsch por los análisis realizados en el Centro de Investigaciones Agronómicas.

A los productores por permitirme llevar a cabo los muestreos en sus fincas: Doña Gabriela Arrea, Don Noreh Gómez, Don Bernardo Gómez, Don Roberto Gómez y especialmente a Don Rolando Ferrero, así como a las personas que laboran en sus fincas por su valiosa colaboración.

Al personal del Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, en especial a Gerardo Alvarado, Alexander Hernández, Alexander Jiménez, Rigoberto Corrales y muy especialmente a mi compañero, jefe y amigo Adrián Martínez (Toca) por toda la invaluable ayuda recibida.

Por último, pero no menos importantes, a mis grandes amigos Sergio Salazar, Marco Castro, Pamela Castro, Marcela Andrade, Randall Arguedas, Catalina Salas, Siany Ramírez, Arturo Aguilar y Armando Zúñiga, por brindarme su apoyo, gracias a todos.

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE CUADROS	VII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE ABREVIATURAS	XI
RESUMEN	XII
I. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1 DESCRIPCIÓN DEL RYEGRASS PERENNE	7
2.1.1 Clasificación botánica del ryegrass perenne	8
2.1.2 Distribución y adaptación del ryegrass perenne	9
2.2 ASPECTOS AGRONÓMICOS	13
2.2.1 Establecimiento del ryegrass perenne	13
2.2.2 Edad fenológica como criterio de pastoreo	18
2.2.3 Producción de biomasa	25
2.2.4 Aprovechamiento (Utilización)	29
2.3 CALIDAD NUTRICIONAL	30
2.3.1 Relación entre nitrógeno y carbohidratos solubles	31
2.3.2 Componentes de la pared celular	37
2.3.3 Contenido mineral	39
2.3.4 Contenido de energía	43
III. MATERIALES Y MÉTODOS	45
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y CLIMATOLOGÍA	45
3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS FINCAS	49
3.3 TÉCNICA DE MUESTREO PARA ESTIMAR LA DISPONIBILIDAD DE MATERIA SECA DEL PASTO	52
3.4 TÉCNICA DE MUESTREO Y MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS PARA ESTIMAR EL VALOR NUTRICIONAL	53
3.5 TÉCNICA DE MUESTREO PARA ESTIMAR EL NÚMERO DE HOJAS AL PASTOREO (EDAD FENOLÓGICA)	54
3.6 METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL DE LA PLANTA	54
3.7 METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD POTENCIAL DEL FORRAJE PARA PRODUCIR LECHE CORREGIDA POR ENERGÍA Y PROTEÍNA	54
3.8 METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LA PASTURA	55
3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	55
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.1.1 DISPONIBILIDAD DE MATERIA SECA DEL PASTO RYEGRASS PERENNE	58
4.1.2 APROVECHAMIENTO POR HECTÁREA Y PORCENTAJE DE APROVECHAMIENTO	65
4.2 CONSUMO DE MATERIA SECA DEL PASTO RYEGRASS PERENNE	68
4.3 COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LAS PASTURAS DE RYEGRASS PERENNE	71

4.4	EDAD FENOLÓGICA DEL PASTO RYEGRASS PERENNE	78
4.5	COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE (RELACIÓN HOJA-TALLO)	80
4.6	CALIDAD NUTRICIONAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE	84
4.6.1	Contenido de materia seca.....	84
4.6.2	Contenido de proteína cruda	85
4.6.3	Componentes de la pared celular.....	87
4.6.3.1	Fibra detergente neutro.....	87
4.6.3.2	Fibra detergente ácida	90
4.6.3.3	Hemicelulosa y celulosa.....	92
4.6.3.4	Lignina	93
4.6.4	Extracto etéreo	94
4.6.5	Cenizas	95
4.6.6	Contenido mineral	96
4.6.6.1	Macrominerales	96
4.6.6.2	Microminerales.....	101
4.6.7	Contenido de carbohidratos no fibrosos.....	105
4.6.8	Digestibilidad "in vitro" de la materia seca	107
4.6.9	Contenido de energía	108
4.6.9.1	Total de nutrimentos digestibles.....	108
4.6.9.2	Contenido de energía en términos calóricos	110
4.7	CAPACIDAD POTENCIAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE PARA PROUCIR LECHE CORREGIDA POR ENERGÍA Y PROTEÍNA	113
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		115
5.1	DISPONIBILIDAD DE MATERIA SECA DEL PASTO RYEGRASS PERENNE	115
5.2	COMPOSICIÓN BOTÁNICA EN LAS PASTURAS DE RYEGRASS PERENNE	116
5.3	EDAD FENOLÓGICA DEL PASTO RYEGRASS PERENNE	117
5.4	COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE	117
5.5	CALIDAD NUTRICIONAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE	118
5.5.1	Materia seca y proteína cruda.....	118
5.5.2	Componentes de la pared celular.....	118
5.5.3	Extracto etéreo y cenizas	119
5.5.4	Contenido macro y micromineral.....	119
5.5.5	Carbohidratos no fibrosos y DIVMS	120
5.5.6	Contenido de energía.....	121
5.6	CAPACIDAD POTENCIAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE PARA PRODUCIR LECHE CORREGIDA POR ENERGÍA Y PROTEÍNA	122
LITERATURA CITADA.....		123

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características de morfología, fisiología y requerimientos de adaptación del pasto ryegrass perenne	18
Cuadro 2. Composición química de cuatro cultivares de ryegrass en estado vegetativo y reproductivo	22
Cuadro 3. Producción de materia seca de ryegrass bajo diferentes condiciones	27
Cuadro 4. Producción total de materia seca de ryegrass anual de tres cultivares en dos años consecutivos.....	27
Cuadro 5. Producción de biomasa (en Kg de MS / ha) de dos cultivares de ryegrass italiano en dos regímenes de temperatura	28
Cuadro 6. Producción de materia seca en ryegrass italiano y perenne con diferentes métodos de siembra y sembrados en diferentes épocas	29
Cuadro 7. Contenido de materia seca, proteína cruda y carbohidratos no estructurales para diferentes tipos de ryegrass y a diferentes estados de cosecha	33
Cuadro 8. Carbohidratos foliares y proteína en ryegrass anual (<i>Lolium multiflorum</i>) bajo dos concentraciones atmosféricas de CO ₂	35
Cuadro 9. Contenido de proteína de ryegrass italiano y perenne con diversos métodos de siembra y sembrados en diferentes épocas	36
Cuadro 10. Concentración de nutrientes en dos tipos de ryegrass italiano producidos en ambientes controlados bajo regímenes caliente y frío	37
Cuadro 11. Composición de la pared celular de ryegrases en diversos estados de cosecha	38
Cuadro 12. Contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) en ryegrass italiano y ryegrass perenne con diversos métodos de siembra y sembrados en diferentes épocas.....	38
Cuadro 13. Componentes de la pared celular de dos cultivares de ryegrass italiano bajo dos regímenes de temperatura	39
Cuadro 14. Contenido mineral del ryegrass en diversos estados de cosecha	40
Cuadro 15. Composición mineral del ryegrass italiano y el ryegrass perenne	42
Cuadro 16. Composición mineral de dos cultivares de ryegrass italiano bajo dos regímenes de temperatura.....	42
Cuadro 17. Contenido de energía del ryegrass a diversos estados de cosecha	44

Cuadro 18. Análisis químico para las muestras de suelo de las cuatro fincas ubicadas en Chicua, Oreamuno y consideradas en la investigación	50
Cuadro 19. Disponibilidad promedio por ciclo de pastoreo de la materia seca del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche evaluadas durante un año, en la zona de San Juan de Chicua, Oreamuno	59
Cuadro 20. Producción de biomasa del pasto ryegrass perenne a lo largo de un año en la zona de San Juan de Chicua, Oreamuno	61
Cuadro 21. Aprovechamiento del pasto ryegrass perenne en los potreros pastoreados en horas de la mañana o de la tarde en cuatro fincas de ganado de leche en la zona de San Juan de Chicua, Oreamuno	67
Cuadro 22. Aprovechamiento del pasto ryegrass perenne entre las vacas de la raza Holstein y las de raza Jersey, en cuatro fincas de ganado de leche en la zona de San Juan de Chicua....	68
Cuadro 23. Rango de unidades animales y de consumo por hectárea y consumo por hectárea promedio en potreros de ryegrass perenne durante un período de un año en la zona de San Juan de Chicua	69
Cuadro 24. Consumo de MS según el método de reversa del NRC (2001) y la estimación del Botanal® en una de las fincas analizadas.....	71
Cuadro 25. Composición botánica de las pasturas de ryegrass perenne en la zona de San Juan de Chicua a lo largo de un año.....	73
Cuadro 26. Composición botánica de las pasturas de ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche en la zona de San Juan de Chicua	77
Cuadro 27. Edad fenológica del pasto ryegrass perenne a lo largo de un año en la zona de San Juan de Chicua, Oreamuno	78
Cuadro 28. Edad fenológica promedio del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche en la zona de San Juan de Chicua	79
Cuadro 29. Composición estructural de la planta de ryegrass perenne a lo largo de un año, en potreros de la zona de San Juan de Chicua.....	81
Cuadro 30. Composición estructural de la planta de ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche en la zona de San Juan de Chicua	83
Cuadro 31. Contenido de materia seca y proteína cruda del pasto ryegrass perenne en la zona de San Juan de Chicua	86

Cuadro 32. Contenido de materia seca y proteína cruda del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche en Chicua, Oreamuno	87
Cuadro 33. Contenido de los componentes de la pared celular del pasto ryegrass perenne en la zona de San Juan de Chicua	89
Cuadro 34. Componentes de la pared celular del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche de Chicua, Oreamuno	91
Cuadro 35. Contenido de extracto etéreo y cenizas del pasto ryegrass perenne a lo largo de un año en la zona de San Juan de Chicua.....	95
Cuadro 36. Contenido macro mineral del pasto ryegrass perenne en tres épocas del año en la zona de San Juan de Chicua	97
Cuadro 37. Contenido macro mineral del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche de Chicua, Oreamuno.....	100
Cuadro 38. Contenido micro mineral del pasto ryegrass perenne en tres tres épocas del año en la zona de San Juan de Chicua	103
Cuadro 39. Contenido micro mineral del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche de Chicua, Oreamuno	104
Cuadro 40. Contenido de carbohidratos no fibrosos y digestibilidad "in vitro" de la materia seca en el pasto ryegrass perenne durante un año en la zona de San Juan de Chicua	107
Cuadro 41. Contenido de carbohidratos no fibrosos y digestibilidad "in vitro" de la materia seca en del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche de altura	108
Cuadro 42. Contenido de energía del pasto ryegrass perenne a lo largo del año en la zona de San Juan de Chicua	109
Cuadro 43. Contenido de energía del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche de altura	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de crecimiento y recuperación de la planta en condiciones pospastoreo	24
Figura 2. Ubicación de la zona de estudio	45
Figura 3. Precipitación en la zona de Chicua, Oreamuno durante el año 2005	47
Figura 4. Horas de brillo solar promedio diarias por mes en la zona de Chicua, Oreamuno para el año 2005	48
Figura 5. Disponibilidad prepastoreo promedio (\pm 1 DE) (Kg MS / ha) del pasto ryegrass perenne a lo largo de un año en la zona de San Juan de Chicua, Oreamuno	64
Figura 6. Variación en la disponibilidad y aprovechamiento del pasto ryegrass perenne a lo largo del año en la zona de San Juan de Chicua	65
Figura 7. Simulación del efecto de las horas de ocupación de los potreros sobre el aprovechamiento por hectárea del pasto ryegrass perenne	66
Figura 8. Pasto Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) afectado en la época de época seca por el brillo solar y la cristalización del rocío en las hojas en la zona de San Juan de Chicua	72
Figura 9. Composición botánica de las pasturas de ryegrass perenne a lo largo del año en la zona de San Juan de Chicua	74
Figura 10. Ruibarbo (<i>Rumex sp.</i>), una de las malezas más comunes en los potreros de ryegrass perenne en la zona de San Juan de Chicua.....	75
Figura 11. Composición botánica de las pasturas de ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche en la zona de San Juan de Chicua	76
Figura 12. Distribución de la frecuencia de observaciones del número de hojas verdes por rebrote en el pasto ryegrass perenne en seis diferentes muestreos	80
Figura 13. Composición estructural y edad fenológica de la planta de ryegrass perenne a lo largo de un año en la zona de San Juan de Chicua	82
Figura 14. Contenido de materia seca y proteína cruda en el pasto ryegrass perenne a lo largo de un año.....	84
Figura 15. Contenido de la fibra detergente neutro y detergente ácido en el pasto ryegrass perenne a lo largo del año	92
Figura 16. Contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina del pasto ryegrass perenne en el año	94

LISTA DE ABREVIATURAS

AGV:	Ácidos Grasos Volátiles
Ca:	Calcio
CHOS:	Carbohidratos Hidrosolubles
CNE:	Carbohidratos No Estructurales
CNF:	Carbohidratos No Fibrosos
CHS:	Carbohidratos Solubles
Cu:	Cobre
CMS:	Consumo de Materia Seca
DIVMS:	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la Materia Seca
ED:	Energía Digestible
EM:	Energía Metabolizable
EN _G :	Energía Neta de Ganancia
EN _L :	Energía Neta de Lactancia
EE:	Extracto Etéreo
FDA:	Fibra Detergente Ácida
FDN:	Fibra Detergente Neutro
P:	Fósforo
Fe:	Hierro
Kg MS/ha:	Kilogramos de Materia Seca por hectárea
Mg:	Magnesio
Mn:	Manganeso
MS:	Materia seca
N:	Nitrógeno
K:	Potasio
PC:	Proteína cruda
Na:	Sodio
TND:	Total de Nutrientos Digestibles
Zn:	Zinc

RESUMEN

La mayor parte de la información con que se cuenta en nuestro país sobre los pastos de clima templado; como el ryegrass perenne; proviene de países cuyas latitudes distan de las condiciones tropicales en las que dichas especies se adaptan en Costa Rica. La zona de San Juan de Chicua, donde se llevó a cabo este estudio, se ubica a una latitud de 09°59' Norte con una longitud de 83°52' Oeste, a una altitud de 3090 msnm y la zona de vida donde está se clasifica como Bosque Pluvial Tropical de Montano. La precipitación promedio anual es de 1724,3 mm, la temperatura máxima y mínima promedio fueron de 15 y 3,6 °C respectivamente, lo que representó un valor promedio de 9,3 °C y las horas de brillo solar promedio fueron 5,3 a lo largo del año. De acuerdo con la climatología de esta zona se puede clasificar dentro de la región altitudinal de Montano y latitudinal de Templado frío, razón por la que el pasto ryegrass perenne se ha adaptado tan bien a las condiciones de la zona de estudio, siendo éste proveniente de clima templado.

En esta investigación se midió a lo largo de un año, en períodos bimestrales de muestreo, la producción de biomasa del pasto ryegrass perenne por medio de variables de disponibilidad pre y pos pastoreo (Kg MS/ha), aprovechamiento por hectárea y porcentaje de aprovechamiento; con el objetivo de que los productores de ganado de leche que cuentan con sistemas basados en esta especie de pasto, cuenten con valores confiables de producción que les permita realizar su presupuesto de pasto y prácticas de alimentación. Además se realizaron estimaciones de consumo por el método del Botanal® que se compararon con el método de reversa del NRC (2001). Con el objetivo de utilizar un parámetro novedoso para nuestro país, se realizaron mediciones de la edad fenológica del pasto (número de hojas), que es utilizado en países como Nueva Zelanda, para asociarla con las demás variables analizadas como calidad nutricional, composición botánica en las pasturas, composición estructural del pasto (relación hoja-tallo) y disponibilidad de materia seca.

Se realizó análisis de la calidad nutricional de la MS del pasto ryegrass perenne en su contenido de PC, pared celular (FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina), CNF, EE, cenizas y la DIVMS con base en los que se estimó su contenido energético de TND, ED, EM, EN_L y EN_G con el programa computacional del NRC (2001). Además su contenido macro y micromineral fue analizado. Se simuló la capacidad potencial del pasto ryegrass perenne de producir leche corregida por energía y proteína en base a la calidad nutricional y el consumo estimado.

La disponibilidad prepastoreo promedio fue de 4110 Kg de MS/ha y a lo largo del año se mantuvo entre 2600-6900 Kg de MS/ha, por lo que se estimó que en esta zona el pasto ryegrass perenne puede producir 40,5 toneladas de MS/ha/año y que en la época seca se puede acortar los períodos de recuperación de los potreros, ya que hubo un aumento significativo ($P < 0,05$) en su producción que hizo que el porcentaje de aprovechamiento disminuyera a 34 %, cuando el valor promedio en base a todas las estimaciones fue de 44,82 %. Las dos estimaciones de consumo (Botanal® y NRC, 2001) presentaron una diferencia de 8,24 % lo cual demuestra que el Botanal® es una herramienta apropiada y práctica para estimar la disponibilidad y consumo de pasto con una relación hoja:tallo amplia.

La composición botánica en las pasturas mostró un porcentaje de material senescente mayor en la época seca debido a que al haber más material verde, parte de éste muere y queda en la pastura; lo anterior coincidió con la edad fenológica mayor encontrada en los mismos meses de época seca; ya que después de 3 hojas y con el inicio del brote de la hoja 4, el material más viejo (hoja 1) empieza a morir. La composición estructural del pasto mostró una proporción de hoja promedio de 56,08 % y dicha

característica es beneficiosa para los animales que lo consumen, pues en dicha estructura se concentra la mayor cantidad de nutrimentos y es a su vez la que seleccionan los animales.

La calidad nutricional del pasto ryegrass perenne mostró un valor de PC promedio de 25,21 % que no varió a lo largo del año. El contenido de FDN fue significativamente mayor ($P < 0,05$) en época seca con un contenido de 58,56 %; en la época lluviosa disminuyó hasta 14 unidades porcentuales su contenido llegando a valores de 43,77 %, dicha tendencia se presentó igualmente en la hemicelulosa y celulosa. El contenido de CNF mantuvo una relación inversa con respecto al contenido de FDN y las variaciones en nutrimentos en el pasto se manifestaron igualmente en la DIVMS, cuyo valor promedio fue de 77,95 % y aumentó de forma significativa ($P < 0,05$) en la época lluviosa, así como sucedió con su contenido de energía estimado en TND, ED, EM, EN_L y EN_G con valores de 64,39 %, 3,04, 2,51, 1,58 y 0,99 Mcal/Kg de MS, respectivamente. En la finca 4 se pastoreó un material forrajero más tierno que el de las otras fincas, ya que su período de recuperación fue más corto, lo cual hizo que mostrara contenidos mayores de PC, CNF y energía y valores menores de FDN, FDA y lignina, manteniendo ésta y las demás fincas una producción sostenible.

El contenido macromineral mostró contenidos mayores de P y K en la época lluviosa y en Mg y Na no hubo variación significativa ($P < 0,05$) entre épocas. Los contenidos promedio de Ca, P, Mg, Na y K fueron 0,68, 0,39, 0,21, 0,05 y 3,64 %, respectivamente. Por otra parte el contenido de los microminerales Mn, Fe y Zn aumentó en la época seca y solo el Cu no varió entre las tres épocas representativas de época seca, transición y lluviosa estudiadas en el año de para los minerales. Los contenidos promedio de Cu, Mn, Fe y Zn fueron de 12,09, 51,29, 86,20 y 49,8 mg/Kg de MS, respectivamente. La capacidad potencial del pasto ryegrass perenne para producir leche se estimó en valores de hasta 11 Kg/animal/día para un animal promedio de raza Holstein en pastoreo y que no recibió suplementación.

I. INTRODUCCIÓN

Cada día alrededor del mundo se reduce el área destinada a los cultivos, lo que obliga a ser más eficiente en las diferentes etapas de la producción de alimentos. Dentro de esta tendencia la producción de pastos ha evolucionado y ha cambiado la perspectiva para ser considerados en la actualidad como un cultivo con todas las etapas de su ciclo productivo (preparación del terreno, siembra, fertilización, irrigación, control de plagas y cosecha). Así mismo, se conocen mejor sus requerimientos nutricionales; lo que permite obtener una mayor productividad y sostenibilidad del sistema. Debido a la presión demográfica, actualmente debe producirse más en áreas de menor tamaño, o bien producir mayor volumen en las áreas ya destinadas para tal fin.

Las especies de pastos de clima templado como ryegrass y festuca, introducidas en condiciones tropicales tienen ciertos requerimientos de adaptación, tales como altitud y temperatura, sin embargo, su introducción ha sido exitosa. La mayoría de la información con que se cuenta sobre estas especies proviene de países desarrollados, como Nueva Zelanda, Australia y los Estados Unidos, razón por la cual es necesario evaluar el comportamiento de estas especies en términos de producción de materia seca por año y de valor nutricional. Esta información es una herramienta de trabajo en las fincas de ganado de leche para realizar ajustes en la carga animal a lo largo del año, hacer balances nutricionales y contrarrestar los cambios en la disponibilidad y calidad del forraje que se presenten en diversas épocas para producir en forma sostenida a lo largo del año. La producción de leche de vacas pastoreando especies del subtrópico y trópico es baja comparada con especies de clima templado; el factor limitante primario en la producción de leche es el bajo consumo de energía asociada con la baja digestibilidad de los forrajes tropicales, por contener niveles de fibra más altos que los pastos de clima templado (Van Soest y Giner-Chavez 1994).

Sin importar el tipo de suplemento que se brinde a los animales dentro de una explotación pecuaria, lo cierto es que los forrajes son el recurso alimenticio más barato que se puede obtener, comprendiendo el 3,5 % de los costos de alimentación (los cuales representan alrededor de 41 % de los costos totales de producción) en fincas lecheras de Costa Rica (Solano y León 2005). Considerando que las especies de pastos de clima templado que se pueden adaptar a ciertas regiones del trópico son de alta calidad, se hace necesario su evaluación bromatológica en estas condiciones y su comportamiento a lo largo del año, permitiendo a los productores una mejor utilización del recurso forrajero y principalmente un ahorro en los costos de alimentación, al disminuir la cantidad de alimento balanceado que se deba suplir para obtener una productividad adecuada dentro de la empresa.

Dentro de una explotación pecuaria que dependa del recurso forrajero, se hace necesario conocer la disponibilidad de dicho recurso alimenticio para la zona específica donde esté ubicada la finca; e incluso conocer las diferencias de producción y calidad de la biomasa dentro de diversas áreas de la misma para poder prever prácticas de suplementación que permitan una producción sostenida a lo largo del año. Esta suplementación puede realizarse con otras fuentes de forraje, alimentos balanceados o subproductos de fácil accesibilidad en la zona. Lo anterior con base en un presupuesto de forraje a partir del cual se debe trabajar en las fincas como respaldo a la planificación de un sistema sostenible (Sánchez 2006).

Una de las principales limitantes en el trópico es el tipo de pastos con que se trabaja, aunque producen volúmenes bastante altos de materia seca, las características de su calidad nutricional son medias a bajas principalmente en energía; razón por la cual es necesario suplir este déficit nutricional por medio de los alimentos balanceados o por medio de subproductos de la agroindustria local (Sánchez y Herrera 2006)

Las condiciones climáticas de cada región son específicas e influyen sobre el desempeño de las diferentes especies de gramíneas o leguminosas, tanto en su producción (Kg MS/ha/año) como en la respuesta de los animales (palatabilidad, producción de leche, % sólidos totales, ganancia de peso). Considerando que el pasto es el recurso alimenticio más barato y de alta producción en el trópico, se debe buscar el máximo rendimiento y aprovechamiento del mismo durante la época lluviosa. Los excesos de forraje de la época lluviosa plantea la necesidad de recurrir a diferentes alternativas de conservación de forrajes verdes como el ensilaje o la henificación para suministrarlos a los animales en las épocas críticas (Boschini y Elizondo 2003).

Los criterios para determinar cuándo cosechar los pastos se han basado en días fijos de rotación, altura de las plantas desde la superficie y/o producción de biomasa. Estos criterios se han desarrollado basados en el número de animales, facilidades de mano de obra en las fincas y principios de repartición del alimento para el hato que pastorea. Sin embargo, a menudo el manejo del pastoreo ha sido separado en dos disciplinas (producción animal versus producción agronómica), dejando de lado la interacción entre las plantas en la pastura y los animales que pastorean (Donaghy y Fulkerson 2001).

Según Donaghy y Fulkerson (2001) el fijar la rotación en un determinado número de días es el método menos preciso; aunque se base en cambios estacionales esperados en el crecimiento de la pastura; ya que no toma en cuenta las variaciones climáticas entre años que afectará la época de rebrote y la cantidad de pasto presente al final de cada período. La altura de la pastura es más preciso, sin embargo, no considera la densidad de plantas en la pastura; además de que la altura está determinada por la composición de especies en la pastura, variación genotípica, fertilidad del suelo y disponibilidad de humedad. La producción de biomasa, que toma en cuenta tanto la altura como la densidad, es el más preciso de los tres métodos.

En los últimos años en países como Australia y Nueva Zelanda cuya producción de leche se basa primordialmente en el recurso forrajero, se ha incluido el criterio del conteo de número de hojas en el rebrote de las pasturas, el cual es más preciso, es genérico, menos estricto y refleja el estado de recuperación del pastoreo por la planta en términos de los niveles de energía de la planta y de la calidad de forraje apropiada para la nutrición de los rumiantes (Donaghy y Fulkerson 2001).

En el caso del ryegrass, se trata de una especie de pasto de tres hojas vivas, lo cual quiere decir que se recomienda pastorearlo cuando la primera hoja que emergió comienza la senescencia y la cuarta hoja comienza a emerger. Bajo este criterio en el género *Lolium* se ha visto que en el estado de tres hojas se incrementa no solo la acumulación neta de materia seca por la planta, sino también la persistencia y la calidad nutricional (Donaghy y Fulkerson 2001). En Costa Rica el ryegrass se encuentra principalmente en la zona de San Juan de Chicua en las cercanías del volcán Irazú y se cuenta con un área cultivada de 194 hectáreas en fincas de ganado de leche, las cuales aportan diariamente 31415 kilogramos de leche a la producción de alimentos del país (Dos Pinos 2002).

Los precios altos de los alimentos balanceados hacen que cerca del 41,0 % de los costos totales de producción, dentro de las fincas de ganado de leche tecnificadas en Costa Rica, correspondan a la alimentación (Solano y León 2005). Lo anterior se debe en parte a que algunas de las principales materias primas (maíz y soya) que tradicionalmente se utilizan en estos alimentos se deben importar, lo cual eleva los costos de los mismos. A pesar de lo anterior, se ha visto como una necesidad su utilización para poder suplir los requerimientos de los animales de muy buen potencial genético que se tienen en estas explotaciones, los cuales se han seleccionado para niveles altos de producción de leche en países desarrollados, pero que no pueden expresar todo su potencial productivo si no se les alimenta en forma adecuada.

El conocimiento de las variaciones en el contenido de nutrimentos en los pastos permite proveer una dieta balanceada al ganado de leche a lo largo del año. Este conocimiento da la oportunidad de balancear los nutrimentos de la pastura ajustando el tiempo de pastoreo y/o dando suplementos de calidad apropiada, según sean los requerimientos nutricionales y el potencial productivo de los animales bajo condiciones específicas (Fulkerson 1998). Los suplementos tienen que ser usados para compensar cambios estacionales en el crecimiento de la pastura (falta de alimento) y en su calidad, así mismo deben aportar flexibilidad al sistema para manejar la pastura apropiadamente. Para suplementar se debe tener presente que la respuesta dependerá del nivel de sustitución de pasto y el efecto de los suplementos en la digestión del forraje en el rumen. Si las vacas lactantes cuentan con pasto de buena calidad y se suplementan de manera abundante, resultará en una disminución en la utilización de la pastura (efecto sustitutivo) y esto afectará la productividad de la empresa (Donaghy y Fulkerson 2001).

El **objetivo general** de la presente investigación fue determinar la disponibilidad, aprovechamiento y el valor nutricional del pasto ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en cuatro fincas comerciales de ganado lechero ubicadas en la zona del volcán Irazú, durante un período de un año.

Objetivos específicos:

- ❖ Determinar la disponibilidad de materia seca del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas comerciales, durante un período de un año.
- ❖ Determinar el número de hojas en que se está pastoreando este forraje en la zona estudiada (edad fenológica de la planta).
- ❖ Evaluar la composición botánica de las pasturas.
- ❖ Evaluar la composición estructural de la planta.
- ❖ Estimar el aprovechamiento de la pastura y el consumo de materia seca por el animal.

- ❖ Determinar el valor nutricional del pasto Ryegrass perenne durante un periodo de un año considerando:
 - i. Proteína cruda
 - ii. Composición de la fibra (fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lignina, celulosa, hemicelulosa)
 - iii. Carbohidratos no fibrosos
 - iv. Digestibilidad 'in vitro' de la materia seca
 - v. Energía (TND, ED, EM, EN_L y EN_G)
 - vi. Minerales (Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Zn, Fe, Mn).
- ❖ Estimar la capacidad potencial del forraje en estudio para producir leche corregida por energía y proteína.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL RYEGRASS PERENNE

Considerado uno de los mejores forrajes de clima templado frío, el ryegrass perenne es exigente en cuanto a suelos, relacionándose su producción y perennidad con la fertilidad de éstos. Se adapta mejor a regiones de clima oceánico sin grandes extremos de temperatura que al continental, cuyos picos de calor no resiste. Es el prototipo de pastura de calidad con elevado valor nutritivo, palatabilidad y digestibilidad, siendo extremadamente eficiente en el uso de nitrógeno. Como característica agrostológica presenta formación de macollas, muy expansiva y agresiva, cubriendo bien el suelo (Muradas 2004). Con relación a otras especies de pasto, el ryegrass es extremadamente tolerante al daño por pisoteo y al pastoreo intensivo. La facilidad de manejo en pastoreo es una gran ventaja sobre otras especies. La persistencia de las pasturas de ryegrass van desde cinco a veinte años dependiendo del nivel de ataque de enfermedades e insectos y la sobrevivencia a sequías en el verano (White *et al.* 2002).

El ryegrass perenne o inglés es de hábito de formación de macollas erectas. Alcanza una altura de 0,3-1,0 m hasta el ápice floral. Los tallos producen una masa densa pero algo superficial de raíces que emergen en forma adventicia desde su base, con buen manejo forma una cobertura densa y compacta. Sus hojas aparecen ligeramente dobladas cerca de la yema y son de color verde claro y brillantes en el envés. La inflorescencia es una espiga de hasta 30 cm de largo que contiene de 3 a 40 espiguillas sésiles, en forma alterna y que no tienen aristas. Cada espiguilla contiene de 3-10 florecillas (Vélez *et al.* 2002).

El ryegrass perenne es el pasto más ampliamente usado en el mundo y su habilidad para germinar en 7 a 10 días (aún bajo condiciones que no son ideales) es legendaria. Desarrolla un sistema radical fuerte, responde rápidamente a la fertilización y no es sujeto a problemas de enfermedades que

son plaga para muchos otros pastos. Se desarrolla en una amplia variedad de tipos de suelo y lo hace bien en áreas compactadas o arcillosas que no son aptas para otros cultivos. El ryegrass perenne es altamente utilizado como una fuente de forraje y heno, tiene una cabeza frondosa y un tallo fino por lo que es considerado muy palatable (Oregon State University 1999).

El ryegrass anual, según Vélez *et al.* (2002) también se comporta como perenne de vida corta en las regiones altas de América. Tiene altos rendimientos y un valor nutricional excepcional y por lo mismo es muy exigente en cuanto a suelos, fertilización y humedad. Se han determinado digestibilidades *in vitro* de hasta 89 %. Con ambos tipos de ryegrass (perenne y anual) se han registrado consumos con base en la materia seca que superan el equivalente del 3% del peso vivo y producciones de 20 litros de leche sin suplementación. Según White *et al.* (2002) el ryegrass anual no es persistente como el ryegrass perenne, pero se establece más rápido y es más productivo en invierno.

2.1.1 Clasificación botánica del ryegrass perenne

De acuerdo con Soreng (2004), el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) clasifica el pasto ryegrass perenne (*Lolium perenne*) de la siguiente forma:

- **Reino:** Plantae
- **Subreino:** Tracheobionte (plantas vasculares)
- **Súper división:** Spermatophyta (plantas de semilla)
- **División:** Magnoliophyta (plantas de floreo)
- **Clase:** Liliopsida (monocotiledóneas)
- **Subclase:** Commelinidae
- **Orden:** Cyperales
- **Familia:** Poaceae (familia de los pastos)
- **Género:** *Lolium*
- **Especie:** *perenne*

2.1.2 Distribución y adaptación del ryegrass perenne

En latitudes templadas el crecimiento comienza cuando se terminan las heladas. El frío es el principal factor ambiental que promueve un nivel bajo de lignina y un nivel alto de carbohidrato solubles, lo que hace que sea el pasto de más alto valor nutritivo de los forrajes de clima templado. Las máximas digestibilidades de los forrajes de clima templado están cerca de 80 % y no muestran cambios en latitudes arriba de 30 grados. La sobrevivencia por exposición a las heladas demanda la acumulación de reservas para proveer resistencia al frío, por lo tanto es más digestible; reflejando una relación inversa con la temperatura (Van Soest y Giner-Chavez 1994).

El ryegrass perenne (*Lolium perenne*) se encuentra relacionado cercanamente con el ryegrass anual (*Lolium multiflorum*), ambos se encuentran distribuidos en todo el mundo, incluyendo Norte y Sur America, Europa, Nueva Zelanda y Australia. El ryegrass anual es un pasto importante de corta duración con alta palatabilidad y digestibilidad, lo que hace a estas especies altamente valoradas para sistemas productivos con base en forraje. A pesar de ser una especie anual, en climas templados, algunos tipos se pueden comportar como bianuales, perennes de corta vida o perennes. El ryegrass anual, también conocido como ryegrass italiano en algunos países, sirve como una fuente primaria de forraje en fincas a través del sur-este de los Estados Unidos durante la etapa de crecimiento de invierno (Venuto *et al.* 2003). Los cultivares de corta rotación (intermedios) son híbridos de *L. perenne* y *L. multiflorum* (Hannaway *et al.* 1999).

Los reproductores de plantas que han cruzado poblaciones de ryegrass italiano y perenne han desarrollado ryegrases híbridos cuyo parentesco varía, pero generalmente son pastos de corta vida (uno a cinco años en clima templado) muy productivos y palatables. Según Vélez *et al.* (2002) por mutación se han obtenido variedades tetraploides cuya producción es aún mayor, pero la persistencia disminuye al igual que aumenta la susceptibilidad a la roya (*Uromyces spp*). En condiciones de clima

templado Donaghy y Fulkerson (2001) consideran que la máxima persistencia que se tiene con las pasturas con base en ryegrass es de 5 a 10 años.

En el proceso de fotosíntesis la planta forma carbohidratos simples, los cuales son luego combinados en carbohidratos más complejos. Las plantas contienen concentraciones altas de polisacáridos (fructosanos y almidones), mientras los monosacáridos (glucosa y fructosa) y disacáridos (sucrosa y maltosa) son intermediarios metabólicos, y usualmente se encuentran en bajas concentraciones. Los pastos de origen templado (C3) predominantemente acumulan fructosanos como carbohidratos de reserva, mientras los de origen tropical (C4), y todas las leguminosas, predominantemente acumulan almidón (Fulkerson *et al.* 2001). Según Barbehenn *et al.* (2004) una característica inusual en los C3, no compartida con los C4, es su síntesis de fructosano (polímero de fructosa) como carbohidrato de reserva, su almacenamiento se incrementa por factores que reducen la utilización del carbono (como con temperaturas frías) y también por factores que incrementan la fijación del mismo. El fructosano es además digerido muy eficientemente por los rumiantes.

Los pastizales cubren una proporción más grande de la superficie de la tierra que ningún otro cultivo, en latitudes del norte y de elevaciones más altas, los pastos con un proceso fotosintético C3 son más abundantes, mientras los pastos C4 son más abundantes en climas más calidos. A menudo los pastos se separan por el clima, en términos de estación fría (C3) y estación calida (C4). La adaptación de los C4 a temperaturas y ambientes lumínicos altos ha producido rasgos anatómicos y bioquímicos que impactan su calidad nutricional para los herbívoros (niveles altos de fibra y bajo a mediano contenido de energía). Como resultado de su eficiencia fotosintética mayor, los C4 frecuentemente tienen niveles más bajos de enzimas fotosintéticas y de proteína comparados con los C3 (Barbehenn *et al.* 2004).

La humedad disponible en el suelo es la más grande limitante para el crecimiento de especies de pasto de clima templado en los trópicos y subtrópicos, aunque otros factores como las temperaturas altas, pH bajo y saturación hídrica del suelo también limitan la producción. Hay dos restricciones mayores para el crecimiento de pastos C3 en suelos con riego, primeramente el pH es de neutro a ligeramente ácido en estos suelos debido a que la práctica de aplicar cantidades grandes de fertilizante nitrogenado, lo que reduce su pH y en segundo lugar, la compactación causada por el ganado que pastorea en suelos húmedos (Fulkerson *et al.* 1993).

Fulkerson *et al.* (1993) encontraron que la mayoría de variedades de ryegrass perenne utilizadas en el subtrópico-trópico producen muy pocos tallos reproductivos y la cepa se mantiene fácilmente en estado vegetativo, lo cual contrasta con las áreas de clima templado donde la cosecha durante la primavera se utiliza para evitar el desarrollo de semillas en la planta. Según el mismo investigador, la temperatura óptima para el crecimiento de especies de pasto de clima templado se encuentra entre 20-25 °C y como las temperaturas en los trópicos entran dentro de este rango óptimo en la mayor parte de la época fría, el crecimiento de pastos de clima templado (C3) es más probable que sea mejor en invierno y primavera, que en las regiones templadas.

Para Fulkerson (1992) dos de las limitantes que presentan los pastos C3 en el trópico son la relativa severidad del clima y la competencia de pastos C4 en el verano, ambos incrementan su severidad en las regiones más tropicales. Hay evidencias de mejoramiento sustancial con material vegetativo y manejo, para sobreponerse a estas limitantes:

- Selección de variedades → deben ser específicas para estas regiones (en lugar de utilizar las variedades seleccionadas para los grandes mercados de zonas templadas de Europa, Nueva Zelanda y el sur de Australia), con atributos tales como resistencia a la roya y a patógenos, de crecimiento en verano y desarrollo de un buen sistema radical.

- Manejo → el ryegrass provee alimento rápidamente, pero luego se cae la densidad a 100-120 plantas/m²

La experiencia con las especies C3 ha mostrado según Fulkerson *et al.* (1993) que hay requerimientos contrastantes para la producción y la persistencia en los subtrópicos, comparado con los ambientes templados. Las temperaturas más altas y niveles de radiación mayores durante la estación fría resulta en tasas de crecimiento más altas que las registradas en ambientes templados, pero durante el verano también resulta en mayor estrés, la presión de enfermedades aumenta, las tasas de crecimiento disminuyen, las tasas de mortalidad aumentan y la competencia de pastos C4 que crecen en verano es mayor. De acuerdo con un estudio realizado por Deinum *et al.* (1968) citado por Van Soest y Giner-Chavez (1994), los efectos cuantitativos de la temperatura sobre la digestibilidad del pasto ha sido obtenido por regresión donde se encontró una disminución de media unidad de digestibilidad (en ryegrass perenne) por cada grado Celsius de incremento en temperatura, cuando otros factores se mantienen controlados.

Algunos de los criterios que según Fulkerson *et al.* (1993) deben considerarse para adaptar los cultivares a los trópicos y subtrópicos son:

- Resistencia a la roya. Es la enfermedad más perjudicial en los ryegrass anuales y perennes y cereales de invierno. Las investigaciones han mostrado que el ryegrass anual tiene un grado mayor de resistencia a la roya que las especies perennes, aunque la variación encontrada en ambos es grande.
- Mejor crecimiento en verano. El crecimiento pobre en verano de las especies C3 en los subtrópicos ha mostrado una limitante para su uso en fincas por tener poca persistencia. Incrementando la producción en verano del ryegrass perenne principalmente, es un medio de extender la utilidad de

estos pastos, con lo que se cuenta con pasto para el verano, evitando el ingreso y crecimiento de semillas, lo que justifica el uso de riego en algunos casos.

- Tolerancia al calor y a la humedad. Tanto el crecimiento como el desarrollo de macollas se reducen a temperaturas altas. Si se une con estrés hídrico se reduce aún más. Es por este motivo que se deben seleccionar las especies para su uso en el trópico.
- Leguminosas en asociación con ryegrass. Se usan para reducir la necesidad de fertilizante nitrogenado y como consecuencia, reducir los costos de producción y problemas ambientales.

Las metas anteriores difieren en importancia y algunas juegan un papel que ha sido bien establecido en áreas templadas y que pueden satisfacer las necesidades del trópico, pero otras, tal como la humedad, pueden requerir investigación básica para establecer con mayor certeza el papel que juegan en el desempeño de estas especies en condiciones tropicales y subtropicales (Fulkerson *et al.* 1993).

Los cultivares recientes de C4 producidos en el subtrópico-trópico se han seleccionado en áreas lecheras de clima templado, por lo que sería más apropiado seleccionar material adaptable y desarrollar un manejo apropiado para este ambiente contrastante. Para conseguir esto se requiere un mejor conocimiento de la respuesta de la planta a este ambiente, por medio de estudios de ecología y fisiología vegetal (Fulkerson *et al.* 1993).

2.2 ASPECTOS AGRONÓMICOS

2.2.1 Establecimiento del ryegrass perenne

El ryegrass perenne se adapta a suelos de media a alta fertilidad que estén bien drenados, no se comporta bien en áreas con inviernos extremadamente fríos o con veranos muy calientes o secos. Su crecimiento empieza a 5 °C y alcanza un óptimo a 18 °C. Es susceptible a enfermedades fúngicas tal

como la roya de la corona (*Puccinia coronata*) y el ataque de insectos, incluyendo el gusano de los pastos (ACEVEN 2004).

El ryegrass perenne se cultiva en el continente americano con éxito entre 1800 y 3600 msnm, siendo su mejor rango 2200 a 3000 msnm. Arriba de los 3000 m, debido a las bajas temperaturas, su crecimiento se ve reducido y los períodos de recuperación se deben prolongar en 2-4 semanas, con respecto a los períodos convencionales. Requiere más de 1000 mm de precipitación, prefiere regiones húmedas y soporta encharcamientos de corta duración; su desempeño es pobre en áreas secas sin riego. Crece mejor en suelos bien drenados con mediana a alta fertilidad y pH superior a 5,5, es exigente al N, P y K. El ryegrass perenne responde bien a la aplicación N, P, K, S y Mg, y a enclamientos, si el pH es inferior a 5,5. Las aplicaciones de nitrógeno deben hacerse preferiblemente después de cada pastoreo y no más de cada dos pastoreos. Es afectado poco por plagas y enfermedades, de éstas últimas la más común es la pudrición de la corona causada por *Phytophthora coronata* (Vélez *et al.* 2002). Generalmente no es objeto a infestación de enfermedades o insectos que no puedan ser tratados con pesticidas modernos (Oregon State University 1999).

Se recomienda una aplicación anual de 1712 Kg de nitrógeno / ha para todas las variedades de ryegrass, a tasas de 168,5 Kg / ha por período de pastoreo para el perenne por su rápida respuesta, en algunas regiones es deseable una aplicación de fósforo y potasio para mantener la calidad. Es ideal un suelo con un pH de 6,5 para ryegrass, pero se comporta bien en un rango de 5,5 a 8,5. Como regla general, se comporta mejor a temperaturas que no sean inferiores a -4 a -1,6 ° C, por períodos extendidos. Tolera exposiciones limitadas a altas temperaturas y baja humedad, pero no está bien en regiones donde las temperaturas de verano son superiores a 32,2 ° C, por períodos prolongados (Oregon State University 1999).

Las pasturas de ryegrass, a pesar de ser tolerantes a un amplio rango de condiciones ambientales y de pastoreo, se pueden encontrar en desventaja con precipitaciones bajas y temperaturas del suelo altas; lo cual lo hace susceptible a ataques por gusanos de los pastos. Sin embargo, la mayor producción diaria de materia seca de pasturas con múltiples especies, corresponden a la época en que se alcanzan los valores máximos de temperatura del suelo en el inicio del verano (Goh *et al.* 2005). Los cultivares tetraploides disponibles comúnmente en el mercado, producen típicamente semillas más grandes que los cultivares diploides tradicionales. Con tasas de siembra bajas, las diferencias en el tamaño de la semilla y el vigor de las mismas podría afectar las producciones iniciales, mientras que a altas tasas de siembra la competencia por recursos puede reducir las producciones (Venuto *et al.* 2003). White *et al.* (2002) mencionan que los cultivares tetraploides (4n) de ryegrass perenne tienen el doble de cromosomas que los ryegrass diploides (2n) y tienden a ser más palatables, pero menos persistentes que los diploides.

Vélez *et al.* (2002) mencionan que el ryegrass perenne produce un heno de alta calidad; además de que si se siembra como monocultivo se utilizan de 15-25 Kg de semilla por hectárea y si es en asocio con leguminosas o en mezcla con otras gramíneas, la mitad. Se asocia con diversas especies de tréboles (*Trifolium repens*, *T. subterraneum* y *T. semipilosum*). Forma mezclas muy estables con algunas festucas como *F. arundinacea* y *F. elatior* y con *Poa pratensis*. Según Muradas (2004) la densidad de siembra para una pradera en la cual será la única especie debe ser de 30 Kg / ha al voleo o en líneas, a una profundidad de 1 a 2 cm. La calidad media de las semillas es de 450000 / Kg, exigiéndose un patrón mínimo de entre 95 % y 75 % de germinación, con su ciclo de producción de julio a noviembre, obteniéndose alrededor de 4 a 6 toneladas de materia seca de semilla por hectárea en el sur de Brasil. Según la Universidad Estatal de Oregon (1999) se puede sembrar en terrenos no muy preparados o en condiciones húmedas o secas; germinará normalmente en 7 a 14 días aún bajo condiciones no ideales y rápidamente desarrolla el sistema radical fuerte. Bajo condiciones adecuadas

se podrá pastorear ligeramente en 90 días o menos. La tasa de siembra, recomendada por la misma universidad, para establecimiento de la pastura es de 28-39 Kg / ha.

Según Fulkerson (1992) es más económico cultivar ryegrass en asocio con trébol blanco que tenerlo solo con niveles de fertilización de 200 Kg/ha/año. Sin embargo, al igual que con toda la información agronómica con que se cuenta, es necesario determinar sus necesidades de fertilización en parcelas bien manejadas en zonas subtropicales y tropicales, donde las tasas de fijación de nitrógeno parecen incrementarse con la temperatura, así como también las pérdidas. Generalmente el *Lolium multiflorum* se siembra en asocio con especies de gramíneas de vida más larga como ryegrass perenne, *Bromus inermis*, *Festuca arundinacea*, *Poa pratensis* y leguminosas como *Medicago sativa*, *Trifolium repens*, *T. pratense* y *T. subterraneum*. Se usa en pastoreo y ocasionalmente para heno y ensilaje; su propagación es por semilla y se necesitan de 20 a 50 Kg/ha.

El ryegrass anual, por su parte, es una gramínea rústica, agresiva y con buena capacidad de macollar. Es altamente resistente a las heladas, no tolera tierras bajas con aguas estancadas. Es una gramínea de doble propósito ya que es utilizada como abono verde para la cobertura del suelo, sirviendo al mismo tiempo como alimento para el ganado. Cuando se destina para pastoreo puede iniciarse a los 60 días de germinación (ACEVEN 2004). Sin embargo, Oviedo y Ciotti (2004) no encontraron diferencias significativas en el peso seco de las raíces, altura de las plantas y rendimiento de materia seca de la parte aérea en el ryegrass anual al someterlo a condiciones de anegamiento temporal durante la fase de establecimiento. Este comportamiento permitiría, según los autores su utilización como forraje invernal en áreas con problemas de drenaje.

De acuerdo con un estudio realizado por Venuto *et al.* (2003) en el cual se analizaron cuatro tasas de siembra (400, 800, 1200 y 1600 semillas puras vivas / m²) con ryegrass anual, no hubo ventaja en la producción total al incrementar más allá de 800 semillas / m² a pesar de que se pueda incrementar

la producción de la primera cosecha. Además, de que el contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) no se afectan por la tasa de siembra, por lo que el incremento en la tasa de siembra no aumentará el incremento de la producción del forraje. Según la misma investigación el número de tallos por planta disminuyó conforme se incrementó la tasa de siembra, lo que indica que hubo un rebrote compensatorio en las tasas de siembra más bajas. También Kunelius *et al.* (2004) encontraron que los métodos de establecimiento pueden tener un efecto significativo en el crecimiento y producción inicial, pero tales diferencias tienden a desaparecer durante los estados tardíos de desarrollo.

En términos de producción de materia seca, la raíz es menos afectada que el rebrote, por lo que las plantas deficientes en fósforo (P) son típicamente bajas en la relación rebrote / raíz en peso seco. La relación más baja parece estar relacionada con la división preferencial de carbohidratos hacia las raíces. Otras características de las plantas estresadas por P son: (i) una marcada depresión en la extracción de nitratos (NO₃) posiblemente debido a la menor disponibilidad de ATP y una limitación en la síntesis de la membrana del sistema de transporte de NO₃, (ii) disminución en la translocación de NO₃ de las raíces a la parte superior e (iii) incremento en los niveles de aminoácidos. Estos factores llevan a una limitación en la utilización del nitrógeno mineral (Kim *et al.* 2003).

Kim *et al.* (2003) encontraron que las plantas de ryegrass anual limitadas en P comienzan a mostrar síntomas de deficiencia después de 12 días de rebrote, cuando los nutrientes externos extraídos del medio se vuelven una fuente efectiva para el crecimiento de hojas. Este rebrote (deficiente en P) se caracterizó por una tasa de incremento estimulado en el peso seco de la raíz y una tasa de incremento disminuido en el brote (hojas y tallos) seco. La reducción en el desarrollo del forraje nuevo en las plantas se debió principalmente a un efecto en la expansión de las hojas individuales. La cantidad de compuestos nitrogenados de reserva en los órganos remanentes fue más importante en

plantas deficientes en P, la cual se utiliza para iniciar el rebrote que en las que tuvieron P a disposición. Esto parece estar relacionado con el incremento compensatorio en la extracción más baja de N mineral a causa de la deficiencia.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos describe al ryegrass perenne en términos de su morfología y fisiología como se resume en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de morfología, fisiología y requerimientos de adaptación del pasto ryegrass perenne

Característica agronómica	Descripción	Característica Agronómica	Descripción
Rebrote poscosecha	Rápido	Tolerancia anaeróbica (riego)	Baja
Alelopatía	No	Tolerancia a encalado (CaCO ₃)	Media
Forma de la flor	Racimo	Tolerancia a sequía	Baja
Relación C : N	Baja	Requerimiento de fertilidad	Media
Altura	Hasta 2,5 pies (76,20 cm)	pH	5,0 - 7,9
Textura de suelos	Desde tosca a media y fina	Precipitación (mm / mes)	18 - 65
Tolerancia a salinidad	Alta	Tolerancia a la sombra	Intermedio
Temperatura mínima	12 ° F (-11 ° C)	Densidad de semillas por kilogramo	477400
Vigor de las semillas	Alto	Profundidad de raíces mínima	20,32 cm
Palatabilidad para animales de pastoreo	Alto	Palatabilidad para animales ramoneadores	Bajo

Adaptado de Soreng (2004)

2.2.2 Edad fenológica como criterio de pastoreo

Las ventajas que se pueden obtener de un buen manejo de la pastura es que produzca una gran cantidad de forraje de alta calidad, la mayoría de la cual será mejor consumida o conservada. En el pasto ryegrass estos cuatro factores (productividad, calidad, utilización y persistencia) están estrechamente ligados (Donaghy y Fulkerson 2001). Según Weiss (2005) las pasturas manejadas apropiadamente pueden proveer una sustancial proporción de los nutrimentos requeridos por las vacas

lactantes. La meta de un manejo apropiado de la pastura es mantener el forraje en un estado vegetativo (tierno), el pastoreo rotacional es un medio efectivo de mantener los forrajes de una pastura inmaduros.

El pastoreo es uno de los factores de manejo que tiene mayor impacto en el crecimiento y supervivencia de la pastura, según sea la intensidad del mismo (reflejado en la altura de los rastrojos pos-pastoreo y en relación al número de animales por unidad de área), intervalo (período de descanso) y duración del mismo (período de ocupación) (Fulkerson *et al.* 2002). Según el mismo investigador el pastoreo debe permitir períodos de descanso adecuados, que según la temperatura oscilan entre 30 y 60 días, con una ocupación que no debe superar los tres días; por su parte Fulkerson (1992) considera que en ambientes subtropicales-tropicales donde el crecimiento de la pastura es rara vez menos de 35 Kg MS/ha/día, el ganado no debería permanecer más de 48 horas dentro de cada potrero.

Fulkerson *et al.* (2002) consideran que algunos de los criterios más comunes para determinar el período de ocupación dentro de un sistema de pastoreo controlado son:

- Días establecidos → es el criterio más comúnmente usado, con la finca dividida en un número de potreros (usualmente de 20-35). No considera las necesidades de pastura de los animales en términos de los cambios en la tasa de crecimiento, maduración de la hoja y su calidad.
- Índice de área foliar → presenta dos limitantes importantes que son lo impráctico de medirlo en finca y que un índice de 2 a 3 puede maximizar el crecimiento de la pastura, pero a su vez puede estar más allá del período en que el promedio de las tasas de crecimiento son maximizadas y después de que las hojas más viejas se vuelven senescentes.
- Altura de la pastura → más apropiado que los días fijos y está relacionado en cierta forma con la materia seca ofrecida (factor animal) y el crecimiento de la pastura, pero no considera la densidad de plantas.

- Materia seca ofrecida → mide la altura a la que una muestra de peso conocido por unidad de área es alcanzada por la pastura; tiene el inconveniente de no considerar la densidad de plantas y el costo del artefacto
- Crecimiento y madurez de la hoja → el periodo de vida de una hoja individual se relaciona con la especie y el número de hojas en la planta. En el ryegrass es equivalente al tiempo que toma para que crezcan tres hojas por tallo.

Un sistema de manejo apropiado del pastoreo para especies de clima templado en el subtrópico-tropical debe enfocarse en los problemas de competencia severa de pastos tropicales y los extremos climáticos. La duración del pastoreo (periodo de ocupación) es crítico cuando el hato permanece más de 48 horas, lo que produce el consumo de reservas en la planta y disminuye el rebrote siguiente, donde la pastura cae a niveles por debajo de 30 Kg MS/ha/día. El intervalo entre pastoreos (descanso) se puede mejorar si se pastorea antes de que se inicie el proceso de senescencia (muerte de la primera hoja que emergió) y esto se ve en campo por medio del conteo del número de hojas (Fulkerson *et al.* 1993). El sistema de pastoreo fuerte, sacando el hato rápido y permitiendo un adecuado tiempo para que la planta se recupere, es aún la mejor forma de optimizar el crecimiento y utilización (Fulkerson 1992).

El número de hojas es un concepto que se utiliza en países como Nueva Zelanda y Australia para determinar la fecha de pastoreo, desde hace unos diez años. Según Fulkerson *et al.* (1998) se prefiere este criterio en lugar de una escala de tiempo cronológico tomando en cuenta que el intervalo de aparición de hojas (tiempo entre la aparición de la primera hoja y la siguiente) está cercanamente relacionado a la temperatura ambiental y además, que permite realizar comparaciones del contenido de nutrimentos en varias etapas del ciclo de rebrote o descanso en diferentes épocas del año. El uso de este criterio se basa en dos consideraciones clave que son: el intervalo mínimo de pastoreo (tiempo

requerido para recuperar las reservas de carbohidratos hidrosolubles – CHOS) que es de más de 2 hojas en ryegrass y el intervalo máximo de pastoreo con el inicio de la senescencia de la hoja más vieja después de 3 hojas, donde además se produce una considerable caída en la calidad del forraje por las hojas que mueren (Fulkerson *et al.* 2002).

El ryegrass se considera una planta de tres hojas, por lo que la hoja más vieja (la primera en emerger) comienza a ser senescente conforme la más joven (cuarta hoja) emerge. El período de vida de una hoja es igual al tiempo tomado para que tres hojas crezcan por cada tallo. Así cada tallo mantiene un máximo de cerca de tres hojas vivas, conforme cada hoja nueva emerge después de la etapa de tres hojas, la hoja más vieja muere. La disponibilidad de nutrientes tiene un pequeño efecto en el intervalo de aparición de las hojas en el ryegrass; así la época de rebrote se puede visualizar como un reloj genérico en las pasturas, y ha sido usado como indicador de cuándo las plantas están listas para pastorear (Donaghy y Fulkerson 2001). Según Herrero *et al.* (2000) los indicadores morfológicos, tal como el número de hojas, pueden proveer la base para desarrollar reglas simples de manejo a nivel de finca.

Los carbohidratos hidrosolubles o no estructurales son el primer producto de la fotosíntesis en la planta, y son fuentes de energía lábil usadas para procesos asociados con el crecimiento y mantenimiento. Como consecuencia el balance entre fotosíntesis, crecimiento y respiración determina la concentración de reservas de CHOS en la planta (Fulkerson *et al.* 2002).

Hay evidencia sustancial de que la disponibilidad de CHOS en tallos de ryegrass tiene un efecto marcado en el potencial rebrote de la planta y en su habilidad para persistir; estos sostienen el crecimiento de la planta cuando la fotosíntesis es incapaz de proveer suficiente energía para llenar las demandas de la planta. Además de la importancia de los CHOS en el rebrote, también estos juegan un rol en la sobrevivencia de plantas a través de períodos de estrés tales como calor, heladas y sequías.

Dados todos estos factores, es claro que el manejo que maximice la recuperación de CHOS y su almacenamiento, tendrá efectos beneficiosos en el crecimiento de la planta y sobrevivencia (Donaghy y Fulkerson 2001).

Barrett *et al.* (2003) llevaron a cabo un estudio en el cual se compararon cuatro cultivares de ryegrass: Aber Elan, Twins (perenne diploide y tetraploide, respectivamente), Polly (ryegrass híbrido = perenne x italiano) y Multimo (italiano) en estado vegetativo y en estado reproductivo. En el Cuadro 2 se incluyen varias de las características de valor nutricional evaluadas.

Cuadro 2. Composición química de cuatro cultivares de ryegrass en estado vegetativo y reproductivo¹.

Concentración de nutrientes	Cultivares							
	Aber Elan		Twins		Polly		Multimo	
	V*	R**	V	R	V	R	V	R
% PC	24,2	17,4	22,3	16,3	24,2	17,9	22,1	17,6
% FDA	22,3	21,9	22,5	20,2	21,6	21,5	21,7	20,1
% FDN	54,7	46,7	53,2	41,1	51,7	43,4	46,5	41,6
% Cenizas	8,8	7,1	8,0	5,9	8,7	6,4	7,7	6,3
% CHS	11,5	24,2	13,7	29,5	12,3	27,2	16,4	29,5

¹Adaptado de Barrett *et al.* (2003)

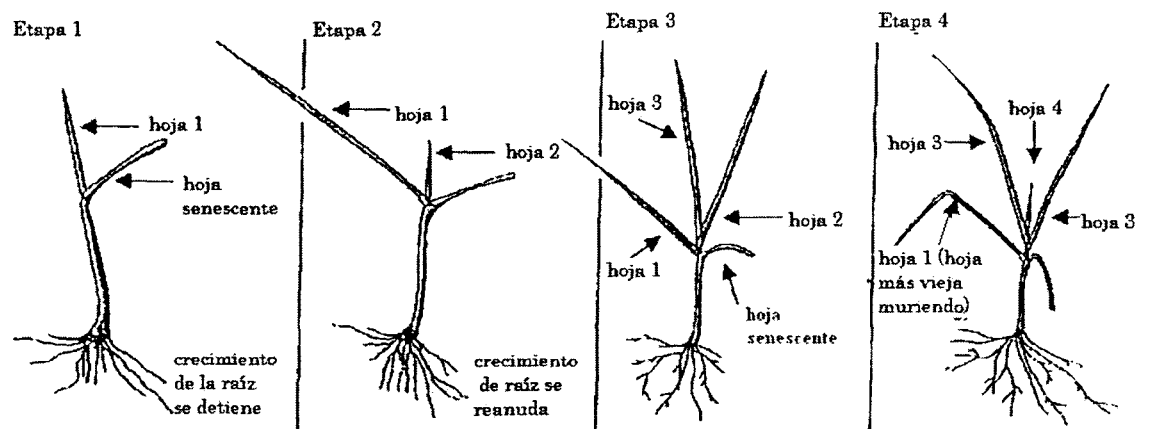
* Estado vegetativo ** Estado reproductivo

La principal diferencia significativa dentro de un mismo estado vegetativo es que el cultivar Multimo presentó una concentración de FDN más baja y de CHOS más alta que los demás. Además de lo anterior es muy evidente cómo la PC y la FDN caen cuando la planta se encuentra en estado reproductivo y cómo presentan mayores contenidos de CHOS entre los mismos cultivares. Sin embargo a pesar de esto, algunas de las características citadas pueden limitar el consumo de los animales al tratarse de forraje y flor, por lo que es conocida la influencia de la estructura del dosel de la planta sobre

el consumo. De acuerdo con esta investigación, los sistemas para la evaluación del desempeño de variedades y especies de pasto son criticados por no tomar en cuenta los requerimientos del animal.

Según Fulkerson *et al.* (2002) existen cuatro etapas de crecimiento y recuperación de la planta luego del pastoreo (Figura 1):

- I. **1 a 3 días después del comienzo del pastoreo:** la hoja más joven continúa extendiéndose para atrapar la luz solar y producir sus propios CHOS por fotosíntesis. Si este rebrote es removido por el ganado, como resultado de un largo período de ocupación, el rebrote es sustancialmente reducido porque hay muy pocos CHOS para reiniciar el crecimiento.
- II. **Las plantas son más vulnerables al pastoreo:** con $\frac{3}{4}$ de la nueva hoja se tiene suficientes CHOS para los requerimientos de crecimiento y respiración, y la recuperación de reservas comienza. Las raíces comienzan a crecer de nuevo y la planta es muy vulnerable al re-pastoreo por sus niveles bajos de reserva de CHOS para el rebrote.
- III. **Intervalo mínimo de pastoreo:** con 2 hojas de edad, las reservas de CHOS se encuentran adecuadamente recuperadas para que la planta pueda ser pastoreada y el rebrote no será restringido.
- IV. **Intervalo máximo de pastoreo:** después de 3 hojas de edad, la hoja más vieja empieza a morir y una nueva hoja aparece. La calidad de la pastura empieza a declinar y la misma se desperdicia.



Fuente: Donaghy *et al.* (2001)

Figura 1. Etapas de crecimiento y recuperación de la planta en condiciones pospastoreo

La calidad de las pasturas de ryegrass se mejora, como alimento para vacas lecheras, si se permite un rebrote sobre 2 ½ hojas, además de que los CHOS se acumulan con la madurez de la hoja hasta que empieza la senescencia en 3 hojas, después del cual su concentración cae por ser llevados a otras partes de la planta. El número de hojas es un indicador de campo lógico, práctico y conveniente de la recuperación de las reservas de CHOS y de la madurez de la hoja, o de la preparación de la planta para ser pastoreada; y el conocimiento del patrón de cambio puede ser usado como una base para el diseño de un sistema de pastoreo controlado. En la práctica se deberían usar ambos criterios de materia seca ofrecida (difícil de medir, criterio relacionado al animal), y el número de hojas (fácil de monitorear, esencialmente es un criterio relacionado con la planta) para ajustar el tiempo de pastoreo (Fulkerson *et al.* 2002).

Estableciendo el intervalo de pastoreo basándose en el número de hojas y reposición de reservas por la planta se maximiza el crecimiento y la persistencia del ryegrass, así mismo se cuenta con los niveles óptimos de la mayoría de los nutrientes en la pastura requeridos por el ganado de leche, incluyendo proteína, carbohidratos hidrosolubles, calcio, potasio y magnesio. La energía metabolizable y la fibra no cambian apreciablemente arriba de tres hojas pos-pastoreo. Por otro lado,

pastoreando el ryegrass antes de 2 hojas no solo retrasa el rebrote y reduce la persistencia, sino que además se provee al animal de forraje muy alto en potasio y proteína (nitratos) y muy bajo en CHOS (Fulkerson *et al.* 2001).

El rebrote de las especies de pastos es dependiente de dos fuentes de nitrógeno: uno las reservas de N previamente incorporadas en tallo y raíces (N endógeno) y el resto es N mineral tomado del suelo (N exógeno). Ciertos estudios han mostrado que diferentes especies de pasto incluyendo *Lolium perenne*, *Festuca rubra*, *Agrostis castellana* y *Poa trivialis* son capaces de movilizar N endógeno para mantener el rebrote inicial. El N para el rebrote es predominantemente movilizado de raíces y tallo, desde que la extracción de N del suelo se restringe para el periodo de rebrote temprano. Así una adecuada nutrición de P podría ser un factor crucial para el rebrote (Kim *et al.* 2003).

Chilibroste *et al.* (2000) no encontraron cambios evidentes en el contenido de nitrógeno durante las primeras 2 semanas de rebrote en el ryegrass perenne, pero ocurre una disminución significativa, esto puede ser debido a un aumento en la proporción de tallo o una disminución del contenido de nitrógeno en las fracciones de hoja y tallo o ambos. Esta misma tendencia se presenta pero en dirección opuesta con el contenido de fibra detergente neutro, lo cual puede ser un reflejo de un aumento en la relación hoja-tallo, compensado por el efecto de maduración en el contenido de fibra y la calidad nutricional del pasto. Por su parte el porcentaje de materia seca disminuye durante los primeros 16 días de rebrote y después aumenta significativamente. Con la edad de rebrote se produce un material que incrementa el contenido total de ácidos grasos volátiles (AGV) en el rumen, no así el de amonio. Los contenidos de FDN y FDA en el pasto se incrementan con la edad de rebrote.

2.2.3 Producción de biomasa

Aunque la producción total es importante en los pastos, es importante también considerar la distribución estacional de la producción, principalmente en condiciones de subtrópico-tropical donde la

producción láctea es continua durante el año, no estacional como en países como Nueva Zelanda (Fulkerson 1992). Además de contar con una especie de pasto de buena calidad nutricional, se debe tomar en cuenta que éste produzca el suficiente volumen de material alimenticio por hectárea, de tal forma que se puedan satisfacer las necesidades nutricionales del animal.

La producción de biomasa de pasturas desarrolladas con base en leguminosas en regiones de clima templado, está dominada generalmente por ryegrass perenne y trébol blanco con poca o sin la aplicación de fuentes de nitrógeno inorgánico como fertilizante. Estos sistemas (rye-trébol) por tanto, son considerados generalmente sistemas de producción animal sostenibles y han sido extremadamente exitosos como base de la producción en la agricultura pastoril en Australasia (Goh *et al.* 2005). Según Donaghy y Fulkerson (2001) la producción máxima de ryegrass perenne-trébol blanco es de 18 - 20 toneladas / ha / año, bajo condiciones de manejo y ambiente ideales.

Nieto y Solano (2004) encontraron en condiciones tropicales, tanto para el pasto Kikuyo como para el ryegrass, una disponibilidad de forraje en un ámbito de 17500 a 21100 Kg de forraje verde por hectárea (FV/ha) por cosecha realizada cada 33 días. En este estudio se encontró que el material aprovechable diario fue de 3393 Kg FV/ha. El consumo/animal/día se estimó en 48,5 Kg FV o alrededor de 9.7 Kg MS/animal/día. Con irrigación efectiva y amplia radiación solar se pueden obtener producciones de materia seca muy altas (> 25000 Kg MS /ha por año), aunque la persistencia de las especies perennes templadas es un problema en condiciones tropicales o subtropicales (Fulkerson *et al.* 1993). En el Cuadro 3 se incluyen diversos valores de producción de biomasa de ryegrases bajo diferentes condiciones.

Cuadro 3. Producción de materia seca de Ryegrass bajo diferentes condiciones

Condiciones	Producción (t MS/ha)
Riego ¹	15-29*
Lluvia ¹	9-15*
Lluvia, 33 días ²	3,5-4,2**
Riego, amplia radiación solar y altas temperaturas ³	15,5-16,9*
Riego ³	13,5-20*
2 semanas descanso ³	9,26*
4 semanas descanso ³	10,9*
Rotación normal ³	12,2*
Pastoreado a 3 hojas ⁴	10,9*
Pastoreado 1 hoja ⁴	7,67*
200 Kg N/ha/año ⁵	4,3**
50 Kg N/ha/año ⁵	2,4**
60 días de germinación ⁶	2,0-6,0**
Alta fertilidad ⁷	10-25*

1 Fulkerson *et al.* (1993).

2 Nieto y Solano (2004).

3 Fulkerson (1992).

4 Fulkerson *et al.* (2002).

5 Fulkerson *et al.* (2001).

6 ACEVEN (2004).

7 White *et al.* (2002).

* Por año ** Por corte

En el Cuadro 4 se presenta la producción total de materia seca promedio de tres cultivares de ryegrass anual, a diferentes tasas de siembra en dos años diferentes.

Cuadro 4. Producción total de materia seca de ryegrass anual de tres cultivares en dos años consecutivos

Tasa de siembra (semillas puras vivas / m ²)	Producción* (Kg / ha)	
	Año 1	Año 2
400	8630 ^b	7400 ^b
800	9290 ^{ab}	8070 ^a
1200	9560 ^a	8200 ^a
1600	9010 ^{ab}	8200 ^a
Promedio	9120	7970

Adaptado de Venuto *et al.* (2003)

* Valores promedio seguidos por la misma letra dentro de una columna no son diferentes a P > 0.05

De acuerdo con la investigación anterior, se concluyó que con tasas de siembra superiores a 800 semillas puras vivas / m² no hay mayor efecto en la producción de MS / ha. Se sugiere incluso que con tasas muy altas existe una alta competencia por recursos que puede llevar a una disminución en la persistencia y supervivencia del pasto.

La producción de materia seca de los pastos se ve influenciada por las características ambientales, es por eso que se debe tomar en cuenta el régimen de temperatura en el cual va a sembrar una especie o cultivar de pasto. Lo anterior se comprobó con dos cultivares de ryegrass italiano bajo dos regímenes de temperatura y seleccionados para diferentes condiciones (Cuadro 5).

Cuadro 5. Producción de biomasa (en Kg de MS / ha) de dos cultivares de ryegrass Italiano en dos regímenes de temperatura.

	Régimen caliente		Régimen frío	
	121*	Midmar**	121	Midmar
Producción (Kg MS / ha / corte)	3640	4523	4947	5760

Adaptado de Hopkins *et al.* (2001)
 *Cultivar seleccionado. ** Cultivar comercial.

Existen ciertas diferencias entre el ryegrass italiano y el perenne, las cuales se pueden notar en su producción de materia seca (Cuadro 6).

Cuadro 6. Producción de materia seca en ryegrass italiano y perenne con diferentes métodos de siembra y sembrados en diferentes épocas.

Preparación de la cama/método	Italiano (Kg MS / ha / corte)	Preparación de la cama/método	Perenne (Kg MS / ha / corte)
Cultivo, sembrado	2540	Cultivo, sembrado	1840
Cultivo, sembrado con cebada para grano	2880	Cultivo, sembrado con cebada para grano	1790
Cultivo, sembrado	2710	Cultivo, sembrado con cebada para grano	1930
Cultivo, sembrado	2550	Cultivo, sembrado	1750
Sin labranza	2610	Cultivo, sembrado	1750
Sin labranza	2440	Sin labranza	1750
		Sin labranza	1660
		Mínima labranza	1840
		Mínima labranza	1740

Adaptado de Kunelius *et al.* (2004).

2.2.4 Aprovechamiento (Utilización)

La mayoría de zonas secas lecheras de Nueva Zelanda producen entre 5 y 12 ton MS / ha / año (con riego hasta 25 % más), el promedio de utilización se estima alrededor de 50 - 60 % y la pérdida de persistencia de las pasturas perennes se vuelve una limitante para los finqueros bajo condiciones de clima templado (Donaghy y Fulkerson 2001).

Según Chilibroste *et al.* (2000) el llenado físico es la principal limitante para obtener un consumo alto de nutrimentos en vacas de leche, con excepción de dos situaciones de alimentación: las vacas alimentadas con ensilaje y las que consumen forraje fresco de alta calidad. La concentración de los ácidos grasos volátiles, que son los productos finales de la fermentación ruminal, se han propuesto como reguladores del consumo de materia seca (CMS) en los rumiantes en pastoreo; ya que se ha observado que la infusión de AGV (en rumen o en sangre) disminuye el CMS en un amplio rango de concentraciones. Según John y Ulyat (1987) citados por Hopkins *et al.* (2001) el consumo de materia seca se reduce si el contenido de humedad de los forrajes es excesivamente alto.

La edad de rebrote del ryegrass perenne no afecta el CMS ni la tasa de consumo en animales en pasturas, mientras que la tasa de pasaje ruminal (TP) tiene un gran incremento en los primeros días de rebrote (6-9 días), para luego disminuir un poco (9-16) y mantenerse constante arriba de los treinta días (Chilibroste *et al.* 2000).

2.3 CALIDAD NUTRICIONAL

Sin importar si se pastorea o se cosecha mecánicamente, el manejo de la cosecha influye grandemente sobre la calidad del forraje, la productividad y su persistencia. La calidad es la más afectada por el estado de madurez a la cosecha (Hannaway *et al.* 1999). Existe un modelo nutricional ideal ampliamente aceptado para los forrajes y sus requisitos son: carbohidratos estructurales bajos y fácilmente degradables, carbohidratos solubles altos y en balance con los aminoácidos, proteína con baja degradabilidad ruminal, lípidos arriba del 15 % de la materia seca para proveer alta eficiencia de utilización y muy pocos taninos (menos de 6 %) (Fulkerson *et al.* 1998, 1993).

El contenido de materia seca de los forrajes debe ser al menos de 18-20 % para no afectar el consumo de los rumiantes en pastoreo. Un ryegrass perenne reproducido para tener niveles altos de carbohidratos hidrosolubles (CHOS) ha mostrado que estimula consumos más altos de MS e incrementa la producción de leche, así como la ganancia de peso en corderos pre-destetados (Miller *et al.* 1999, Lee *et al.* 1999; citados por Hopkins *et al.* 2001). Weiss (2005) considera que las pasturas de especies de clima templado deberían contener menos de 50 % de fibra detergente neutro (FDN) y las pasturas basadas en leguminosas deberían contener menos de 40 % de FDN. Las concentraciones de fibra detergente ácida (FDA) deberían ser 35-40 % para gramíneas forrajeras y de 25-30 % para leguminosas.

Los forrajes tropicales tienden a ser de más baja calidad nutritiva debido a sus adaptaciones metabólicas asociadas con las noches más largas y calientes en el trópico. Estos son particularmente

más bajos en carbohidratos solubles comparados con los forrajes de clima templado, creando un problema de uso eficiente de la proteína degradable en el rumen (Van Soest y Giner-Chavez 1994).

2.3.1 Relación entre nitrógeno y carbohidratos solubles

Dentro de la composición nutricional de los pastos se ha puesto un énfasis particular en la relación entre nitrógeno (N) y los carbohidratos hidrosolubles o fácilmente fermentables en el rumen, lo anterior debido a la importancia que ambos nutrientes tienen en la actividad microbiana del rumen y, como consecuencia a la posibilidad de que éste sea el factor limitante mayor de la pastura para la producción de leche. Los niveles de PC en pasturas de ryegrass en estado vegetativo de crecimiento son normalmente muy altos para vacas lecheras. En contraste a los CHOS, los niveles de PC son particularmente altos en etapas tempranas de rebrote con una proporción alta de nitrógeno en forma de nitratos (NO_3). Un consumo alto de NO_3 puede inhibir la digestión del pasto en el rumen por ser convertidos de nitratos a nitritos y en casos extremos puede causar muerte por envenenamiento por los mismos. Al utilizar el forraje a 2 ½ o 3 hojas mejora la relación CHOS : PC (Fulkerson *et al.* 2002). Desde un punto de vista de nutrición animal, los CHOS han demostrado ser importantes por tratarse de la forma de carbohidratos más fácilmente disponible en el rumen (Donaghy y Fulkerson 2001).

Para que el rumen funcione apropiadamente los animales requieren un balance entre proteína soluble (PS) y CHOS en el pasto consumido, al menos tantos CHOS como proteína soluble, si no más. Si hay mucha PS, ésta se convierte en amonio en el rumen; este exceso de amonio necesita ser convertido en urea y excretado en la orina. Este proceso requiere energía, y además puede tener un efecto negativo en la reproducción y producción del animal. Las investigaciones recientes han mostrado que la relación de PS : CHOS se vuelve más balanceada después del estado de 2 hojas, ya que el nivel de CHOS incrementa con el rebrote, mientras los niveles de PC disminuye debido a la madurez de la

hoja. La relación PC : CHOS puede ser tan alta como 5:1 en el estado de 1 hoja, cambiando a 1:2 en el estado de 3 hojas (Donaghy y Fulkerson 2001).

La suplementación proteica en sistemas basados en pasturas necesita ser planeado cuidadosamente, las pasturas a menudo son altas en PS y las proteasas de las plantas pueden incrementar la degradabilidad de las proteínas en el rumen más allá de lo deseado. Si los concentrados no se brindan para proveer energía para la síntesis microbial en el rumen y para la producción de proteína láctea, la mayoría de la proteína del forraje es excretada como urea en la orina (Zhu *et al.* 1999; Messman *et al.* 1994; citados por Firkins 2005).

Los componentes intracelulares (CI) constituyen aproximadamente el 50 % de la materia seca del pasto de clima templado y más del 80 % de los compuestos nitrogenados. En el forraje fresco, a diferencia del preservado, las células de las plantas están intactas en el momento de la ingesta, ya que no han sido degradados por los procesos de conservación, así los CI se deben liberar para ser accesibles a los microorganismos. La tasa de liberación puede ser un poco limitante en la degradación de ciertos CI que son rápidamente hidrolizados y fermentados una vez que son accesibles a los microorganismos en el rumen, como es el caso de los carbohidratos. Para las proteínas intracelulares, la proteólisis por los microorganismos es generalmente muy lenta, pero no se conoce cuál de estos pasos; liberación o proteólisis por microorganismos; es más limitante (Weibsjerg *et al.* 1998, McNabb *et al.* 1994; citados por Boudon *et al.* 2002).

Según Boudon *et al.* (2002) la masticación durante la ingesta es el primer mecanismo de liberación de CI. Entre los CI que se liberan en la ingesta, se han caracterizado los azúcares libres y el potasio (K) como los más rápidamente liberados, mientras la clorofila es el que se libera más lentamente. Así aproximadamente el 60 % de los azúcares libres y el K, así como menos de un 30 % de la clorofila se liberan en el momento en que se ingiere el pasto. Aparte de la especie de forraje, ningún

otro factor que contribuye a la variación en el grado de liberación de los CI post-ingestión ha sido investigado. En el Cuadro 7 se denota el contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y carbohidratos no estructurales (CNE) de diferentes tipos de ryegrass en diversos estados de cosecha.

Cuadro 7. Contenido de materia seca, proteína cruda y carbohidratos no estructurales para diferentes tipos de ryegrass y a diferentes estados de cosecha

Estado de cosecha	Nutrimiento		
	% MS	% PC	% CNE
Anual, fresco tierno ¹		15,0	
Anual, fresco maduro ¹		5,8	
Anual, heno tierno ¹		15,2	
Anual, heno floración temprana ¹		12,9	
Anual, heno floración completa ¹		6,6	
Anual, follaje tierno fresco ²	19,0	12,3	
Perenne, follaje 18-24 días fresco ²		21,5	
Anual, heno final crecim. ³	89,0	10,3	
Anual, inicio crecim. en pastoreo ³	24,0	24,2	
Perenne, heno inicio floración ³	84,0	6,0	
<i>Lolium sp.</i> , pastura manejo intensivo ⁴	20,1	26,5	
<i>Lolium sp.</i> , heno ⁴	88,1	10,6	
<i>Lolium sp.</i> , ensilaje ⁴	36,5	12,8	
<i>Lolium sp.</i> , pastoreo en franjas 15 días ⁵	16,65	20,15	10,83
Bianual, pastoreo ⁶		25,0	12,0
Anual, heno de 42 días ⁷	87,57	14,81	
Ryegrass perenne-trébol blanco ⁸		27,12	11,36*
Perenne, estado vegetativo temprano ⁹		19,0	
Perenne, estado vegetativo tardío ⁹		16,0	
Perenne, estado reproductivo ⁹		10,4	
Perenne, heno secado al sol en estado vegetativo temprano ⁹		8,6	

¹ Hannaway (1999); ² Vélez (2002); ³ Shimada (1983); ⁴ NRC (2001); ⁵ Nieto (2004); ⁶ Fulkerson (1998); ⁷ Pinos (2002);

⁸ Jonsson *et al.* (1999); ⁹ Oregon State University (1999).

* Carbohidratos hidrosolubles

En el invierno los niveles de CHOS aumentan desde un 5% inmediatamente después del pastoreo a más de 20% con una edad de 2 hojas de rebrote y 28% con 3 hojas. En esta misma época se encontró en el nivel de PC una caída, lo que resultó a su vez en una reducción de la relación PC : CHOS de 4:1 a una edad de una hoja a 1:2 con tres hojas de rebrote. Los cambios en los carbohidratos totales no fibrosos (CNF = CHOS + almidón) en la pastura es de particular interés por la relación que existe entre N : CNF, la cual es limitante de la actividad microbial. El exceso de amonio (NH₄⁺) microbial

causado por los niveles altos de proteína en la dieta (altas relaciones PC : CHOS) se esperaría que lleve a una reducción en producción láctea. Esto porque la energía es requerida para convertir el amonio a urea no tóxica en el hígado y excretarlo en la orina; además de que los niveles altos de proteína en la dieta pueden generar problemas en la reproducción por la urea circulante en sangre que alcaliniza el ambiente uterino y produce mortalidad espermática y embrionaria (Emmans 1994; Black 1990, citados por Barbehenn *et al.* 2004).

Aunque el nitrógeno total (NT) se ha medido en forma de proteína cruda, en estudios con dióxido de carbono (CO₂) elevado, los cambios en NT pueden ser potencialmente difíciles de relacionar a cambios en la proteína. Los compuestos nitrogenados no proteicos, tal como clorofila y nitratos, comprenden entre 20 - 40% del NT y también pueden cambiar bajo ambientes de CO₂ elevado y los factores para convertir nitrógeno a proteína son desconocidos y varían entre las especies de plantas (Barbehenn *et al.* 2004). Según Boudon *et al.* (2002) es probable que los compuestos nitrogenados no proteicos sean liberados en el rumen en tasas cercanas a los carbohidratos, ya que también son moléculas vacuolares de tamaño pequeño, por otro lado el 75 % de las proteínas son cloroplásticas, por lo que deben ser liberadas a una tasa más lenta cercana a la de la clorofila.

En el Cuadro 8 se muestra el contenido de carbohidratos foliares y proteína del ryegrass anual a dos diferentes concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂)

Cuadro 8. Carbohidratos foliares y proteína en ryegrass anual (*Lolium multiflorum*) bajo dos concentraciones atmosféricas de CO₂.

Año	CO ₂ (ppm)	Carbohidrato y proteína (% del peso seco)						
		Hexosa	Sucrosa	Almidón	Fructosano	CNF*	Proteína	CNF:PC
2000	370	1,9	8,3	2,8	3,1	16,3	25,8	0,63:1
	740	2,2	9,4	5,0	6,2	22,0	20,5	1,07:1
2001	370	5,3	6,1	2,3	1,0	15,0	27,9	0,54:1
	740	7,2	9,4	4,1	1,9	23,1	22,8	1,01:1

*Carbohidratos totales no fibrosos es la suma de hexosa, sucrosa, almidón y fructosano
Adaptado de Barbehenn *et al.* (2004)

La concentración elevada de CO₂ atmosférico reduce significativamente los niveles de proteína en las especies de pastos C3, lo cual es consistente con su dilución por el aumento en la concentración de CNE. Aunque la disminución en proteína es mayor en pastos C3 que en los C4, los niveles permanecen significativamente más altos en C3; por otro lado la relación CNF:PC también se mantiene más bajo (mejor) en pastos C3 con concentraciones elevadas de CO₂ (Barbehenn *et al.* 2004).

Boudon *et al.* (2002) encontraron que al final del consumo de una ración de pasto ryegrass perenne en vacas lactantes fistuladas (alrededor de 1,5 horas), el 89 % de los azúcares libres fueron liberados, también los fructosanos fueron liberados en el mismo período en un 85,3 % y en el mismo intervalo solo el 45 % de la clorofila se liberó y se termina de liberar después de 7,5 horas de permanencia en el rumen. Lo anterior se explica por el hecho de que los componentes cloroplásticos (como clorofila) tienen mayor dificultad en difundir a través de los poros de las paredes de la planta, comparado a los componentes vacuolares de tamaño pequeño tal como los carbohidratos. Debido a lo anterior es que los componentes vacuolares se comportan de manera homogénea en el rumen mientras su tamaño permanezca más o menos similar al de los poros de las paredes de la planta, como es el caso de los fructosanos.

Fulkerson *et al.* (2001) encontraron bajo condiciones de invernadero que es más difícil para la planta acumular reservas durante la etapa pos-pastoreo con temperaturas ambientales altas y tasas de crecimiento altas. Los autores encontraron que bajo condiciones ambientales idénticas, con una temperatura de 6 °C de noche se acumuló CHOS a una concentración de 17,5 % de la materia seca, comparado con 9 % de CHOS en las plantas que se mantuvieron a 12 °C. Es por esto que la acumulación de CHOS se hace posible por una reducida tasa de respiración bajo las condiciones más frías de la noche. También las altas temperaturas en la noche (arriba de 18 °C) disminuyen los CHOS más que las altas temperaturas durante el día (arriba de 35 °C). Esto porque al incrementar la temperatura en el día causa aumentos en la tasa fotosintética y respiratoria, mientras que si se incrementa la temperatura nocturna o la temperatura en el día arriba del óptimo de crecimiento del pasto, solo se incrementa la respiración.

Kunelius *et al.* (2004) compararon el contenido de PC en ryegrass italiano y perenne con diversos métodos y épocas de siembra (Cuadro 9)

Cuadro 9. Contenido de proteína de ryegrass italiano y perenne con diversos métodos de siembra y sembrados en diferentes épocas.

Preparación de la cama/método	Italiano (% PC)	Preparación de la cama/método	Perenne (% PC)
Cultivo, sembrado	13,44	Cultivo, sembrado	19,50
Cultivo, sembrado con cebada para grano	13,12	Cultivo, sembrado con cebada para grano	19,44
Cultivo, sembrado	12,31	Cultivo, sembrado con cebada para grano	19,56
Cultivo, sembrado	13,69	Cultivo, sembrado	19,75
Sin labranza	13,12	Cultivo, sembrado	19,81
Sin labranza	13,44	Sin labranza	19,50
		Sin labranza	20,06
		Mínima labranza	20,00
		Mínima labranza	19,44

Adaptado de Kunelius *et al.* (2004).

Hopkins *et al.* (2001) compararon una variedad de ryegrass anual seleccionada para producir un contenido alto de materia seca (MS) y carbohidratos no estructurales (CNE) con un cultivar comercial

bajo dos regímenes de temperatura, el primero caliente (30° / 20° C) por siete semanas, seguido por uno frío (20° / 7° C) de siete semanas más. Se encontró que la variedad seleccionada tuvo durante el régimen caliente un contenido de 17 % de MS y de 16 % de CNE mayor que el cultivar comercial (Cuadro 10). En régimen frío el contenido de MS y CNE fueron 25 % y 22 % más altos respectivamente para el ryegrass seleccionado. Según la investigación es probable que el alto contenido de CNE de ambos cultivares en época fría, se deba a la demanda reducida de reservas de carbohidratos durante un crecimiento más lento a bajas temperaturas.

Cuadro 10. Concentración de nutrientes en dos tipos de ryegrass italiano producidos en ambientes controlados bajo regímenes caliente y frío.

Composición de nutrientes	Régimen caliente		Régimen frío	
	121*	Midmar**	121	Midmar
% MS	14,82	12,67	15,49	12,35
% CNE	6,49	5,57	15,00	12,25
% Nitratos	1,33	1,60	1,14	1,24
% Proteína verdadera	21,39	20,15	19,67	19,20
% N total	4,89	4,74	4,58	4,65

Adaptado de Hopkins *et al.* (2001)

*Cultivar seleccionado. ** Cultivar comercial.

2.3.2 Componentes de la pared celular

De acuerdo con Firkins (2005) la fibra detergente neutro y la fibra detergente ácida pueden proveer una adecuada medida de la calidad del forraje, pero también puede ser usado por los nutricionistas para asegurarse que las raciones para vacas lactantes maximicen el consumo de materia seca y la producción.

En el Cuadro 11 se muestra la composición nutricional de la pared celular de diferentes tipos de ryegrass a diferentes edades de cosecha.

Cuadro 11. Composición de la pared celular de ryegrases en diversos estados de cosecha

Estado de cosecha	Fracciones de la pared celular					
	% FDN	% FDA	% Lignina	% Celulosa	% PCFDN	% PCFDA
<i>Lolium sp</i> , pastura manejo intensivo ¹	45,8	25,0	2,1		3,9	1,1
<i>Lolium sp</i> , heno ¹	64,4	39,5	6,4		3,8	1,1
<i>Lolium sp</i> , ensilaje ¹	60,7	40,3	6,9		3,3	1,5
<i>Lolium sp</i> , pastoreo en franjas (15 días) ²	53,98	30,53	3,13	25,3	5,88	1,48
Bianual, pastoreo ³	37,0	17,0				
Anual, heno de 42 días ⁴	64,22	43,30				
Ryegrass perenne-trébol blanco ⁵	32,92	16,89				

1 NRC (2001).

2 Nieto y Solano (2004).

3 Fulkerson (1998).

4 Pinos *et al.* (2002).

5 Jonsson *et al.* (1999)

Kunelius *et al.* (2004) midieron el contenido de FDN y FDA en ryegrases italiano y perenne con diversos métodos y épocas de siembra (Cuadro 12).

Cuadro 12. Contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) en ryegrass italiano y ryegrass perenne con diversos métodos de siembra y sembrados en diferentes épocas.

Preparación de la cama/método	Italiano		Preparación de la cama/método	Perenne	
	% FDN	% FDA		% FDN	% FDA
Cultivo, sembrado	56,00	30,00	Cultivo, sembrado	56,10	29,50
Cultivo, sembrado con cebada para grano	56,80	30,60	Cultivo, sembrado con cebada para grano	56,30	29,10
Cultivo, sembrado	58,50	31,90	Cultivo, sembrado con cebada para grano	57,80	29,80
Cultivo, sembrado	56,80	30,60	Cultivo, sembrado	54,80	27,80
Sin labranza	58,20	31,60	Cultivo, sembrado	56,00	28,20
Sin labranza	57,40	31,10	Sin labranza	56,70	30,00
			Sin labranza	56,30	28,80
			Minima labranza	56,80	29,30
			Mínima labranza	56,90	29,30

Adaptado de Kunelius *et al.* (2004).

Hopkins *et al.* (2001) encontraron un contenido de fibra detergente neutro (FDN) significativamente mayor en un cultivar comercial de ryegrass italiano, que en uno seleccionado para un contenido de MS y CNE mayor (Cuadro 13).

Cuadro 13. Componentes de la pared celular de dos cultivares de ryegrass italiano bajo dos regímenes de temperatura

Composición de nutrientes	Régimen caliente		Régimen frío	
	121*	Midmar**	121	Midmar
% FDN	50,19	51,42	51,06	51,78
% FDA	29,18	29,51	26,26	27,64
% lignina	4,80	4,97	3,94	5,17
% digestibilidad de la MS <i>In vivo</i>	77,70	77,00	78,80	77,70

Adaptado de Hopkins *et al.* (2001)

*Cultivar seleccionado. ** Cultivar comercial.

2.3.3 Contenido mineral

Las pasturas basadas en leguminosas generalmente suplen el calcio (Ca) adecuado para vacas lactantes, pero las que se basan en gramíneas son usualmente deficientes en este mineral. Tanto los pastos como las leguminosas normalmente no suministran el fósforo (P) necesario para vacas lactantes, mientras que con ambos tipos de forraje las concentraciones de potasio (K) pueden ser muy altas (> 2,5 %). Las concentraciones de K altas en los forrajes no causan problemas para las vacas en producción cuando se suple el magnesio (Mg) requerido en la dieta. Las pasturas generalmente contienen menos de 0,3 % Mg (Weiss 2005).

En el Cuadro 14 se muestra el contenido de algunos minerales en variedades de ryegrass en diversos estados de cosecha

Cuadro 14. Contenido mineral del ryegrass en diversos estados de cosecha

Estado de cosecha	Ca	P	Mg	K	Na	Cl	Cu	Zn	Fe	Mn
	%						mg/Kg de MS			
Anual, fresco tierno ¹	0,65	0,41								
Anual, heno tierno ¹	0,62	0,34								
Anual, follaje tierno fresco ²	0,51	0,27								
Anual, heno final crecim. ³	0,62	0,34								
Anual, inicio crecim. en pastoreo ³	0,62	0,34								
Perenne, heno inicio floración ³	0,65	0,37								
<i>Lolium sp</i> , pastura manejo intensivo ⁴	0,56	0,44	0,20	3,36	0,02	0,56	10,0	36,0	275,0	75,0
<i>Lolium sp</i> , heno ⁴	0,58	0,23	0,20	2,01	0,04	0,50	9,0	31,0	156,0	72,0
<i>Lolium sp</i> , ensilaje ⁴	0,55	0,29	0,23	2,54	0,05	0,67	9,0	30,0	331,0	74,0
Bianual, pastoreo ⁵	0,59	0,31	0,27	3,4	0,37	0,43	11,0	38,0	188,0	123,0
Ryegrass perenne-trébol blanco ⁶	0,66	0,41			0,19					
Perenne, estado vegetativo temprano ⁷	0,65	0,40								
Perenne, estado reproductivo ⁷	0,55	0,27								
Perenne, heno secado al sol en estado vegetativo temprano ⁷	0,65	0,32								

¹ Hannaway (1999); ² Vélez (2002); ³ Shimada (1983); ⁴ NRC (2001); ⁵ Fulkerson (1998); ⁶ Jonsson *et al.* (1999); ⁷ Oregon State University (1999).

Los niveles de minerales en ryegrass cambian marcadamente con el rebrote. El potasio (K), el cual está usualmente en niveles más altos a los requerimientos del animal disminuye, mientras que el Ca y Mg se incrementan con rebrote en el estado de 4 hojas.

El contenido de calcio (Ca) del ryegrass se incrementa con el tiempo de rebrote hasta las 3 hojas, mientras que los niveles de fósforo (P) cayeron, dando un marcado cambio en la relación Ca : P de cerca de 1 : 1 en una hoja de edad, a 2,2 : 1 con tres hojas de rebrote. El magnesio no muestra cambios significativos a diferentes edades de rebrote y el potasio sí cae con períodos mayores de descanso. Ciertos problemas metabólicos (tetania de los pastos y fiebre de leche) se pueden presentar si la relación $K/(Ca + Mg)$ es mayor de 2,2; en el ryegrass perenne se encontró una relación por debajo de 2,2 con tres hojas de rebrote. Debido a lo anterior es que también se recomienda pastorear cerca de tres hojas de rebrote para reducir la probabilidad de sufrir enfermedades metabólicas y reducir la relación $K/(Ca + Mg)$ (Fulkerson *et al.* 1998, 1993).

Según Donaghy y Fulkerson (2001) un indicador apropiado de minerales para el comportamiento de las vacas lecheras es la relación $K / (Ca + Mg)$, hay evidencia razonable que esta relación debe estar por debajo de 2,2 para reducir la incidencia de la tetania de los pastos y otros problemas metabólicos; esta relación cae de 6 en el estado de una hoja a menos de 2,2 en el de 3 hojas. Otro indicador es la relación Ca : P, la relación recomendada para vacas lactantes es superior a 1,6:1. En el ryegrass esta relación cambia de cerca de 1:1 en una hoja a más de 2:1 en el estado de 3 hojas.

En el Cuadro 15 se compara la composición mineral de ryegrass italiano y ryegrass perenne que se sembraron de diversas formas y en diferentes épocas.

Cuadro 15. Composición mineral del ryegrass italiano y el ryegrass perenne.

Mineral	Italiano	Perenne
% Ca	0,47	0,63
% P	0,31	0,46
% K	2,40	2,61
% Mg	0,19	0,21
% S	0,20	0,28
% Na	0,08	0,05
Cu (mg / Kg)	5,80	8,20
Zn (mg / Kg)	21,0	21,0
Mn (mg / Kg)	156	151
Fe (mg / Kg)	63,0	79,0
B (mg / Kg)	3,80	3,70
Ca : P	1,52	1,37
K / (Ca + Mg)	3,64	3,11

Adaptado de Kunelius *et al.* (2004).

Hopkins *et al.* (2001) consideran que la relación K / (Ca + Mg), expresado como bases equivalentes en exceso de 2,2 ha mostrado que está ligada a una incidencia mayor de tetania de los pastos. Sin embargo en dos cultivares de ryegrass italiano que se investigaron (Cuadro 16) bajo dos regímenes de temperatura, estas relaciones no fueron lo suficientemente altas para ser una causa potencial de dicho desbalance metabólico.

Cuadro 16. Composición mineral de dos cultivares de ryegrass italiano bajo dos regímenes de temperatura.

Concentración de minerales	Régimen caliente		Régimen frío	
	121*	Midmar**	121	Midmar
% Ca	0,69	0,70	0,65	0,79
% Mg	0,32	0,36	0,35	0,43
% K	5,76	6,83	4,45	3,68
% Na	0,16	0,29	0,39	0,79
% P	0,32	0,33	0,30	0,33
Zn (mg / Kg)	54,2	53,5	40,0	48,7
Cu (mg / Kg)	13,5	13,9	11,1	11,1
Mn (mg / kg)	242,6	292,2	268,8	340,3
K / (Ca + Mg)	5,70	6,44	4,45	3,01

Adaptado de Hopkins *et al.* (2001)

*Cultivar seleccionado. ** Cultivar comercial.

2.3.4 Contenido de energía

No se han encontrado cambios en el porcentaje de digestibilidad o en el contenido de energía metabolizable en el pasto ryegrass perenne ofrecido en el estado de 3 hojas. Sin embargo, después del estado de 3 hojas, la digestibilidad y la EM de la pastura total disminuyen y la fibra incrementa con el aumento de hojas muertas y material talloso (Donaghy y Fulkerson 2001).

Cuando las vacas lecheras pastorean el consumo de energía se vuelve crítico. En un estudio corto se notó una gran diferencia en producción de leche (15 Kg/d) entre una ración totalmente mezclada (TMR) y vacas pastoreando sin suplementar, aunque la calidad alta de la pastura se estimó que tenía una energía neta de lactancia (EN_L) similar a la concentración de la TMR. En dicho estudio el 60 % de esa diferencia en el consumo de EN_L se debió al reducido consumo de materia seca y el 25 % de la EN_L fue empleada en caminar (Kolver y Muller 1998; citados por Firkins 2005).

En el Cuadro 17 se encuentra el contenido de energía en diversos cultivos de ryegrass a diferentes estados de cosecha

Cuadro 17. Contenido de energía del ryegrass a diversos estados de cosecha

Estado de cosecha	% TND	ED (Mcal/Kg de MS)	EM (Mcal/Kg de MS)	EN _m (Mcal/Kg de MS)	EN _g (Mcal/Kg de MS)	EN _i (Mcal/Kg de MS)
Anual, fresco tierno ¹	60,0	2,65	2,17	1,31	0,74	
Anual, fresco maduro ¹	58,0	2,56	2,10	1,24	0,68	
Anual, heno tierno ¹	60,0	2,65	2,17	1,31	0,74	
Anual, heno floración temprana ¹	57,0	2,51	2,06	1,21	0,64	
Anual, heno floración completa ¹	55,0	2,06	1,99	1,14	0,58	
Anual, follaje tierno fresco ²		3,17				
Perenne, follaje 18-24 días fresco ²		2,79				
Anual, heno final crecim. ³	62,0	2,73	2,31			
Anual, inicio crecim. en pastoreo ³	66,0	2,90	2,49			
Perenne, heno inicio floración ³	62,0	2,73	2,31			
<i>Lolium sp.</i> , pastura manejo intensivo ⁴	66,6	3,14	2,46	1,67	1,06	1,54
<i>Lolium sp.</i> , heno ⁴	56,3	2,49	1,86	1,19	0,63	1,12
<i>Lolium sp.</i> , ensilaje ⁴	55,7	2,49	1,86	1,19	0,63	1,12
<i>Lolium sp.</i> , pastoreo en franjas 33 días ⁵	59,94	2,64	2,17	1,31	0,73	1,35
Bianual, pastoreo ⁶			2,48			
Perenne, estado vegetativo temprano ⁷	80	3,50	2,87			
Perenne, estado vegetativo tardío ⁷	72	3,15	2,58			
Perenne, estado reproductivo ⁷	60	3,00	2,46	1,57	0,97	
Perenne, heno secado al sol en estado vegetativo temprano ⁷	64	2,82	2,40	1,41	0,78	

1 Hannaway (1999).

2 Vélez (2002).

3 Shimada (1983).

4 NRC (2001).

5 Nieto (2004).

6 Fulkerson (1998).

7 Oregon State University (1999).

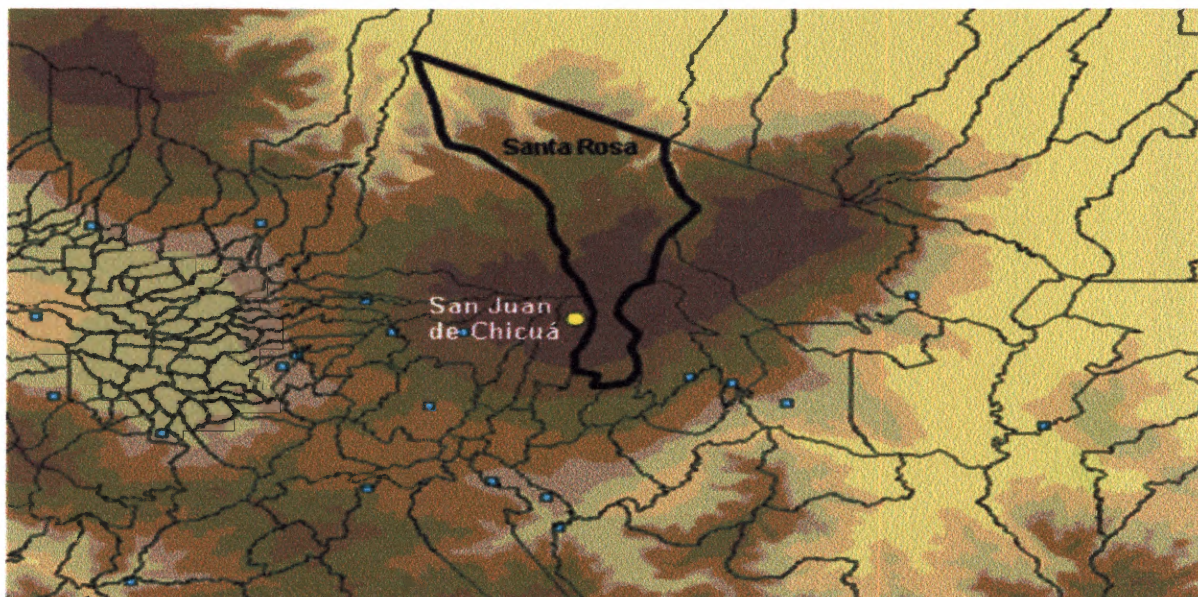
III. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se generó información sobre la disponibilidad y calidad nutricional del pasto ryegrass perenne (*Lolium perenne*), cultivado por productores de ganado de leche de altura en Costa Rica. El conocimiento de las variaciones en disponibilidad, aprovechamiento y valor nutricional de la materia seca es una herramienta de trabajo muy útil para planificar las prácticas de alimentación de una lechería a lo largo del año.

Se llevaron a cabo seis muestreos a lo largo del año 2005 en cuatro fincas comerciales productoras de leche, las cuales están ubicadas en el distrito de San Juan de Chicua, zona del Volcán Irazú, Oreamuno, Cartago.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y CLIMATOLOGÍA

El distrito de San Juan de Chicua se ubica a una latitud de 09°59' Norte con una longitud de 83°52' Oeste y se encuentra a una altura de 3090 msnm. Pertenece a la sección oriental del Valle Central (Figura 2), con una marcada influencia climática del Caribe.

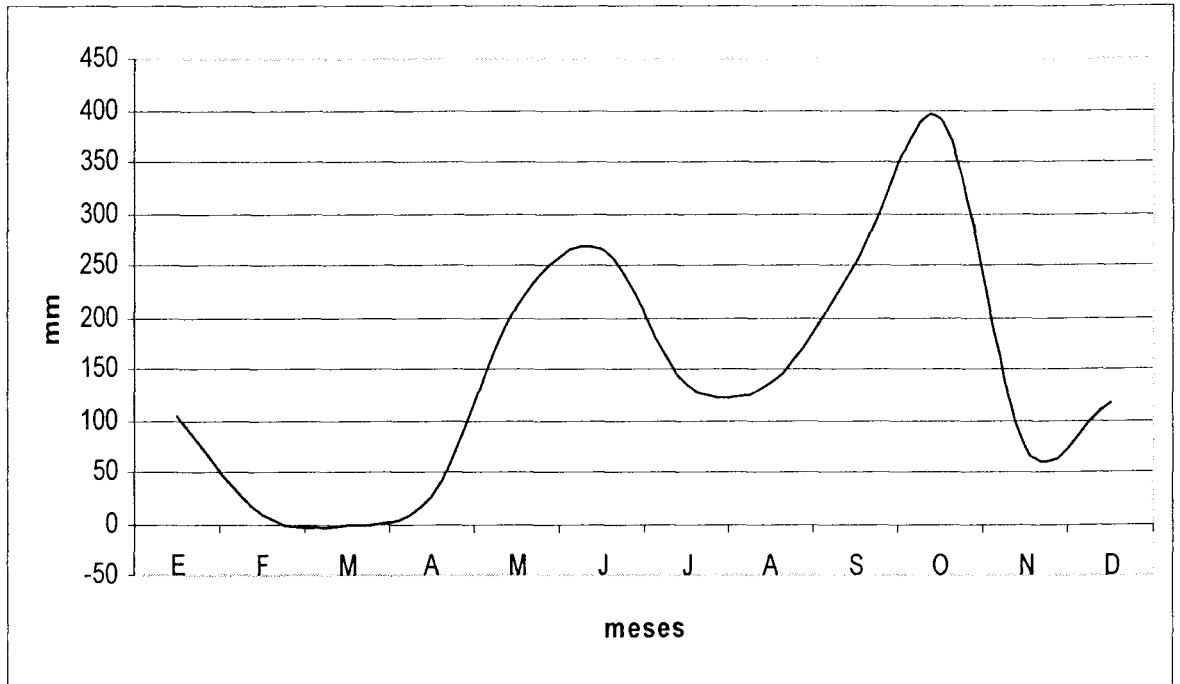


Fuente: Retana (2006)

Figura 2. Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio está clasificada según el sistema de Holdridge (1947) citado por Janzen (1991), dentro de la zona de vida denominada Bosque Pluvial Tropical de Montano; la cual para Costa Rica se considera como de asociación climática, con excepción de las regiones cercanas de los cráteres volcánicos activos. Dicho sistema de clasificación asigna una importancia primaria a la temperatura y a la precipitación pluvial y considera la fluctuación y distribución de estos dos parámetros climáticos como los principales determinantes de la vegetación mundial. Con base en los valores de precipitación, temperatura y evapotranspiración media potencial, se clasifica la zona dentro de un cinturón altitudinal (Montano) y dentro de una región latitudinal (Templado frío). Lo anterior apoya en parte la explicación de por qué el pasto ryegrass perenne se ha adaptado a las condiciones de trópico en la zona de estudio, siendo éste proveniente de condiciones de clima templado.

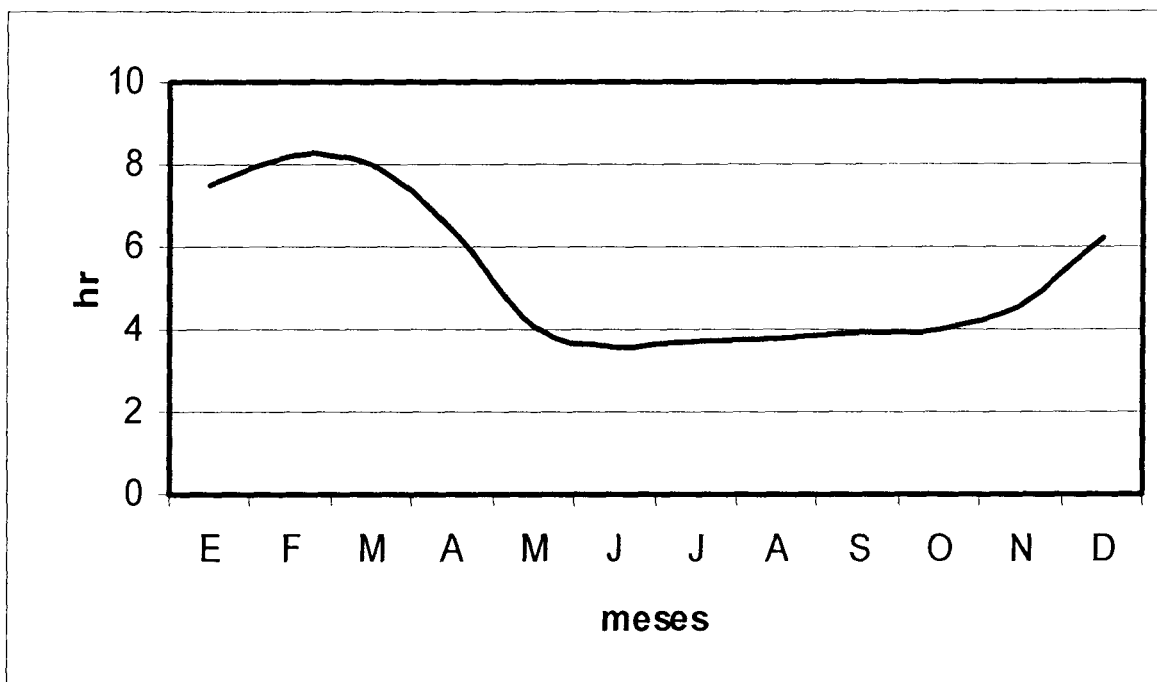
La precipitación en el año 2005 fue de 1724,3 mm, la cual es una mezcla de influencia del Caribe y el Pacífico y se encuentra cerca del valor de precipitación anual promedio de 1800 mm para esta zona según los registros de precipitación del Instituto Meteorológico Nacional que datan desde el año 1964. La precipitación presentó un comportamiento regular (Figura 3) con un período seco que se inicia en enero y concluye en abril. El mes de mayo marca el inicio de la época lluviosa (primer máximo de precipitación) y en los meses de junio y julio hay una disminución de las mismas (veranillo). En agosto se inicia un segundo período de lluvias donde octubre fue el mes más lluvioso (segundo máximo de precipitación) y diciembre es un mes de transición. La temperatura máxima promedio es de 15°C y la mínima promedio de 3,6°C, las variaciones de la temperatura a lo largo del año son muy pocas.



Fuente: Retana (2006)

Figura 3. Precipitación en la zona de Chicua, Oreamuno durante el año 2005

El brillo solar tuvo un promedio de 5,3 horas por día y presentó un comportamiento asociado a la temperatura y la nubosidad, por lo que en el período menos lluvioso (enero a abril), hay menos nubosidad proveniente del Pacífico y por lo tanto hay más brillo solar, esto se asocia con una mayor temperatura durante el día y disminuciones considerables de la misma durante la noche. Con el inicio del período lluvioso, el brillo solar disminuye lógicamente y se mantiene constante hasta noviembre. En diciembre el inicio de la temporada de los vientos del norte y los frentes fríos hacen disminuir la nubosidad y vuelve a aumentar el brillo solar. En la Figura 4 se puede observar el comportamiento del brillo solar en la zona objeto de estudio con base en registros históricos.



Fuente: Retana (2006)

Figura 4. Horas de brillo solar promedio diarias por mes en la zona de Chicua, Oreamuno para el año 2005.

En esta zona, que aunque tiene influencia del Caribe, el viento se comporta similar a lo que se experimenta en el Valle Central con vientos de dirección noreste, fríos y fuertes a partir de diciembre-enero, disminuyendo la intensidad y cambiando la dirección a partir de abril-mayo, donde el componente principal es del sureste, que son vientos provenientes del Pacífico cargados de humedad. El promedio mensual de velocidad del viento es de 12,7 kilómetros por hora (Retana 2006).

La zona de San Juan de Chicua es predominantemente productora de tubérculos (papa principalmente) y de leche. La producción láctea en la zona es constante a lo largo del año y solo en ciertas épocas se incluyen ciertas prácticas de manejo en las fincas (incrementos en la suplementación) para mantener la cuota de entrega de leche. Los suelos de esta zona se clasifican como andisoles o derivados de materiales volcánicos, los cuales ocupan las zonas centrales del país: el Valle Central y las faldas de los volcanes en todos sus flancos. Estos suelos cubren el 14 % del territorio nacional y es donde se concentra la ganadería de leche de altura (Bertsch 1998).

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS FINCAS

El pastoreo en estas fincas se basa en un sistema rotacional de tiempo definido (entre 33-45 días de rotación). El pasto predominante es el ryegrass perenne (*Lolium perenne*) con áreas pequeñas de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Los cultivares de esta región son tetraploides (4n) que se han obtenido por mutación y que tienen entre 10 y hasta 20 años de establecidos. Los potreros tienen un área entre 1700 y 2400 m² y se encuentran divididos de tal forma que los animales pastorean un potrero en la tarde-noche y otro en la mañana, luego de cada uno de los dos ordeños que se realizan diariamente.

Además de forraje, los animales se suplementan con alimento balanceado durante el ordeño, en cantidades variables entre fincas, pero siempre en relación al nivel de producción y según la etapa de lactancia en que se encuentren. En las épocas de alta precipitación, se acostumbra suplementar con fuentes de fibra (pacas de heno principalmente) que ayuden a mantener la salud ruminal debido a que los pastos son muy suculentos, así como por las cantidades de alimento balanceado que se brinda. En algunas de las fincas se da en ciertas épocas otros forrajes conservados como ensilaje de avena forrajera (*Avena sativa*) y subproductos de cosechas de las mismas fincas (principalmente papa de rechazo). La mayoría de animales en las cuatro fincas son de la raza Holstein y en una de las fincas cuentan con unos pocos animales de la raza Jersey.

En cada una de las fincas se tomó una muestra compuesta de suelo (cuatro muestras en total) con el objetivo de diagnosticar de manera aleatoria y muy general, el grado de fertilidad en dichos suelos. El muestreo de suelos se llevó a cabo haciendo un recorrido en zig-zag en el potrero que seguía en el orden de rotación tomando varias submuestras, de las cuales se hizo una muestra representativa del estado del potrero. Las submuestras se tomaron a una profundidad de alrededor de 10 cm donde se concentran la mayor parte de las raíces del pasto, los criterios anteriores y la metodología seguida son

parte de los aspectos que Bertsch (1998) y Henríquez y Cabalceta (1999) respectivamente, mencionan que se deben considerar en el momento de tomar una muestra de suelo independientemente del cultivo de estudio. Los resultados de dichos análisis se encuentran en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Análisis químico para las muestras de suelo de las cuatro fincas ubicadas en Chicua, Oreamuno y consideradas en la investigación.

Análisis	Rangos adecuados*	Finca 1	Finca 2	Finca 3	Finca 4
pH H ₂ O	5,5-6,5	6,2	5,8	6,0	6,0
Ca	4-20 cmol(+)/L	5,96	3,06	6,01	2,71
Mg	1-5 cmol(+)/L	2,59	1,17	1,76	1,05
K	0,2-0,8 cmol(+)/L	0,37	0,16	0,50	0,39
Acidez	< 0,3	0,12	0,23	0,15	0,12
CICE	> 5	9,04	4,61	8,42	4,26
P	10-50 mg/L	79	32	146	122
Cu	1-20 mg/L	9	14	8	7
Fe	10-50 mg/L	311	353	370	132
Mn	10-50 mg/L	3	5	5	2
Zn	3-10 mg/L	9,5	5,5	10	3,7

* Para cultivos en general
Fuente: Bertsch (1986).

El contenido mineral de los suelos se encuentra dentro de lo normal para un suelo andisol; sin embargo hay varios aspectos que se deben resaltar. En las fincas 2 y 4 se presentaron contenidos de bases (Ca-Mg-K) bajos, pero el valor de acidez y de pH en agua son normales por lo que es probable que no haya problemas de acidez y más bien esos valores se pueden deber a que se trata de suelos muy arenosos que se lixivian mucho y/o que se cultivan de manera intensiva, en el caso del Ca y el Mg que generalmente se pierden juntos. En el caso del K se debe considerar que los pastos son grandes extractores de dicho mineral. Según Cabalceta (2006) la metodología para analizar hierro presenta limitaciones que hacen difícil correlacionar los resultados de los análisis con lo visto en el campo. El P presentó un valor más bajo en la finca 2 seguido de la finca 1. Debido a la poca cantidad de muestras

de suelo y a que no se trataba de los mismos potreros donde se muestreó para analizar el contenido mineral foliar, estos análisis no se considerarán como herramienta de correlación entre ellos.

Las cuatro fincas contaban con programas de fertilización establecidos y que se ajustan a las características y objetivos de manejo de cada una. De forma general se fertilizan todos los potreros después del pastoreo en dosis de 3,5 a 6,6 sacos de fertilizante comercial (de 46 Kg) por cada uno a tres potreros por ciclo de pastoreo respectivamente. En la época de transición (abril-mayo) se acostumbra aplicar cal en las fincas 1 y 4, mientras en las fincas 2 y 3 se encala al final de cada dos ciclos del programa de fertilización. Las fórmulas de fertilizantes más comúnmente utilizadas fueron Urea, Magnesamon®, Nitrato de Calcio y algunas completas específicas para pastos. Se debe recordar que el área de los apartos en cada finca es diferente por lo que la variación en las dosis de aplicación de fertilizante se debe a dicho factor.

Las fincas presentaban una topografía irregular, los apartos muestreados en la mayoría de los casos tenían poca pendiente y con predominancia del pasto ryegrass. Además del ryegrass, en los potreros había kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), trébol blanco (*Trifolium repens*), así como las malezas *Hydrocotyle sp.*, *Poa annua*, *Taraxacum sp.* y *Rumex sp.* (Montiel y Gómez 2006).

En cada muestreo se visitó el primer día dos fincas y se tomó muestras para estimar: calidad nutricional, disponibilidad pre-pastoreo y composición botánica en dos potreros (tarde-noche y mañana) por finca. Al día siguiente se regresó a estas fincas y se tomaron muestras de disponibilidad pos-pastoreo en los mismos potreros del día anterior. Los potreros donde se toman las muestras no son fijos para cada muestreo, sino que se realiza en los potreros donde los animales vayan a entrar a pastorear el primer día de muestreo en la tarde-noche y la mañana del día siguiente. La semana siguiente se realizó el mismo procedimiento de muestreo en las otras dos fincas. El muestreo se realizó cada dos meses durante un período de un año.

3.3 TÉCNICA DE MUESTREO PARA ESTIMAR LA DISPONIBILIDAD DE MATERIA SECA DEL PASTO

La estimación de la disponibilidad de materia seca se llevó a cabo siguiendo la metodología utilizada por Hargraves y Kerr (1978) en el Botanal®. Las mediciones se realizaron en dos potreros por finca, en cada una de las visitas que se realizaron cada dos meses durante un año. Uno de los potreros correspondía al que los animales irían a pastorear el primer día en la tarde luego del segundo ordeño y el otro potrero o apartado es al que van a entrar el día siguiente después del primer ordeño en la mañana; éstas son las muestras pre-pastoreo. Al día siguiente se regresó a las fincas y se estimó la disponibilidad en los mismos potreros muestreados el día anterior, pero luego de que los animales lo pastorearon y han salido hacia otros potreros; éstas son las muestras pos-pastoreo.

Al llegar a cada potrero se hizo un recorrido general para tener una visión de la disponibilidad y uniformidad en la pastura, tanto en altura como en densidad de plantas, con el fin de establecer diferentes niveles de disponibilidad. Primero se establecía el nivel mayor (número 3) y el menor (número 1), y a partir de estos se establecía un nivel intermedio (número 2). De cada nivel se tomó una muestra utilizando un cuadro metálico de 0,5 m x 0,5 m (0,25 m²). La muestra se cosechó con tijeras y se pesó en fresco, éstas son las muestras reales.

Luego se hizo un muestreo al azar lanzando el cuadro por todo el potrero, se realizaron 50 estimaciones visuales que permitían ponderar la frecuencia de observación con la producción de materia seca de las muestras reales y así, se obtuvo un valor de disponibilidad de materia seca en kilogramos o toneladas por hectárea, en condiciones de pre-pastoreo y pos-pastoreo. Las variables que se evaluaron con la metodología del Botanal® fueron: disponibilidad de materia seca pre-pastoreo (Kg/ha), disponibilidad de materia seca pos-pastoreo (Kg/ha), aprovechamiento de forraje por el ganado (diferencia entre disponibilidad pre-pastoreo y pos-pastoreo), porcentaje de aprovechamiento (%) y

estimación del consumo de materia seca promedio por animal por día; este último con base en el área aproximada de los apartos de cada finca y el número de animales de la misma.

3.4 TÉCNICA DE MUESTREO Y MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS PARA ESTIMAR EL VALOR NUTRICIONAL

Las muestras con las que se estimó el valor nutricional debían reflejar lo que los animales estaban consumiendo, por lo que las muestras se tomaron a una altura de 10 cm sobre el suelo, debido a que se planteó dicha altura como adecuada con base en observaciones realizadas en los apartos recién pastoreados. La muestra fresca tenía un peso de 1400-1600 gramos, luego se secó y molió para obtener una cantidad de muestra suficiente para los diversos análisis. Lo anterior se realizó con cada una de las 48 muestras tomadas y a todas se les determinó todos los parámetros de calidad, con excepción del contenido de minerales que se hizo en 24 muestras.

Para estimar el valor nutritivo del pasto ryegrass se determinó los contenidos de materia seca (MS) y proteína cruda (PC) con las metodologías del AOAC (1990); extracto etéreo (EE) y cenizas con las metodologías del AOAC (2000), y las fracciones de la pared celular (fibra detergente neutro - FDN, fibra detergente ácido - FDA, hemicelulosa, celulosa, lignina y sílica) con el método de Van Soest y Robertson (1985). Además se analizaron dos de las fracciones de la proteína en la FDN y en la FDA (fracciones B3 y C) siguiendo el método propuesto por Licitra *et al.* (1996) y Van Soest y Robertson (1985). Para estimar el contenido de carbohidratos no fibrosos se empleó la metodología descrita por Van Soest *et al.* (1991).

Se determinó la digestibilidad "*in vitro*" de la materia seca (DIVMS) por medio de la metodología de Van Soest y Robertson (1979). Los niveles de energía digestible (ED), energía metabolizable (EM), energía neta de lactancia (EN_L) a 3X (3 veces la energía requerida para mantenimiento) y energía neta de ganancia (EN_G), se estimaron siguiendo las metodologías descritas por el NRC (2001).

Se determinó el contenido de calcio, fósforo, magnesio, potasio, sodio, cobre, zinc, hierro y manganeso para la mitad de las muestras de calidad nutricional recolectadas, utilizando las metodologías descritas por Fick (1979).

3.5 TÉCNICA DE MUESTREO PARA ESTIMAR EL NÚMERO DE HOJAS AL PASTOREO (EDAD FENOLÓGICA)

Se estimó la edad fenológica a que se pastorea el pasto ryegrass perenne en las cuatro fincas por medio del conteo del número de hojas vivas en condiciones de pre-pastoreo en los potreros estudiados. Para lograr este objetivo en cada una de las 50 observaciones realizadas para estimar disponibilidad se tomó una planta y se contó su número de hojas. En la Figura 1 se muestra la forma de rebrote de las hojas del ryegrass y cómo se hace el conteo de las mismas.

3.6 METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL DE LA PLANTA

Se evaluó la composición botánica en las pasturas en condiciones de pre-pastoreo en los mismos apartos donde se muestreó por medio de una muestra tomada al azar en cada potrero en diversos puntos y que se cortó al ras del suelo. Luego en el laboratorio se procedió a separar la planta en sus diferentes partes: tallo, hoja y material senescente y se secó a 60°C para obtener la materia seca de cada parte. Por medio de estas relaciones se pueden establecer correlaciones con los resultados de calidad nutricional y de la palatabilidad del pasto (en general entre más hoja más palatable).

3.7 METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD POTENCIAL DEL FORRAJE PARA PRODUCIR LECHE CORREGIDA POR ENERGÍA Y PROTEÍNA.

Se estimó la capacidad potencial del pasto ryegrass perenne para producir leche, con base en su contenido de energía y proteína del análisis nutricional, utilizando simulaciones en el programa del NRC (2001). Se llevó a cabo en la finca 1 debido a que ésta contaba con mediciones adecuadas

de las distancias recorridas por los animales entre la lechería y los potreros así como valores más constantes (por su desviación estándar menor) del consumo de materia seca estimado.

3.8 METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LA PASTURA

Se evaluó la composición botánica de la pastura en los mismos apartos donde se realizó la estimación de disponibilidad, valor nutricional y composición estructural de la planta en condiciones de pre-pastoreo. Con esto se buscó tener una idea de la competencia interespecífica que se da en la pastura y la facilidad con que se pueden desarrollar otras especies de plantas en la pastura en diferentes épocas del año. Se basó en las mismas 50 muestras visuales en un cuadro de 0,5 m x 0,5 m y se evaluó en orden descendente las tres principales especies que se encontraban en esa área. Las especies que se evaluaron fueron: ryegrass, otras gramíneas (principalmente Kikuyo), Trébol Blanco (*Trifolium repens*), malezas y material senescente.

3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con la información obtenida de las variables analizadas para la disponibilidad de materia seca, se realizó un análisis de varianza que permite detectar efectos significativos ($P \leq 0,05$) por medio del siguiente modelo:

$$\text{Variables de disponibilidad analizadas} = \mu + \text{Mes}_i + \text{Finca}_j + \text{Mes} * \text{Finca} + e_{ij}$$

Donde las variables de disponibilidad son el resultado de μ que es la media de dichas variables más el efecto de los meses, el efecto de las fincas y la interacción entre ambos factores y donde e son los residuales del modelo. Se aplicó además la prueba de Duncan para encontrar diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre medias en los diferentes meses y fincas para todas las variables. Se realizó un modelo alternativo igual que el anterior pero en el que se incluyó además el efecto lineal y

cuadrático del tiempo de ocupación de los potreros, pero únicamente se consideró su efecto sobre la disponibilidad postpastoreo, el aprovechamiento por hectárea y el porcentaje de aprovechamiento.

Para analizar la información obtenida del consumo de materia seca por animal por día estimado se propuso un análisis que permite encontrar efectos significativos ($P \leq 0,05$) con el siguiente modelo:

$$\text{Consumo por animal por día} = \mu + \text{Finca}_i + e_i$$

Donde el consumo de materia seca es el resultado de μ que es la media de dicha variable más el efecto de las fincas y donde e son los residuales del modelo. Se aplicó además la prueba de Duncan para encontrar diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre valores medios entre fincas.

Así mismo se realizó una simulación en una de las fincas para estimar las necesidades nutricionales del hato en producción, para posteriormente estimar el consumo por diferencia de pasto y compararlo con los valores obtenidos con la metodología del Botanal ®. La finca seleccionada tiene prácticas de alimentación muy constantes a lo largo del año y además se tiene información topográfica sobre el tamaño de los apartos y distancias que deben caminar los animales de los potreros a la sala de ordeño.

Con la información obtenida para las variables de: calidad nutricional, composición botánica de la pastura, composición estructural de la planta y edad fenológica se buscó efectos significativos ($P \leq 0,05$) por medio del siguiente modelo:

$$\text{Variables analizadas} = \mu + \text{Mes}_i + \text{Finca}_j + \text{Mes*Finca} + e_{ij}$$

Donde las variables de calidad nutricional, composición botánica de la pastura, composición botánica de la planta y edad fenológica son el resultado de μ que es la media de dichas variables más el efecto de los meses, el efecto de las fincas y la interacción entre ambos factores y donde e son los

residuales del modelo. De igual forma se aplicó la prueba de Duncan para encontrar diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre medias en los diferentes meses y fincas para todas las variables.

Para evaluar la información obtenida del contenido mineral se usó el siguiente modelo:

$$\text{Minerales analizados} = \mu + \text{Época}_i + \text{Finca}_j + \text{Época} * \text{Finca} + e_{ij}$$

Donde el contenido de cada mineral es el resultado de μ que es la media de dichas variables más el efecto de las épocas, el efecto de las fincas y la interacción entre ambos factores. Así mismo e son los residuales del modelo. De igual forma se aplicó la prueba de Duncan para encontrar diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre medias en las diferentes épocas y fincas para todos los minerales.

Con toda la información de disponibilidad de la materia seca, calidad nutricional, contenido mineral, edad fenológica, composición estructural de la planta y composición botánica de la pastura se calcularon promedios, valores máximos y mínimos utilizando el paquete estadístico SAS (2001).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se analizarán y discutirán los resultados obtenidos en esta investigación. Primero se discutirán los resultados de la estimación de la disponibilidad de la materia seca del pasto ryegrass perenne a lo largo de un año, luego la edad fenológica a la que se está pastoreando, seguido de la composición botánica de la pastura, la composición estructural de la planta, las diferentes fracciones analizadas para estimar el valor nutricional y por último, la capacidad potencial del forraje para producir leche corregida por energía y proteína.

4.1.1 DISPONIBILIDAD DE MATERIA SECA DEL PASTO RYEGRASS PERENNE

En el Cuadro 19 se presentan los valores promedio por finca obtenidos por periodo de rotación para la disponibilidad de materia seca pre y pospastoreo, el aprovechamiento por hectárea y el porcentaje de aprovechamiento, así como el promedio general para cada variable. No se encontraron diferencias significativas ($P \geq 0,05$) entre las fincas para estas variables.

La finca 2 presentó los valores mayores de disponibilidad prepastoreo, aprovechamiento por hectárea y porcentaje de aprovechamiento, siendo estos valores de 4510 y 2229 Kg MS/ha y 48,4 % respectivamente. A pesar de que la finca 2 fue la que tuvo una carga animal más baja (Cuadro 23), el mayor aprovechamiento mostrado por los animales en pastoreo puede deberse a que el nivel de suplementación fue el segundo más bajo de las cuatro fincas estudiadas, así mismo el tiempo en que los animales permanecen en los potreros fue el mayor junto con la finca 1, con un total de 21,5 horas por día. Nieto y Solano (2004) reportaron en condiciones tropicales (Palmira, Alfaro Ruiz) valores de producción de biomasa de entre 3,5 a 4,2 toneladas de materia seca por hectárea por ciclo de pastoreo con un periodo de recuperación de 33 días, los cuales son similares a los obtenidos en esta investigación.

El valor mayor de disponibilidad pospastoreo lo tuvo la finca 3 con 2477 Kg MS/ha. Lo anterior puede ser debido a que en dicha finca se suplementó tanto con alimento balanceado como con ensilaje de avena forrajera (*Avena sativa*) y residuos de cosechas (zanahoria y papa), así mismo el tiempo de permanencia de los animales en los potreros fue de 18,5 horas por día, lo cual limita el adecuado aprovechamiento del forraje (Figura 7).

La finca 1 por su parte presentó los valores menores de disponibilidad pre y pospastoreo con 3787 y 2088 Kg MS/ha y la finca 4 los de aprovechamiento por hectárea y porcentaje de aprovechamiento con 1610 Kg MS/ha y 41,3 %, respectivamente. En cualquier finca ganadera se debe tener presente la importancia de mantener tanto una adecuada carga animal, como un buen control sobre el tiempo que los animales permanecen dentro de los potreros. En el caso de las fincas de ganado de leche es sumamente importante que el proceso de ordeño se realice de forma efectiva para que los animales puedan consumir la mayor cantidad de forraje en las horas más frescas (Hodgson y Brookes 2002)

Cuadro 19. Disponibilidad promedio por ciclo de pastoreo de la materia seca del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche evaluadas durante un año, en la zona de San Juan de Chicua, Oreamuno.

Finca	Disponibilidad prepastoreo (Kg MS/ha)	Disponibilidad pospastoreo (Kg MS/ha)	Aprovechamiento por hectárea (Kg MS/ha)	% Aprovechamiento
1	3787 (997) ¹	2088 (813)	1699 (597)	45,2 (12,8)
2	4510 (1236)	2280 (763)	2229 (1053)	48,4 (15,3)
3	4187 (1572)	2477 (1342)	1710 (633)	43,2 (15,4)
4	3839 (999)	2229 (838)	1610 (767)	41,3 (17,1)
Promedio²	4110	2276	1833	44,82

1. Desviación estándar entre paréntesis

2. Los valores corresponden al promedio de 43 muestras

Fulkerson y Donaghy (2001) encontraron valores de disponibilidad de 4300 y 2400 Kg de MS/ha por período de pastoreo para el pasto ryegrass perenne con dosis de fertilización de 200 y 50 Kg de N/ha/año, respectivamente. El ryegrass perenne mostró un valor de disponibilidad prepastoreo promedio de 4110 Kg de MS/ha que es bastante cercano a dichos valores, pero menor a la producción de pastos tropicales como el kikuyo que produce en promedio 7238 Kg de MS/ha (Andrade 2006). Sin embargo, este último forraje tiene valores de aprovechamiento menores.

En el Cuadro 20 se muestra las variaciones en disponibilidad pre y postpastoreo, aprovechamiento por hectárea y porcentaje de aprovechamiento a lo largo del año en períodos bimestrales. Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para todas las variables. En relación con la disponibilidad de biomasa, el período de marzo-abril es en el que hay mayor disponibilidad de pasto, lo cual coincide con la época de verano en donde hay menos nubosidad del Pacífico y por lo tanto hay más brillo solar para esa zona (entre 6,4 a 8 horas luz por día). A pesar de que la precipitación es baja durante esta época (Figura 3), las condiciones propias de las fincas (riego y riachuelos) permiten mantener una adecuada producción de biomasa. Además, en dicha zona debido a su altitud y, principalmente en esta época, es cuando se registra la mayor velocidad de los vientos (entre 15,5 a 18,1 Km/h) que puede arrastrar gran cantidad de nubes que podrían mantener al pasto con humedad (rocío) que le permite producir de forma sostenible (Retana 2006).

De acuerdo con Oviedo y Ciotti (2004) el anegamiento temporal no genera diferencias significativas en el rendimiento de biomasa producida del pasto ryegrass anual, lo que permite su utilización como forraje de invierno en áreas con problemas de drenaje, sin embargo el ryegrass perenne tiene una tolerancia baja a la anegación (Cuadro 1), lo cual se observa en los meses de setiembre y octubre donde se dio una producción de biomasa baja, meses en los cuales hay una mayor precipitación (Figura 3). Los andisoles se caracterizan además por tener una estructura que propicia el

buen drenaje, pero a su vez una buena retención de humedad, por lo que se dice que son suelos que retienen más de su peso en agua; es por esto que la producción de biomasa mayor en los meses de marzo-abril pueda deberse a que dichos suelos retienen una adecuada humedad que, junto con una mayor cantidad de brillo solar (Figura 4), permitió producir más forraje (Bertsch 1998).

Cuadro 20. Producción de biomasa del pasto ryegrass perenne a lo largo de un año en la zona de San Juan de Chicua, Oreamuno.

Meses	Disponibilidad prepastoreo (Kg MS/ha)	Disponibilidad pospastoreo (Kg MS/ha)	Aprovechamiento por hectárea (Kg MS/ha)	% Aprovechamiento
Ene-Feb	3229,2 ^c	1919,7 ^b	1309,5	41,33
Mar-Abr	5537,7 ^a	3631,1 ^a	1906,7	34,03
May-Jun	4798,3 ^{ab}	2385,5 ^b	2412,7	48,92
Jul-Ago	3841,4 ^{bc}	1886,1 ^b	1955,3	50,35
Set-Oct	3500,2 ^c	1921,0 ^b	1579,2	43,78
Nov-Dic	3553,4 ^c	1724,9 ^b	1828,5	52,05
Promedio¹	4110	2276	1833	44,82

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Los valores corresponden al promedio de 43 muestras

Los meses de enero y febrero son los que presentan, según Retana (2006), los valores mayores de brillo y radiación solar, sin embargo durante esta época es donde se dan las temperaturas mínimas más bajas a lo largo del año llegando hasta 3,0 ° C y se da una cristalización del rocío sobre las hojas del pasto ("escarchada"), fenómeno muy propio de zonas de altura en donde es común encontrar por las mañanas los potreros brillantes por el rocío cristalizado, de la madrugada. El pasto ryegrass perenne soporta dicho fenómeno, lo cual no quiere decir que no sea un factor estresante para el adecuado desempeño de la planta como se manifiesta en la producción de biomasa en los primeros

dos meses del año. A lo largo de toda la época de temperaturas bajas (noviembre a febrero) no hubo diferencia en la disponibilidad prepastoreo. En mayo empiezan las lluvias y se presenta el primer pico de precipitación (Figura 3), así mismo las condiciones de temperatura vuelven a ser más favorables en el período desde marzo hasta agosto pero debido a que hay una nubosidad mayor, disminuye el brillo y consigo la radiación solar (Retana 2006).

La disponibilidad postpastoreo es, en parte, producto de la disponibilidad prepastoreo y por eso solo en marzo-abril se presentó un valor mayor ($P \leq 0,05$) debido a la influencia de la mayor producción de biomasa, sin embargo el aprovechamiento por hectárea está influido más directamente por la carga animal de cada finca y por cambios climáticos (Cowan y Lowe 1998). En octubre se presenta el segundo pico de precipitación (Figura 3), lo cual a pesar de ser beneficioso para la planta, no lo es para los potreros y para el mejor aprovechamiento que puedan tener los animales por las dificultades para desplazarse dentro de estos. Los suelos andisoles poseen según Bertsch (1998), una baja densidad aparente, lo que los hace susceptibles de compactarse por el pisoteo, por lo tanto en los meses de mayor precipitación se debe controlar la permanencia de los animales en los potreros para que estos no se degraden, así mismo en esta época el material forrajero es muy succulento por lo que se deben buscar prácticas de alimentación en cada finca para suplementar con otras fuentes de forraje como pacas de heno o silopacas, que mantengan un adecuado funcionamiento ruminal (Cruz y Sánchez 2000).

El aprovechamiento por hectárea (Cuadro 20) aumenta en el período de mayo-agosto, lo cual puede deberse a que las condiciones climáticas son muy favorables y contribuyen a generar un mayor aprovechamiento del forraje, así mismo la disponibilidad prepastoreo muestra valores de 4798,3 y 3841,4 Kg de MS/ha que son los más altos después del bimestre de marzo-abril. A pesar de que marzo-abril son los meses en donde hay una mayor producción de biomasa, de acuerdo con los

resultados, es también cuando se da un menor porcentaje de aprovechamiento del pasto, por lo que esa mayor cantidad de biomasa disponible en esa época no se está utilizando de la mejor forma, ya que hay una diferencia de diez unidades porcentuales con respecto al valor promedio de aprovechamiento (44,82 %), lo que representa aproximadamente 600 Kg de materia seca ($5537 \times 0.1079 = 597$ Kg) o 4200 Kg de material verde ($597 / 0,14 = 4264$ Kg), que los animales están dejando de consumir por cada hectárea cosechada en esa época, es por eso que sería adecuado en dicha época aplicar prácticas de manejo como diferir potreros para la elaboración de silopacas o acortar los períodos de recuperación de los potreros. En los meses de setiembre-octubre el porcentaje de aprovechamiento también disminuye, lo cual representa un consumo menor de los animales, por lo tanto sería adecuado suplementar con alguna fuente de fibra como puede ser las silopacas elaboradas en la misma finca.

De acuerdo con Donaghy y Fulkerson (2001) el promedio de utilización o porcentaje de aprovechamiento del pasto ryegrass perenne se estima en alrededor de 50 a 60 %, sin embargo dichos valores son procedentes de Nueva Zelanda, donde los sistemas de producción de leche se basan únicamente en forraje lo cual hace que los animales lo aprovechen más; así mismo en dicho país no se acostumbra suplementar los animales en producción como es habitual en nuestro país, lo cual a su vez genera un efecto sustitutivo del pasto. Con el modelo estadístico usado se encontró un efecto significativo del mes para la disponibilidad prepastoreo ($P = 0,0011$) y pospastoreo ($P = 0,0002$) y no hubo un efecto significativo ($P \geq 0,05$) del mes sobre el aprovechamiento por hectárea y el porcentaje de aprovechamiento.

En la Figura 5 se muestra la variación en la disponibilidad prepastoreo promedio a lo largo del año con un rango de una desviación estándar ($\pm 1DE$). Se puede observar que la mayor parte de los valores de disponibilidad prepastoreo se mantienen a lo largo del año entre 2600 a 6900 Kg MS / ha, dichos valores se pueden considerar para el establecimiento de pasturas de ryegrass perenne en la

zona de Chicua y además, se puede esperar una producción de biomasa dentro de dichos valores, bajo adecuadas prácticas de manejo similares a las de la presente investigación.

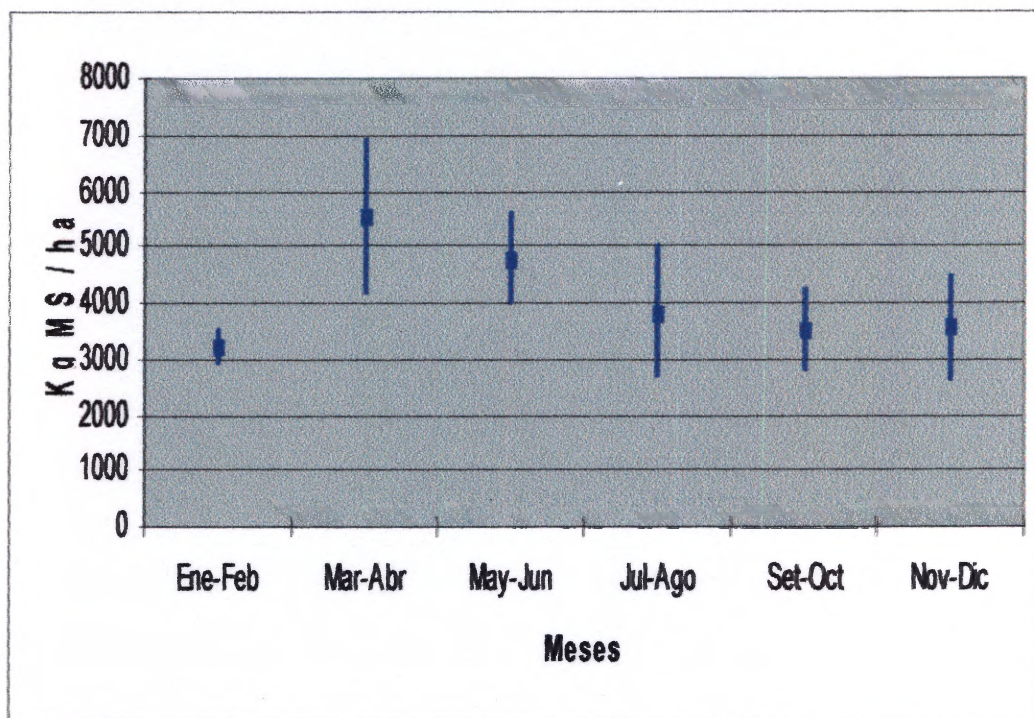


Figura 5. Disponibilidad prepastoreo promedio (± 1 DE) (Kg MS / ha) del pasto ryegrass perenne a lo largo de un año en la zona de San Juan de Chicua, Oreamuno

En la Figura 6 se aprecia la variación en disponibilidad pre y postpastoreo, el aprovechamiento por hectárea y el porcentaje de aprovechamiento a lo largo del año. Donaghy y Fulkerson (2001) mencionan que las zonas lecheras de Nueva Zelanda producen entre 5 y 12 toneladas de MS/ha/año y que con riego puede obtenerse un 25 % más de MS. Si se considera el valor promedio de disponibilidad obtenido de 4110 Kg MS/ha y con un periodo de recuperación promedio de 37 días se obtiene que cada potrero ($365 / 37 = 9,86$) se ocuparía 9,86 veces por año; esto da un valor ($4110 \times 9,86 = 40544$ Kg) de 40,5 toneladas de MS/ha/año en base a valores promedio. Es por esto que a pesar de que en Nueva Zelanda la producción es estacional, se debe considerar que la producción de biomasa del pasto ryegrass perenne en nuestro país presenta muchas ventajas competitivas, ya que se puede mantener

relativamente constante a lo largo del año, lo cual es uno de los mayores beneficios de producir especies de clima templado en condiciones tropicales de altura, ya que los pastos C₄ no pueden desempeñarse de la mejor forma y un ejemplo de ello es cómo se quema el pasto kikuyo en el época seca (Vélez *et al.* 2002).

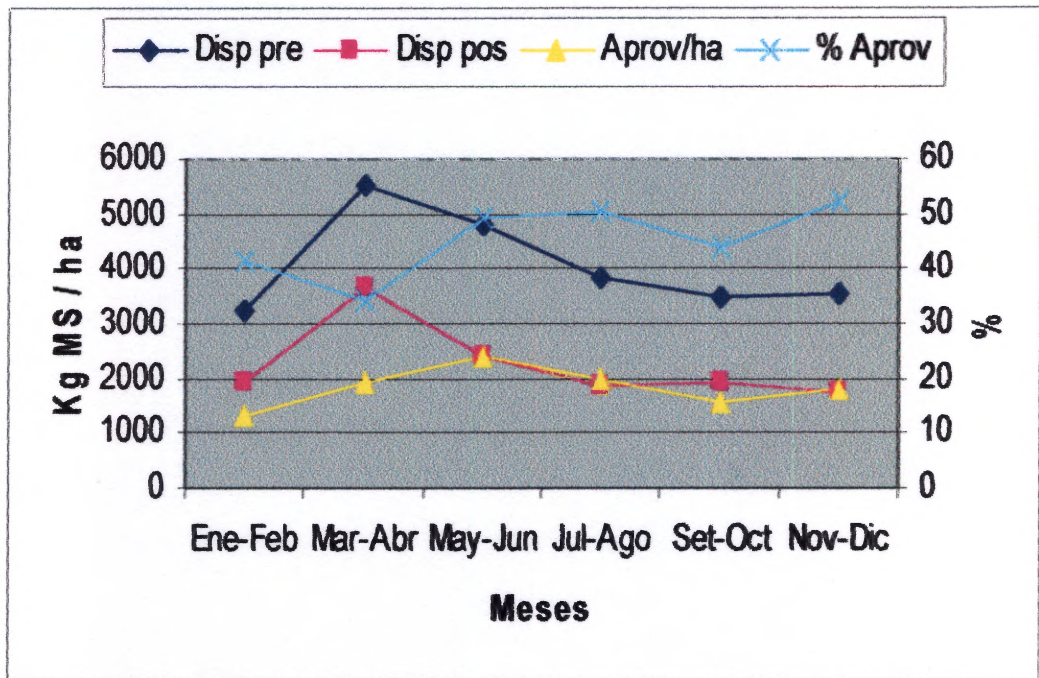


Figura 6. Variación en la disponibilidad y aprovechamiento del pasto ryegrass perenne a lo largo del año en la zona de San Juan de Chicua

4.1.2 APROVECHAMIENTO POR HECTÁREA Y PORCENTAJE DE APROVECHAMIENTO

Se planteó un modelo estadístico alternativo al de disponibilidad con el cual se evaluaron los efectos lineales y cuadráticos de las horas de ocupación de los potreros, sobre variables como la disponibilidad pospastoreo, aprovechamiento por hectárea y porcentaje de aprovechamiento. De las diferentes variables analizadas solamente el aprovechamiento por hectárea presentó una tendencia lineal (Figura 7), donde a mayor tiempo de ocupación de los potreros, el aprovechamiento de los forrajes fue mayor. Aunque el efecto simulado es pequeño, el mismo nos pone de manifiesto la importancia de organizar las rutinas de la finca de tal modo que las vacas estén el mayor número de

horas posible en los potreros y en especial durante las horas del día más favorables para que los animales pastoreen (Vélez *et al.* 2002).

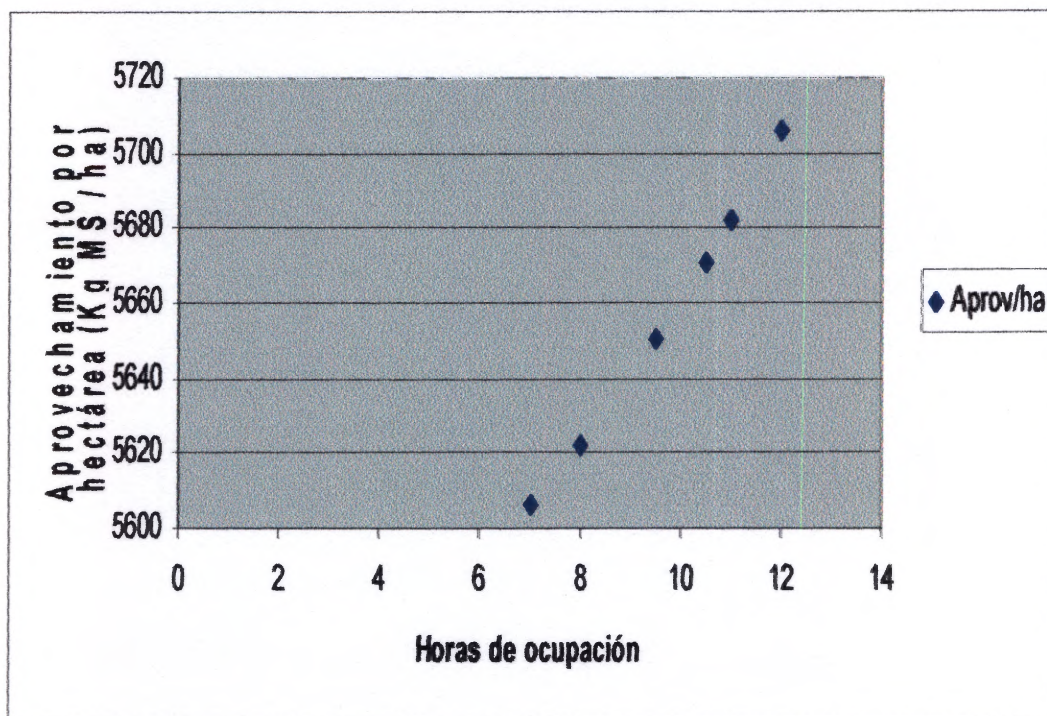


Figura 7. Simulación del efecto de las horas de ocupación de los potreros sobre el aprovechamiento por hectárea del pasto ryegrass perenne

La diferencia entre los potreros de la mañana y de la tarde en cada finca no se sometió a un análisis estadístico detallado, debido a que este efecto no se contempló como parte de los objetivos de esta investigación y porque para medir el efecto mismo, es necesario tener un mayor control sobre aspectos tales como carga animal y raza predominante. Sin embargo, en el Cuadro 21 se incluyen los datos y las diferencias entre los potreros utilizados en horas de la mañana y de la tarde para las cuatro fincas muestreadas. La principal diferencia entre estos potreros es el tiempo de ocupación, el cual se mantuvo entre 7 a 9,5 horas para la mañana y 10,5 a 12 horas en los de la tarde. El efecto más importante generado por la permanencia en los potreros se puede notar en un porcentaje de aprovechamiento mayor en los potreros de la tarde, lo cual se puede deber también a las condiciones

climáticas de la zona; ya que según Hodgson y Brookes (2002), los animales ajustan su consumo de alimento para mantener el balance térmico, por lo cual consumirán más en condiciones frías, y el consumo disminuye a altas temperaturas cuando la habilidad para disipar el calor se reduce, sin embargo en esta investigación es un efecto del tiempo de ocupación ya que de acuerdo con Retana (2006) las temperaturas (máxima y mínima) permanecen constantes a lo largo del año.

Cuadro 21. Aprovechamiento del pasto ryegrass perenne en los potreros pastoreados en horas de la mañana o de la tarde en cuatro fincas de ganado de leche en la zona de San Juan de Chicua

Potrero	Disponibilidad prepastoreo (Kg MS/ha)	Disponibilidad postpastoreo (Kg MS/ha)	Aprovechamiento por hectárea (Kg MS/ha)	% Aprovechamiento
Mañana	3757 (1004) ¹	2117 (802)	1639 (683)	43,7 (15,2)
Tarde	4448 (1369)	2428 (1085)	2019 (874)	45,9 (14,6)
Promedio²	4110	2276	1833	44,82

1. Desviación estándar entre paréntesis

2. Los valores corresponden al promedio de 43 muestras

La raza de los animales de cada finca no se sometió a análisis de varianza por no haberse contemplado dentro de los objetivos planteados en esta investigación, sin embargo se encontró una diferencia numérica en el porcentaje de aprovechamiento entre razas (Cuadro 22). El valor promedio en disponibilidad prepastoreo es similar entre fincas, por lo que es posible que las diferencias en aprovechamiento por hectárea y en porcentaje de aprovechamiento sea debido al mayor consumo de materia seca de las vacas Holstein, dado su potencial físico de consumo mayor, así como sus mayores necesidades nutricionales. La finca 3 fue la que mantuvo una carga animal mayor a lo largo del año (Cuadro 23), sin embargo a su vez suplementó a los animales en producción con diversas fuentes como ensilaje de avena forrajera (*Avena sativa*) y residuos de cosechas.

Cuadro 22. Aprovechamiento del pasto ryegrass perenne entre las vacas de la raza Holstein y las de raza Jersey, en cuatro fincas de ganado de leche en la zona de San Juan de Chicua¹

Raza	Disponibilidad prepastoreo (Kg MS/ha)	Disponibilidad pospastoreo (Kg MS/ha)	Aprovechamiento por hectárea (Kg MS/ha)	% Aprovechamiento
Holstein	4080 (1116) ²	2199 (778)	1881 (862)	45,4 (14,7)
Jersey	4187 (1572)	2477 (1342)	1710 (633)	43,2 (15,4)
Promedio³	4110	2276	1833	44,82

1. Holstein = finca 1, 2 y 4. Jersey = finca 3

2. Desviación estándar entre paréntesis

3. Los valores corresponden al promedio de 43 muestras

4.2 CONSUMO DE MATERIA SECA DEL PASTO RYEGRASS PERENNE

De acuerdo con los valores de disponibilidad por hectárea obtenidos en cada finca se realizó una estimación de consumo de materia seca por ciclo de pastoreo (Cuadro 23). Lo anterior se obtuvo al interpolar el aprovechamiento por hectárea al área aproximada de cada potrero en cada finca, este valor dio la cantidad consumida por los animales que pastorearon dicho apartado y se sumó el consumo estimado para el potrero de la mañana con el de la tarde, para obtener un consumo total por ciclo. Luego se obtuvo valores de consumo por hectárea con base en el área pastoreada por los animales (potrero de la mañana y de la tarde).

En esta investigación se estimó la carga animal en las fincas (en unidades animales por hectárea), para tener un parámetro comparable entre las mismas. De acuerdo con esto la finca 4, que presentó el consumo promedio menor, es la que suplementa en cantidades mayores las vacas en producción y es a su vez la que presentó el mayor promedio de producción de leche por animal por día a lo largo del año. La finca 2 fue la que presentó un consumo mayor, así mismo fue la segunda finca con un área de potrero mayor con 84 m²/animal/día. La finca 3 tiene animales de la raza Jersey pero es la que tiene apartos de mayor tamaño (89 m²/animal/día) entre las cuatro fincas. La finca 1 mostró un

valor de consumo por animal por día bastante cercano a una simulación (Cuadro 24) que se llevó a cabo con el método reversa en el programa de computación del NRC (2001). Cabe destacar que la cantidad de animales se mantuvo constante en esta finca, a lo largo del año.

Con el modelo estadístico planteado para el consumo se encontró un efecto significativo de las fincas ($P = 0,0011$), se planteó con solo un efecto debido a que una estimación de consumo es bastante compleja y requiere de un adecuado control sobre muchos factores como la carga animal y la suplementación y el factor finca recoge muchos de estos. Una estimación del consumo total de los animales probablemente requiera de más muestras que permitan conocer valores que se pueden considerar para incluir en los resultados. De acuerdo con Chillbroste *et al.* (2000) existen dos situaciones de alimentación en las que la teoría de la regulación física del consumo de materia seca falla para explicar los valores medidos, y es cuando se alimentan vacas con ensilaje y las alimentadas con forraje fresco de alta calidad y ellos mismos encontraron que, ni el CMS ni la tasa de consumo se incrementan con la edad de rebrote del pasto ryegrass perenne.

John y Uliat (1987) mencionados por Hopkins *et al.* (2001) consideran que el consumo de materia seca se reduce si el contenido de humedad de los forrajes es excesivamente alto. En la zona de estudio se podría esperar consumos de MS altos, debido a que a lo largo del año la temperatura mínima que se alcanza durante el día es entre 3 y 4,4 °C de acuerdo a la información de la estación climatológica de San Juan de Chicua (Retana 2006).

Cuadro 23. Rango de unidades animales y de consumo por hectárea y consumo por hectárea promedio en potreros de ryegrass perenne durante un período de un año en la zona de San Juan de Chicua

Finca	Rango de unidades animales (UA/ha)	Rango de consumo (Kg MS / ha)	Consumo promedio (Kg MS /ha)
1	3,33 - 3,48	895 - 2458	1671 (533) ¹
2	1,55 - 1,96	1519 - 3399	2261 (702)

3	4,70 - 5,32	1145 - 2004	1535 (313)
4	4,33 - 4,83	1053 - 2203	1302 (576)
Promedio²			1692

1. Desviación estándar entre paréntesis

2. Los valores corresponden al promedio de 24 muestras

Como se mencionó anteriormente, se llevó a cabo una simulación en el programa del NRC (2001) para comparar los valores de consumo obtenidos con la metodología del Botanal® respecto a las estimaciones de dicho programa (Cuadro 24). En el programa computacional se introdujeron los datos de la finca 1 para cuatro diferentes muestreos (dos en época seca y dos en época lluviosa) así como un valor promedio de la calidad nutricional de las ocho muestras de pasto ryegrass perenne recolectadas en los mismos muestreos, también se introdujeron las cantidades de suplementos brindados y el promedio de producción de leche en el hato para cada una de esas épocas. Se puede observar cómo de acuerdo con la estimación del Botanal® un animal se encontraría en balance energético negativo con dicho consumo.

Lo que se debe resaltar de esta estimación es lo regular que es el pasto ryegrass perenne con 8,24 % de diferencia del Botanal® respecto al método de reversa, por lo que si se quisiera llevar a cabo un estudio de consumo en el que se pueda tener más control sobre los factores que influyen a dicha variable, cuya medición es de todos modos compleja, esta especie de pasto es un buen ejemplo para validar metodologías propias para las fincas en Costa Rica y a partir de ahí se podría probar con otras especies de pastos de piso. Probablemente una de las razones de tan pequeña diferencia sea que la metodología del Botanal® fue desarrollada para este tipo de pastos, que cuentan con una alta proporción de hoja en su estructura y que predominan en regiones de clima templado (Donaghy y Fulkerson 2001).

Cuadro 24. Consumo de MS según el método de reversa del NRC (2001) y la estimación del Botanal® en una de las fincas analizadas¹

Consumo	Cantidad (Kg MS)	Diferencia (%)
MS según reversa	11,40	8,24 %
MS según Botanal®	10,46	
VAP Feed	7,9	
Heno de Transvala	0,85	
Sal común	0,066	
Suplemento mineral	0,120	
Balance energético ²	-1,3 Mcal EN _i	
Producción de leche promedio del hato 24 Kg con 3,5 % Grasa		

1. Promedios de cuatro valores analizados (2 época seca y 2 época lluviosa)

2. De acuerdo con la estimación del botanal

4.3 COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LAS PASTURAS DE RYEGRASS PERENNE

En el Cuadro 25 se encuentran los promedios de composición botánica en las pasturas en el año de estudio, con muestreos realizados en períodos bimestrales. El porcentaje de pasto ryegrass perenne en la pastura no presentó cambios significativos ($P \geq 0,05$) a lo largo del año, ni mostró ser afectado por la finca, el mes de muestreo o la interacción entre ambos. A pesar de ello, se puede notar cómo su presencia disminuye en el época seca, por lo que el ryegrass aun siendo más tolerante que otras especies de pastos al brillo solar mayor que se presenta en los meses de enero y febrero, no deja de ser éste un factor estresante para la planta y no tanto las temperaturas bajas puesto que normalmente, y de acuerdo con Retana (2006), desde octubre se alcanzan temperaturas mínimas de hasta 3 °C y se mantienen así hasta marzo. De acuerdo con Kemp *et al.* (2002) en condiciones de clima templado el ryegrass perenne es un pasto activo en invierno y su crecimiento es pobre en veranos calientes y secos donde disminuye su producción estacional de 40 % en primavera a 33 % en el verano,

por lo tanto en condiciones tropicales el efecto que produce dicha etapa de transición sobre el pasto no parece ser tan dramática, pero sí disminuye su presencia en las pasturas.

La presencia de otras gramíneas en la pastura mostró un efecto significativo para la interacción de mes*finca ($P = 0,0280$), lo cual podría reflejar que solo en ciertas épocas del año en algunas de las fincas estudiadas se presentan cambios con la presencia de otras especies. Considerando que la mayor parte de otras gramíneas estaba compuesta de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) se debe hacer notar que dicho pasto, con base en observaciones en campo (Figura 8 y 9), al parecer se ve afectado por el brillo solar mayor así como por la cristalización del rocío sobre las hojas en el período que comprende desde enero hasta el mes de abril, cuando todavía no ha comenzado la época lluviosa y más bien se considera una etapa de transición climática para dicha zona (Retana 2006).



Figura 8. Pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) afectado en la época seca por el brillo solar y la cristalización del rocío en las hojas en la zona de San Juan de Chicua

La presencia del trébol blanco (*Trifolium repens*) se vio influenciado de forma altamente significativa por el factor mes ($P = 0,0006$) y la interacción del mes*finca ($P \leq 0,0001$). Con referencia a los meses se notó su presencia mayor en enero y febrero en los cuales, como se explicó anteriormente,

disminuyó la presencia del ryegrass perenne y de las otras gramíneas que se encontraron en los apartos, por lo que la leguminosa tolera menos competencia. El hecho de que haya un efecto de interacción entre el mes y las fincas refleja que las prácticas de manejo propias de cada una de las fincas influye también sobre la invasión de otras especies, ya sea de gramíneas o leguminosas en los potreros. La presencia mayor de dicha leguminosa en los meses de enero-febrero puede que compense la pérdida de calidad en las pasturas por el porcentaje de material senescente mayor en los cuatro primeros meses del año, así como en la ración de los animales.

El trébol blanco a temperaturas de 8 a 9 °C detiene su crecimiento, por lo que es particularmente útil para proveer de forraje de alta calidad nutritiva en la época seca, lo anterior se manifiesta en los dos primeros meses del año en los que es más evidente la época seca. Sin embargo se debe ser cuidadoso con el porcentaje de trébol que los animales están consumiendo, puesto que la única limitante de dicha especie es que puede generar timpanismo al ganado (Kemp *et al.* 2002, Retana 2006).

Cuadro 25. Composición botánica de las pasturas de ryegrass perenne en la zona de San Juan de Chicua a lo largo de un año

Meses	Porcentaje presente en la pastura (%)				
	Ryegrass	Otras gramíneas	Trébol	Malezas	Material senescente
Ene-Feb	67,72	9,29	16,17 ^a	1,01	5,81 ^a
Mar-Abr	80,30	9,81	3,39 ^b	0,49	6,01 ^a
May-Jun	77,21	16,99	1,69 ^b	1,38	2,73 ^b
Jul-Ago	74,80	18,61	4,49 ^b	1,24	0,86 ^{bc}
Set-Oct	75,87	12,22	8,30 ^b	2,02	1,59 ^{bc}
Nov-Dic	80,63	15,65	2,05 ^b	1,40	0,27 ^c
Promedio¹	76,09	13,76	6,02	1,25	2,88

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Los valores corresponden al promedio de 47 muestras, cada una compuesta de 50 observaciones

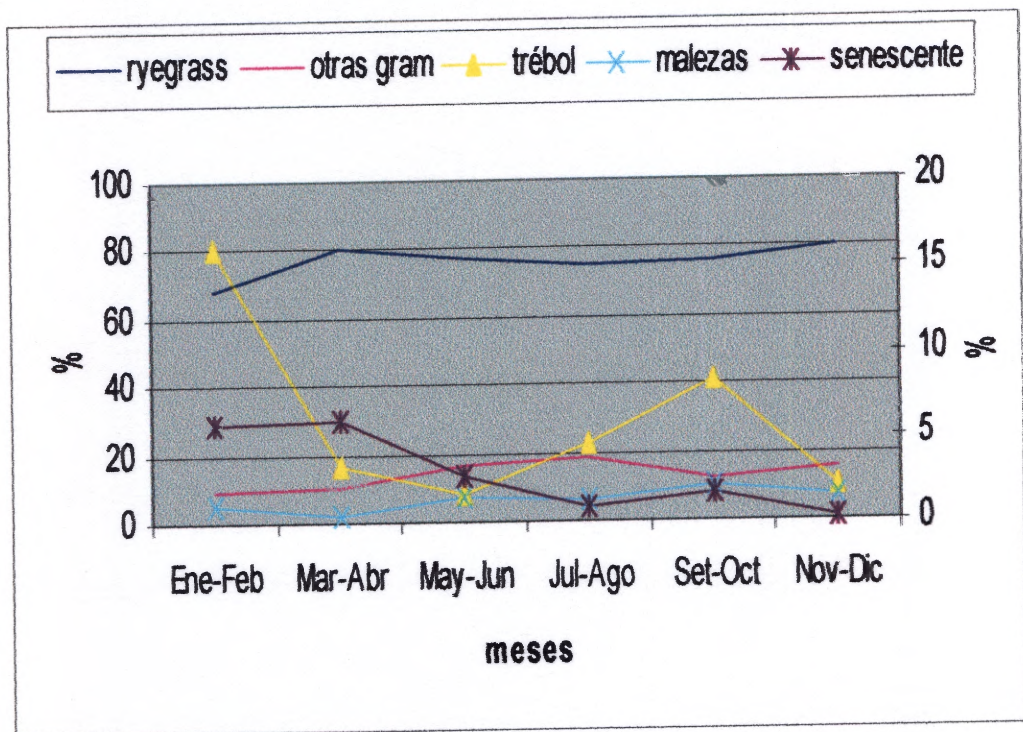


Figura 9. Composición botánica de las pasturas de ryegrass perenne a lo largo del año en la zona de San Juan de Chicua

La presencia de malezas mostró un efecto altamente significativo ($P = 0,0002$) de la finca, a pesar de no mostrar cambios mayores en su presencia en las pasturas a lo largo del año. Lo anterior es bastante razonable si se considera que cada finca debe contar con diferentes programas de control de malezas. Como se mencionó en el capítulo anterior las principales especies presentes en los potreros fueron: *Hydrocotyle sp.*, *Poa annua*, *Taraxacum sp.* y *Rumex sp.* (Figura 9) (Montiel y Gómez 2006).



Figura 10. Ruibarbo (*Rumex sp.*), una de las malezas más comunes en los potreros de ryegrass perenne en la zona de San Juan de Chicua

El porcentaje de material senescente presente en las pasturas de ryegrass perenne está influenciado en forma altamente significativa por el mes ($P \leq 0,0001$) y de forma significativa por la finca ($P = 0,0167$) y la interacción mes*finca ($P = 0,0120$). De acuerdo con la época del año se debe ajustar (aumentando o disminuyendo) los días de recuperación de la pastura para evitar la pérdida de material por senescencia, lo cual según Fulkerson y Donaghy (2001) causa una disminución muy considerable en la calidad nutricional del pasto. El período que comprende desde enero hasta abril es donde se presentó una mayor cantidad de material senescente que, probablemente, proviene en su mayoría del pasto kikuyo, que no soporta el brillo y radiación solar tan altos característicos de esa temporada (Retana 2006).

Sin embargo, debe considerarse que los muestreos en esta investigación fueron completamente aleatorios, por lo que el día en que se llegaba a las fincas se muestrearon los potreros en los que los animales en producción entrarían a pastorear ese mismo día en la tarde y el día siguiente en horas de la mañana; es por esto que la variación entre los potreros fue en ciertas ocasiones muy marcada por

aspectos tales como la topografía, lo cual tiene un marcado efecto en la dominancia del pasto ryegrass, debido a su mejor adaptación en terrenos que presenten una topografía no muy quebrada.

El análisis de la composición botánica de las pasturas de las fincas estudiadas (Cuadro 26 y Figura 11) mostró que la finca 2 tuvo un porcentaje de ryegrass mayor, la 1 y 3 tuvieron valores muy similares y éstas tres no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0,05$) entre sus valores según la prueba de Duncan. La finca 4 tuvo el porcentaje menor ($P \leq 0,05$) de ryegrass de las cuatro, además de ser en la que se obtuvo una mayor presencia de otras gramíneas (kikuyo), trébol y malezas.

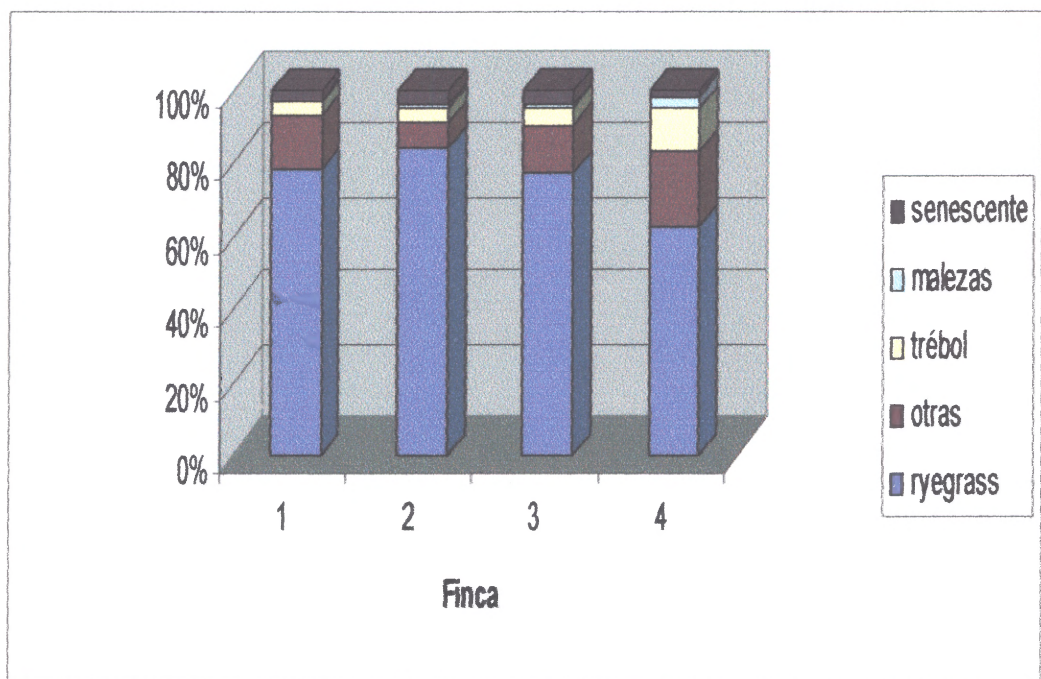


Figura 11. Composición botánica de las pasturas de ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche en la zona de San Juan de Chicua

La finca 4 presentó una cantidad menor ($P \leq 0,05$) de material senescente que las otras seguido por la finca 1. Debe destacarse que ambas fincas presentan los periodos de recuperación más corto con 32 días para la finca 4 y el más largo con 45 días para la finca 1, y es que la presencia de material senescente en las pasturas es un indicador de qué tan buenas son las prácticas de pastoreo en

términos de días de recuperación y carga animal. La finca 4 tuvo la segunda carga animal más alta y su período de recuperación fue el más corto, por lo tanto el ryegrass perenne es una especie que a pesar de ser de clima templado, soporta un pastoreo intensivo en condiciones tropicales con un adecuado manejo.

Goh y Bruce (2005) consideran que los cambios estacionales en la composición de las plantas dentro de los pastizales varían de acuerdo con las especies sembradas, estado de humedad del suelo y temperatura. Lo anterior hace suponer que la diferencia entre las fincas 1 y 4 es debida a factores intrínsecos de cada finca como el microclima que aunque no se profundizará en su análisis, puede crear las diferencias observadas. Puede que el período más corto de recuperación de las pasturas en la finca 4 las vuelva más vulnerables a la invasión de otras especies forrajeras y de malezas que pueden entrar gradualmente en los potreros, por lo que se debe mantener un adecuado control sobre la dominancia del pasto ryegrass perenne por medio del control de malezas.

Cuadro 26. Composición botánica de las pasturas de ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche en la zona de San Juan de Chicua

Finca	Porcentaje presente en la pastura ¹ (%)				
	Ryegrass	Otras gramíneas	Trébol	Malezas	Senescente
1	78,27	14,75 ^{ab}	4,31 ^b	0,32 ^b	2,35 ^{ab}
2	84,40	6,73 ^b	4,26 ^b	0,85 ^b	3,76 ^a
3	77,55	13,33 ^{ab}	4,56 ^b	0,59 ^b	3,97 ^a
4	63,07	20,95 ^a	11,40 ^a	3,28 ^a	1,30 ^b

1. Los valores corresponden al promedio de 12 muestras por finca (potreros), cada una compuesta de 50 observaciones

^{a b c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

4.4 EDAD FENOLÓGICA DEL PASTO RYEGRASS PERENNE

El conteo del número de hojas del pasto ryegrass perenne se vio influenciado, de forma altamente significativa por efecto del mes ($P \leq 0,0001$) (Cuadro 27). En esta zona existen dos épocas bien definidas que comprenden desde mayo a octubre y desde noviembre a abril (Figuras 3 y 4). Según Retana (2006), diciembre marca el inicio de la temporada de los vientos del norte y los frentes fríos que hacen barrer la nubosidad, lo que hace que aumente el brillo y su efecto se manifiesta en el número de hojas encontrado en las plantas durante los meses de enero y febrero. En marzo y abril disminuyó la edad fenológica promedio y de mayo a octubre se presentaron los valores más bajos ($P \leq 0,05$). Las diferencias encontradas en ciertas épocas del año permite a los productores reconsiderar y mejorar las prácticas de manejo de los forrajes, esto con el objetivo de aprovechar mejor dicho recurso por medio de sistemas de conservación de forrajes como el henilaje, para lo cual se puede diferir la rotación de potreros que cuenten con características adecuadas para llevar a cabo dichos procesos o bien acortar los períodos de recuperación de las pasturas.

Cuadro 27. Edad fenológica del pasto ryegrass perenne a lo largo de un año en la zona de San Juan de Chicua, Oreamuno

Meses	Edad fenológica (número de hojas)
Enero-Febrero	3,0412 ^a (0,18) ¹
Marzo-Abril	2,9400 ^b (0,09)
Mayo-Junio	2,7225 ^c (0,14)
Julio-Agosto	2,6887 ^c (0,20)
Setiembre-October	2,7529 ^c (0,10)
Noviembre-Diciembre	2,8650 ^b (0,07)
Promedio²	2,84

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Desviación estándar entre paréntesis

2. El valor corresponde al promedio de 47 muestras (potreros), cada una compuesta de 50 observaciones

Dentro de las fincas se pudo encontrar que éstas tuvieron un efecto significativo ($P = 0,0237$) sobre la edad fenológica y que fue altamente significativo la interacción del mes*finca ($P \leq 0,0001$). En el Cuadro 28 se encuentra el número de hojas promedio a los que cada una de las fincas pastoreó sus potreros de la mañana y la tarde. Las fincas 1, 2 y 3 muestran valores similares, mientras que la finca 4 tuvo el número de hojas menor. Esta última finca a su vez tiene también el periodo de recuperación más corto por lo que en dicha finca los animales consumen un material más tierno que el de las otras tres.

De acuerdo con Retana (2006), las fincas 1 y 2, por su cercanía, reciben una mayor influencia del Caribe y las fincas 3 y 4 del Pacífico lo cual puede generar diferencias de crecimiento vegetativo y compensar los periodos diferentes de descanso. Todas las fincas se encontraron dentro del rango recomendado por Fulkerson *et al.* (2002), el cual debe estar en un intervalo mínimo de 2 hojas, donde las reservas de CHOS se encuentran adecuadamente recuperadas para ser pastoreado y no se limita el rebrote y el valor máximo de 3 hojas, después del cual una nueva hoja comienza a emerger (Figura 1) y la calidad de la pastura declina y se desperdicia.

Cuadro 28. Edad fenológica promedio del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche en la zona de San Juan de Chicua

Finca	Edad fenológica ² (número de hojas)	Días de recuperación
1	2,8692 ^a (0,22) ¹	45
2	2,8858 ^a (0,12)	35
3	2,8108 ^{ab} (0,14)	35
4	2,7764 ^b (0,24)	32
Promedio²	2,84	36,75

a, b, c medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Desviación estándar entre paréntesis

2. El valor corresponde al promedio de 47 muestras (potreros), cada una compuesta de 50 observaciones

En la Figura 12 se encuentra la frecuencia en el número de observaciones para el conteo del número de hojas en que se pastorea el pasto ryegrass perenne en las cuatro fincas a lo largo del año en seis diferentes muestreos. Se puede observar cómo la frecuencia mayor se encontró en tres hojas verdes por rebrote, lo cual pone en evidencia que las fincas están pastoreando el ryegrass perenne a una edad fenológica adecuada para la persistencia, productividad, utilización y calidad del forraje, basado en el criterio de permitir a las plantas el tiempo adecuado para recuperarse del pastoreo previo y acumular sus niveles de CHOS (Donaghy y Fulkerson 2001).

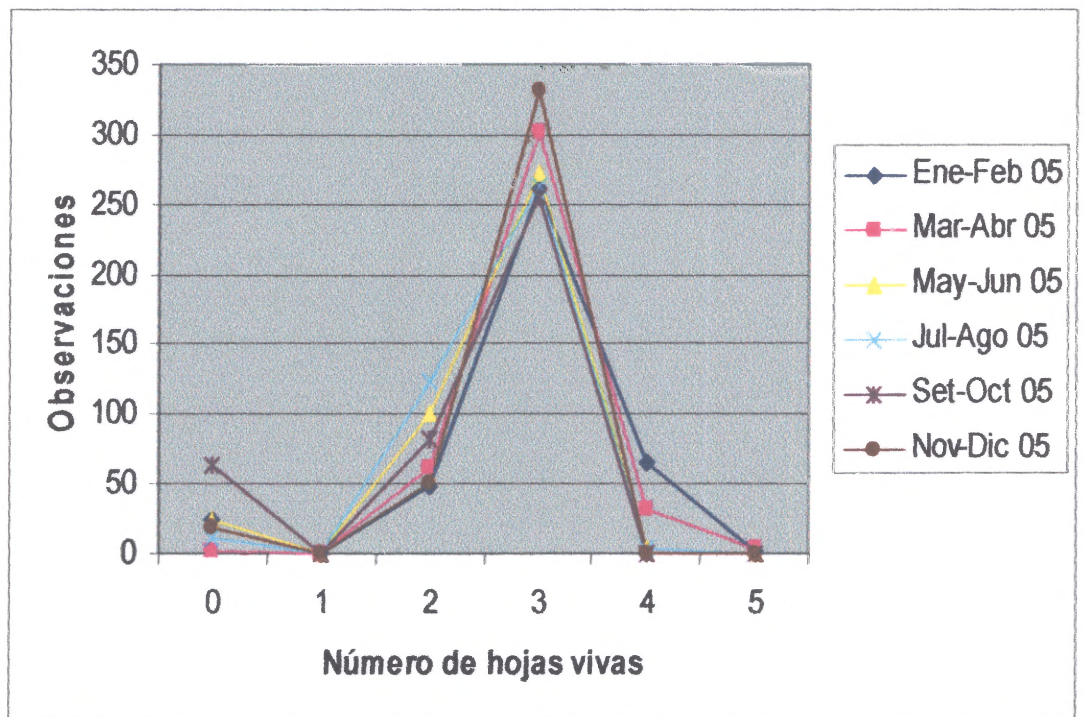


Figura 12. Distribución de la frecuencia de observaciones del número de hojas verdes por rebrote en el pasto ryegrass perenne en seis diferentes muestreos

4.5 COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE (RELACIÓN HOJA-TALLO)

La composición estructural del pasto ryegrass perenne refleja el porcentaje de hoja que éste tiene sobre todos los componentes de la planta (hoja, tallo y material senescente). En el pasto ryegrass

perenne se encontró (Cuadro 29) un valor promedio a lo largo del año de 56,08 % de hoja y además, con el modelo estadístico propuesto, dicho valor es afectado por el efecto del mes del año ($P = 0,0300$). El porcentaje de hoja del pasto ryegrass perenne es muy superior al del pasto Kikuyo con 32 %, así mismo el porcentaje de tallos y material senescente del ryegrass perenne fue 43,92 %, el cual a su vez es menor que el de Kikuyo con 68 % (Andrade 2006).

En la Figura 12 se puede observar cómo en los meses de enero y febrero el porcentaje de hoja en las pasturas disminuyó, a su vez en estos meses es cuando hubo disponibilidad de pasto menor, lo que puede ser un indicador de que las plantas, debido al estrés causado por la radiación solar alta, la precipitación menor, las temperaturas mínimas más bajas y la cristalización del rocío en los potreros, no pueden desarrollarse y rebrotar de una manera adecuada, ya que las hojas son una parte muy succulenta. Sin embargo con la llegada de las lluvias se favoreció un aumento en la proporción de hoja, lo cual se puede asociar con una extracción mayor de los nutrientes en el suelo (Retana 2006, Cabalceta 2006).

Cuadro 29. Composición estructural de la planta de ryegrass perenne a lo largo de un año, en potreros de la zona de San Juan de Chicua

Meses	Relación hoja-tallo (% hoja)
Enero-Febrero	52,55 : 47,45 ^b (4,60) ¹
Marzo-Abril	57,78 : 42,22 ^{ab} (5,69)
Mayo-Junio	60,79 : 39,21 ^a (7,65)
Julio-Agosto	55,62 : 44,38 ^{ab} (5,06)
Setiembre-October	52,03 : 47,97 ^b (4,61)
Noviembre-Diciembre	57,73 : 42,27 ^{ab} (2,38)
Promedio²	56,08 : 43,92

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Desviación estándar entre paréntesis

2. El valor corresponde al promedio de 48 muestras (8 / muestreo)

De julio a octubre hubo una disminución significativa ($P \leq 0,05$) en la relación hoja tallo en las pasturas, esto coincide con el comportamiento mostrado en la producción de biomasa (Figura 6) que se asocia con las horas de brillo solar diarias que disminuyen a causa de la presencia de nubosidad mayor normal de la época lluviosa. En los meses de setiembre-octubre puede que el pasto sufra estrés por saturación hídrica en los suelos, ya que en los mismos se presenta el segundo pico de precipitación (Figura 3). Para el mes de noviembre vuelve a aumentar la radiación solar en esta zona y esto generó a su vez un porcentaje de hoja mayor. La relación entre la hoja, el tallo y el material senescente de la planta es un buen indicador de lo asertiva que ha sido la escogencia del período de rotación, considerando que la mayor concentración de nutrientes se encuentran en las hojas y que éste es el componente que el ganado consume principalmente por ser un material succulento y palatable (Retana 2006, Vélez *et al.* 2002).

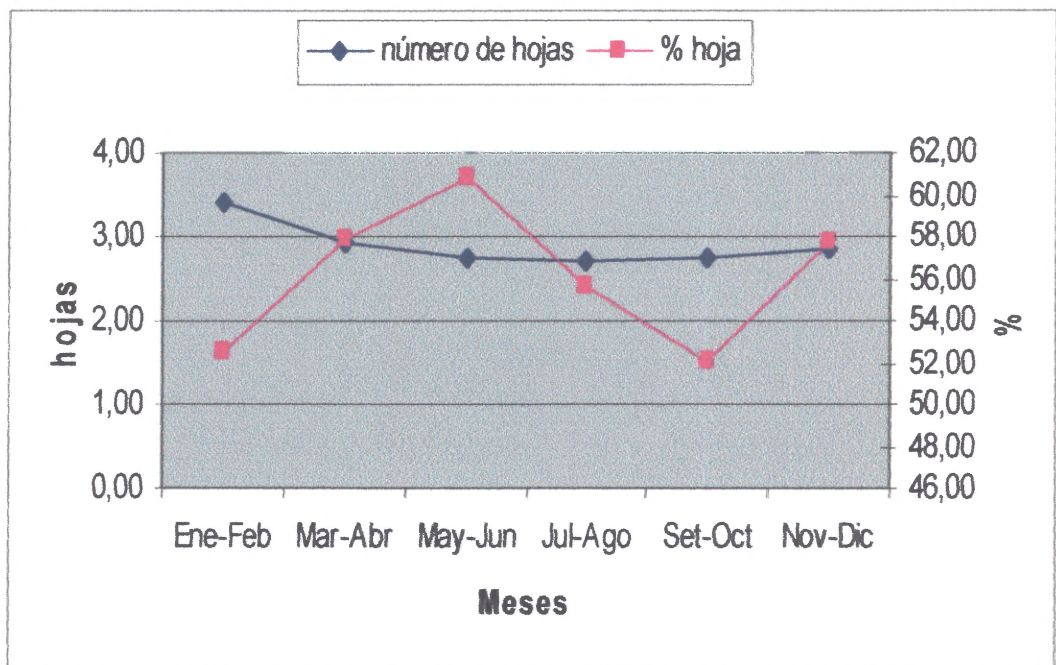


Figura 13. Composición estructural y edad fenológica de la planta de ryegrass perenne a lo largo de un año, en la zona de San Juan de Chicua

La composición estructural de la planta de ryegrass perenne no mostró ningún efecto significativo ($P \geq 0,05$) por las fincas en donde se encuentra cultivado (Cuadro 30). La causa de que no se haya encontrado diferencias entre las fincas puede deberse a que según Vélez *et al.* (2002) el ancho y la longitud de las hojas son enormemente variables entre especies y aún dentro de la misma especie, pero en términos generales dicha característica facilita su reconocimiento visual por las adaptaciones morfológicas de la misma, además la producción de biomasa (Cuadro 19) entre las fincas tampoco mostró diferencias significativas entre ellas.

A pesar de que las prácticas de manejo de los pastizales en cada finca divergen, los resultados obtenidos en este estudio sugiere fuertemente que ellas han adaptado el pasto a sus condiciones ambientales. De acuerdo con las observaciones en campo, se pudo constatar que cuando el pasto ryegrass perenne se encuentra para ser pastoreado la altura de las plantas no es uniforme, probablemente por la competencia inter e intraespecífica normal en una pastura, pero lo que es más relevante es que a pesar de dichas variaciones, la edad fenológica permitió determinar el momento de cosecha adecuado, con base en los rangos recomendados (Fulkerson 1992).

Cuadro 30. Composición estructural de la planta de ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche en la zona de San Juan de Chicua

Finca	Relación hoja-tallo (% hoja)
1	56,38 : 43,62 (4,98) ¹
2	55,71 : 44,29 (8,20)
3	57,01 : 42,99 (4,11)
4	55,22 : 44,78 (0,24)
Promedio²	56,08

1. Desviación estándar entre paréntesis

2. El valor corresponde al promedio de 48 muestras (12 / finca)

4.6 CALIDAD NUTRICIONAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE

4.6.1 Contenido de materia seca

El contenido de materia seca del pasto ryegrass perenne se vio influenciado en forma altamente significativa por el efecto del mes ($P \leq 0,0001$), lo cual es lógico considerando las variaciones climatológicas de la zona (Figuras 3 y 4). Es por esto que se puede observar en el Cuadro 31 y en la Figura 14 cómo en los primeros cuatro meses del año, que corresponden a la época seca en esta zona se encontró los valores mayores de materia seca, luego de que se inicia la época lluviosa en el mes de mayo, dicho contenido va disminuyendo hasta los meses de noviembre y diciembre, donde se encontraron los valores menores; lo cual a su vez se puede deber a que en octubre es cuando se da la precipitación mayor de todo el año y se manifiesta en los siguientes meses por la saturación del suelo (Retana 2006).

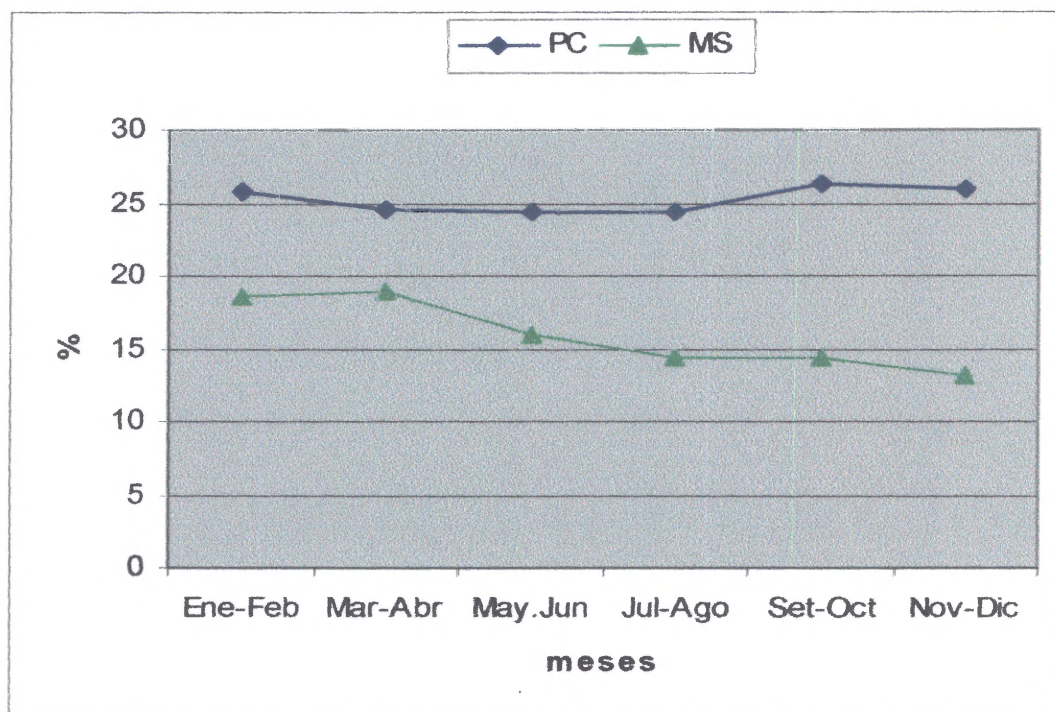


Figura 14. Contenido de materia seca y proteína cruda en el pasto ryegrass perenne a lo largo de un año

El efecto de la finca ($P = 0,0386$) y el de la interacción mes*finca ($P = 0,0188$) también fueron significativos para el contenido de materia seca del pasto ryegrass perenne, sin embargo se debe indicar que el efecto de las fincas es muy pequeño sobre dicha variable (Cuadro 32), y es mayor la información que recoge el efecto de la interacción mes*finca. El pasto ryegrass perenne aumentó significativamente ($P \leq 0,05$) su contenido de humedad en los meses de julio a diciembre, por lo cual en los mismos sería adecuado suplementar a los animales con algún tipo de fuente que brinde fibra efectiva para evitar que sufran condiciones metabólicas como la acidosis que puede llevar a una reducción en el consumo de alimento y su digestibilidad (Hussein *et al.* 1995; citados por Vélez *et al.* 2002). En los meses de enero a abril se presentan condiciones climáticas aptas (Figuras 3 y 4) para la elaboración de silopacas que puede ser utilizado en la época lluviosa con lo que se puede ayudar a que los animales llenen sus requerimientos de fibra.

4.6.2 Contenido de proteína cruda

El contenido proteico del pasto ryegrass perenne tuvo un valor promedio con base en la materia seca de 25,21 %, el cual es muy superior a muchos alimentos balanceados que se encuentran en el mercado, así mismo dicho valor es superior al contenido de PC del pasto kikuyo que contiene 22,38 % en promedio y que es uno de los mejores pastos tropicales (Andrade 2006). El mes no tuvo efecto significativo ($P \geq 0,05$) sobre el contenido de PC (Cuadro 31 y Figura 14). Según Barbeheren *et al.* (2004) los pastos C₃ mantienen su valor nutritivo durante más tiempo que los C₄, aún bajo condiciones extremas de altas concentraciones de CO₂ tienen niveles más altos de PC, CNE y agua y una relación entre los carbohidratos totales y la PC más baja que en los C₄. El contenido alto de PC en el pasto ryegrass perenne debe considerarse en cada una de las fincas con el fin de complementar dicho forraje con una adecuada fuente de carbohidratos fácilmente degradables en el rumen, esto con el objetivo de brindar una ración adecuada a los animales en producción y evitar un consumo excesivamente alto de PC en las dietas (Weiss 2005).

Cuadro 31. Contenido de materia seca y proteína cruda del pasto ryegrass perenne en la zona de San Juan de Chicua

Meses	Materia seca (%)	Proteína cruda (%)
Ene-Feb	18,54 ^a	25,73
Mar-Abr	19,02 ^a	24,54
May-Jun	16,04 ^b	24,42
Jul-Ago	14,46 ^c	24,32
Set-Oct	14,32 ^c	26,30
Nov-Dic	13,13 ^c	25,96
Promedio¹	15,92	25,21

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Valores corresponden al promedio de 48 muestras

El contenido de PC se vio influenciado de forma altamente significativa por el efecto de la finca ($P=0,0003$) y por la interacción mes*finca ($P = 0,0229$) (Cuadro 32). Las fincas 3 y 4 tuvieron los valores más altos de PC; esto puede deberse a un efecto de microclima ya que dichas fincas se localizan en zonas diferentes. Además la finca 4, que presentó el contenido mayor de PC, es la que tuvo el período de recuperación de las pasturas (32 días) y de edad fenológica menores, sin embargo el número de hojas encontrado es superior a 2 hojas, estado fenológico después del cual la relación entre la proteína soluble y los carbohidratos hidrosolubles se vuelve más balanceado (Donaghy y Fulkerson 2001). Según Chillibroste *et al.* (2000) desde el día 1 al 16 de rebrote el contenido de nitrógeno del pasto ryegrass perenne disminuye moderadamente, luego hay una disminución más rápida que puede deberse a un aumento en la proporción de tallo o una disminución en el contenido de N en las fracciones de hoja y tallo o ambos. Lo anterior puede explicar el contenido menor de PC mostrado por los pastos de las fincas 1 y 2, que tuvieron los períodos de recuperación más largos.

Cuadro 32. Contenido de materia seca y proteína cruda del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche en Chicua, Oreamuno

Finca	Materia seca (%)	Proteína cruda (%)
1	15,41 ^{ab}	24,67 ^b
2	16,52 ^a	22,88 ^c
3	15,20 ^b	26,52 ^a
4	16,52 ^a	26,78 ^a
Promedio¹	15,92	25,21

a, b, c medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Valores corresponden al promedio de 48 muestras

4.6.3 Componentes de la pared celular

La FDN es la estimación más precisa que se puede obtener del contenido de fibra o pared celular en el alimento y es una medida de la celulosa, hemicelulosa, lignina, cutina y sílica (Wattiaux 1996, Grant, 1991; citados por Cruz y Sánchez 2000).

4.6.3.1 Fibra detergente neutro

El contenido de pared celular (FDN) del pasto ryegrass perenne mostró un valor promedio de 49,76 % y fue influenciado solo por el mes de forma altamente significativa ($P \leq 0,0001$). En el Cuadro 33 y la Figura 15 se puede observar cómo en la época seca (enero a abril) hubo un contenido mayor de FDN, así mismo se dio una transición con el inicio de las lluvias hasta mantenerse en valores más bajos durante los meses siguientes. Según Chillibroste *et al.* (2000) la FDN no presenta variación en las primeras dos semanas de rebrote pero luego ocurre un aumento significativo de la misma. Lo anterior se evidencia en la finca 4, la cual tiene un período de recuperación menor (Cuadro 34).

Firkins (2005) considera que una buena opción para los productores de ganado de leche es producir o comprar forrajes de alta calidad, con contenidos moderados de FDN y que estos sean cosechados en un estado inmaduro para maximizar la producción de forraje digestible, ya que los niveles altos o bajos de FDN en la dieta pueden afectar negativamente la producción de leche. Van Soest y Giner-Chavez (1994) encontraron que el porcentaje de pared celular en algunos pastos tropicales es entre 70-77 % mientras en los de clima templado es entre 40 y hasta 68 % en pastos muy maduros. El ryegrass perenne analizado tuvo un promedio dentro del rango normal para especies de clima templado. En todas las especies de pastos la calidad de la fibra disminuye con la edad, pero el efecto es más dramático en el caso de los tropicales porque declina más severamente que en los templados.

Según Andrade (2006) el pasto kikuyo contiene en promedio 58 % de FDN, por lo cual el ryegrass perenne presenta un contenido de casi nueve unidades porcentuales menos que dicha especie, el cual es a su vez el segundo pasto más importante en Costa Rica en términos de área cultivada con 85016 ha contra 194 ha cultivadas con ryegrass perenne (Dos Pinos 2002). En algunos pastos tropicales Van Soest y Giner-Chavez (1994) reportan porcentajes de pared celular de 70 % para el pasto Pangola y Guinea, 77 % para la Estrella africana y 72 % para el pasto elefante, dichos contenidos son muy superiores a lo mostrado por el ryegrass perenne. Sin embargo los pastos tropicales no se producen en zonas de altura por lo que sus contenidos de FDN son el resultado de adaptaciones tales como un tejido vascular más denso y rígido pero de menor digestibilidad, que los mismos han desarrollado para poder fotosintetizar con niveles de radiación solar más altos así como el manejo del forraje tendrá un efecto sobre su contenido de pared celular (Vélez *et al.* 2002).

Cuadro 33. Contenido de los componentes de la pared celular del pasto ryegrass perenne en la zona de San Juan de Chicua

Meses	FDN (%)	FDA (%)	Hemicel (%)	Cel (%)	Lignina (%)
Ene-Feb	58,56 ^a	27,33 ^a	31,24 ^a	22,60 ^a	2,41 ^b
Mar-Abr	54,97 ^a	26,27 ^{ab}	28,69 ^a	21,01 ^{ab}	3,74 ^a
May-Jun	48,93 ^b	26,29 ^{ab}	22,64 ^b	20,75 ^{bc}	3,17 ^{ab}
Jul-Ago	44,83 ^b	24,59 ^{bc}	20,24 ^b	19,17 ^{bc}	3,97 ^a
Set-Oct	47,51 ^b	25,55 ^{abc}	21,95 ^b	19,92 ^{bc}	3,40 ^a
Nov-Dic	43,77 ^b	23,39 ^c	20,39 ^b	19,05 ^c	3,06 ^{ab}
Promedio²	49,76	25,57	24,19	20,42	3,29

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Valores corresponden al promedio de 48 muestras

Campabadal (2000) citado por Cruz y Sánchez (2000) menciona que en el trópico, los animales normalmente no consumen cantidades de forraje superiores al 2 % de su peso vivo en materia seca, debido a la baja digestibilidad y contenido alto de FDN. El mismo autor considera que para lograr consumos superiores al 2 % los forrajes deben contener entre 54 y 60 % de FDN, sin embargo los forrajes utilizados en el trópico poseen valores superiores. Así mismo, menciona que los forrajes de clima templado pueden sustentar consumos altos de MS de buena calidad y producciones de hasta 20 Kg de leche por día. El pasto ryegrass perenne tiene muchos de los atributos mencionados por lo que se podrían obtener consumos de MS altos y producciones de leche elevadas; considerando que en la zona donde se llevó a cabo esta investigación los niveles de suplementación de las vacas lactantes son inferiores a los que se ofrecen en otras zonas del país.

La finca no afectó significativamente ($P \geq 0,05$) el contenido de FDN. Las fincas 2 y 3 presentaron valores de FDN muy similares y la finca 1 presentó un valor promedio intermedio entre

éstas. La finca 4, cuyo período de recuperación fue más corto que las demás; tuvo el contenido de pared celular menor. De acuerdo con Weiss (2005) las pasturas que son predominantemente de pastos de clima templado deberían contener menos de 50 % de FDN y las de leguminosas menos de 40 %, lo cual concuerda con lo encontrado en esta investigación con excepción de la época seca (enero a abril), donde la planta produce una mayor cantidad de pared celular para sobrevivir a las temperaturas altas (Vélez *et al.* 2002). De acuerdo con Cruz y Sánchez (2000) la fibra es indispensable para mantener la funcionalidad ruminal, estimular el masticado y la rumia y mantener un pH ruminal adecuado que permita la buena salud y digestión, es por eso que la mayor parte de la FDN debe provenir de los forrajes, los cuales deben poseer un tamaño de partícula adecuado para mantener la función ruminal. El pasto ryegrass perenne tiene contenidos de pared celular menores que los de los pastos tropicales, sin embargo no son tan bajos como para comprometer el funcionamiento ruminal adecuado en vacas lactantes (Weiss 2005).

4.6.3.2 Fibra detergente ácida

El contenido de FDA mostró ser afectado por el mes ($P = 0,0132$). Como se puede observar en el Cuadro 34, la finca afectó ($P = 0,0013$) el contenido de FDA, la finca 4 presentó el valor menor y es en esta finca donde el período de recuperación de las pasturas fue menor que las demás. La interacción entre mes*finca mostró tener efecto significativo ($P = 0,0253$) sobre el contenido de FDA.

De acuerdo con Grant (1991) citado por Cruz y Sánchez (2000) la FDA es una medida de la celulosa, lignina, cutina y sílica y dicha fracción se correlaciona negativamente con la digestibilidad de los alimentos y con su aporte de energía. Weiss (2005) considera que en las especies tipo C_3 las concentraciones de FDA deberían ser de 15 a 20 unidades porcentuales menores que su contenido de FDN. De acuerdo con dicha afirmación el pasto ryegrass perenne tiene, en ciertas épocas, valores muy

por debajo de lo que dicho investigador menciona (~ 30 % de FDA valor máximo), por lo que debería favorecer un contenido de energía mayor en el pasto al hacerlo más digestible (Cruz y Sánchez 200).

Cuadro 34. Componentes de la pared celular del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche de Chicua, Oreamuno

Finca	FDN (%)	FDA (%)	Hemicel (%)	Cel (%)	Lignina (%)
1	49,12	25,33 ^a	23,79	20,69 ^a	3,10 ^{bc}
2	51,72	26,92 ^a	24,80	21,29 ^a	3,72 ^{ab}
3	51,17	26,62 ^a	24,55	20,51 ^{ab}	3,94 ^a
4	47,03	23,40 ^b	23,63	19,18 ^b	2,41 ^c
Promedio¹	49,76	25,57	24,19	20,42	3,29

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Valores corresponden al promedio de 48 muestras

En la Figura 15 se puede observar cómo el contenido de FDN fue mayor en la época seca (enero a abril), luego disminuyó en la época lluviosa y permaneció relativamente constante. Por otro lado el contenido de FDA es más estable entre las diferentes épocas ya que, como se indicó anteriormente, está influenciado principalmente por las prácticas de manejo de cada finca, específicamente por el período de recuperación de las pasturas.

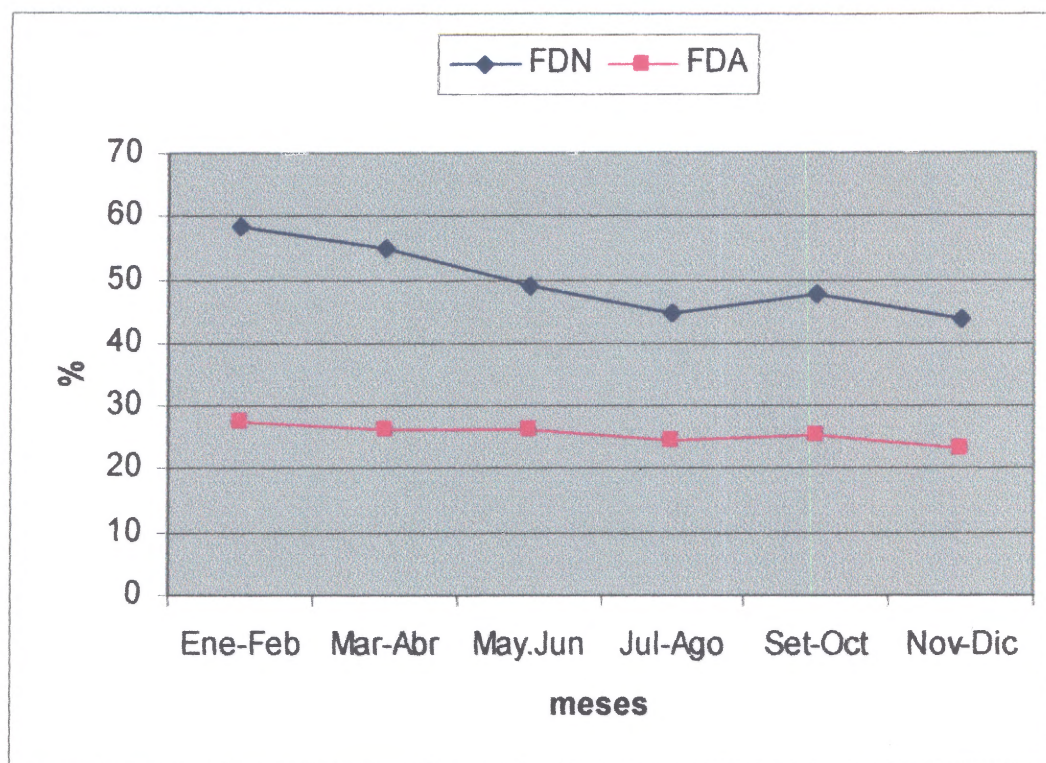


Figura 15. Contenido de la fibra detergente neutro y detergente ácida en el pasto ryegrass perenne a lo largo del año

4.6.3.3 Hemicelulosa y celulosa

El contenido promedio de hemicelulosa para el pasto ryegrass perenne a lo largo del año fue de 24,19 % y mostró ser afectado de manera altamente significativa por el mes ($P \leq 0,0001$), donde se observa una tendencia similar a la que se dio en el contenido de FDN (Cuadro 33). La finca no afectó significativamente ($P \geq 0,05$) el contenido de esta variable, lo cual se puede comprobar en el Cuadro 34, donde la media entre las fincas no mostró diferencia significativa ($P \geq 0,05$) según la prueba de Duncan.

El contenido de celulosa promedio para el pasto ryegrass perenne fue de 20,42 % y se encontró un efecto significativo del mes ($P = 0,0024$) con una disminución en su contenido conforme iba entrando la época lluviosa; similar también a lo que se observó con la FDN y la hemicelulosa (Cuadro 33). Además, se observó un efecto significativo de las fincas ($P = 0,0329$) y de la interacción mes*finca ($P = 0,0039$) donde, al igual que se ha comentado con las otras fracciones de la pared celular, fue en la finca

4 donde se obtuvieron valores menores de dicho componente a causa de su período de recuperación más corto, como se observa en el Cuadro 34. El contenido de hemicelulosa siempre fue superior al de la celulosa, es por esto que el pasto se mantiene muy digestible, ya que la hemicelulosa es más accesible que la celulosa para los microorganismos del rumen (Pinos *et al.* 2002).

4.6.3.4 Lignina

El contenido de lignina promedio del pasto ryegrass perenne fue de 3,29 % y se encontró que es influenciado por el mes ($P = 0,0163$). A pesar de no seguir una tendencia como la hallada para la FDN, la celulosa y la hemicelulosa; su contenido fue menor en enero-febrero cuando el contenido de FDN fue mayor. Según Andrade (2006) el pasto Kikuyo contiene 2,67 % de lignina, dicho valor es menor del encontrado en el ryegrass perenne, sin embargo el kikuyo a su vez tiene un contenido de FDN mayor, por lo cual el pasto ryegrass perenne es muy digestible a causa de su contenido menor de FDN y lignina. El clima frío es, de acuerdo con Van Soest y Giner-Chavez (1994), el factor ambiental primario que promueve un nivel bajo de lignina y alto de CHOS; lo cual es responsable del valor nutritivo más alto de los forrajes de clima templado. De acuerdo con lo anterior se puede justificar el contenido de lignina menor en época seca a causa de que es cuando se presenta, según Retana (2006), las temperaturas mínimas más bajas durante el año, llegando a mediciones de hasta 3 °C, en esta zona.

El contenido de lignina mostró ser afectado de forma altamente significativa por las fincas ($P = 0,0006$) y por la interacción mes*fincas ($P \leq 0,0001$), donde la finca 4 tuvo el contenido de lignina menor, siguiendo el mismo patrón encontrado con otros componentes de la pared celular.

Dentro de los mecanismos por medio de los cuales la lignina inhibe la degradación de la fibra está su presencia física, el efecto tóxico de los compuestos polifenólicos sobre los microorganismos ruminales, además de la acción hidrofóbica de la lignina que limita el contacto del agua con los sustratos, lo cual impide el acceso de las celulasas y hemicelulasas a la pared celular (Donker y Naik

1979, Van Soest *et al.* 1991; citados por Cruz y Sánchez 2000). En la Figura 16 se observan las variaciones en el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina en el pasto ryegrass perenne. La hemicelulosa es el componente de la pared celular que disminuye más rápidamente en la época lluviosa a causa de estar en relación con el contenido de FDN que disminuye de igual forma (Figura 15). Mientras la celulosa permanece relativamente constante en el año como ocurre con la FAD.

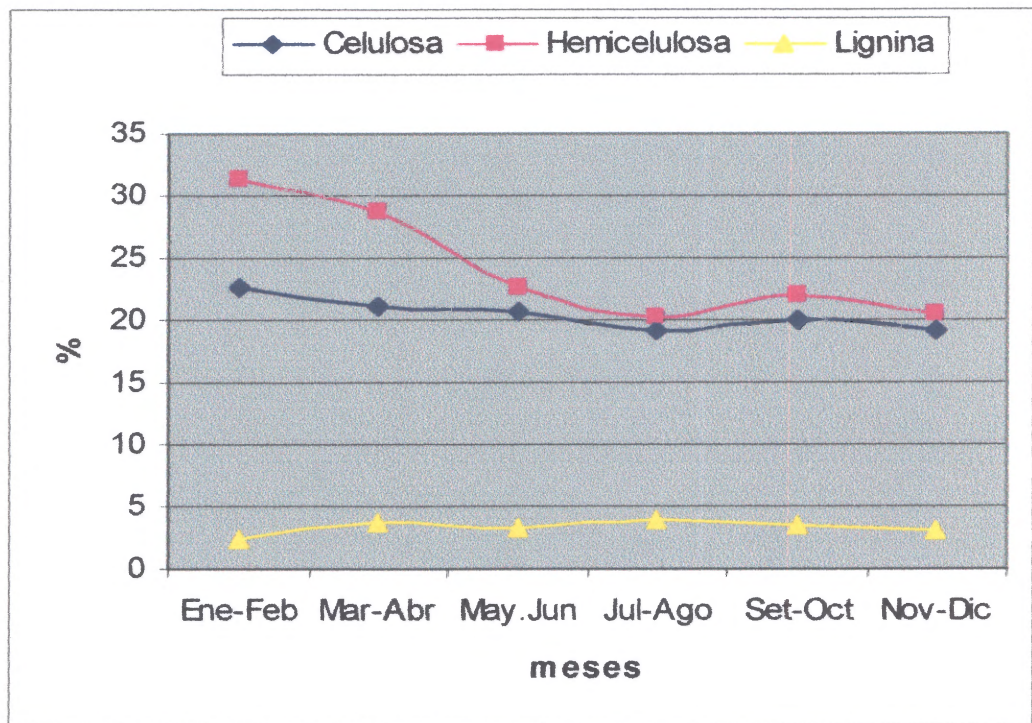


Figura 16. Contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina del pasto ryegrass perenne en el año

4.6.4 Extracto etéreo

El pasto ryegrass perenne mostró un contenido promedio de extracto etéreo de 2,61 %, el cual fue afectado en forma altamente significativa por el mes ($P \leq 0,0001$). En la época seca (enero-abril) el contenido fue menor, el mismo se incrementó con el inicio de las lluvias y mostró un valor máximo en setiembre-octubre, cuando se presentó el segundo y mayor pico de precipitación. En la época seca hay

una mayor cantidad de horas luz y producción de MS, lo que puede hacer que haya dilución de algunos componentes de las hojas.

4.6.5 Cenizas

El contenido mineral total del pasto ryegrass perenne (expresado en términos de su contenido de cenizas) fue de 9,96 % de la MS y mostró ser influenciado de forma significativa por el mes ($P = 0,0239$), la finca ($P = 0,0011$) y por la interacción mes*finca ($P = 0,0149$). En el Cuadro 35 se encuentra la variación en el contenido de cenizas del pasto ryegrass perenne, el cual siguió una tendencia similar a la de la precipitación en esta zona (Figura 3). Lo anterior porque en la época seca hay una menor movilización de nutrimentos minerales en el suelo que hizo que el contenido de cenizas en la planta fuera menor (Bertsch 1998). Con el inicio de las lluvias (mayo-junio) aumentó dicho valor y con la disminución en precipitación característica de los meses de julio y agosto también disminuyó la absorción mineral del pasto. En setiembre-octubre se presenta un segundo pico de precipitación que produjo los valores mayores de cenizas en el pasto ryegrass perenne en el año (Figura 3).

Cuadro 35. Contenido de extracto etéreo y cenizas del pasto ryegrass perenne a lo largo de un año en la zona de San Juan de Chicua

Meses	EE (%)	Cenizas (%)
Enero-Febrero	1,74 ^c	9,90 ^{ab}
Marzo-Abril	2,50 ^b	9,32 ^b
Mayo-Junio	2,72 ^{ab}	10,17 ^a
Julio-Agosto	2,60 ^b	9,85 ^{ab}
Setiembre-Octubre	3,15 ^a	10,23 ^a
Noviembre-Diciembre	2,95 ^{ab}	10,27 ^a
Promedio¹	2,61	9,96

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Valores corresponden al promedio de 48 muestras

4.6.6 Contenido mineral

Debido a la poca información con que se cuenta en nuestro país sobre el contenido mineral del pasto ryegrass perenne, la discusión de cada mineral se enfocó desde el punto de vista de la capacidad de suplir los requerimientos del NRC (2001) de las vacas lactantes, y en comparación con los resultados obtenidos por Vargas y Fonseca (1989) para la zona donde se llevó a cabo esta investigación. De acuerdo con Sánchez (2000a) los forrajes utilizados frecuentemente para la alimentación del ganado lechero en la zona montañosa central y en el trópico húmedo de Costa Rica, presentan concentraciones altas de potasio y nitrógeno y niveles bajos de magnesio y sodio que pueden predisponer a los hatos lecheros a desbalances metabólicos, lo anterior le da una mayor importancia y aplicabilidad a los resultados que se obtuvieron en esta investigación.

4.6.6.1 Macrominerales

El contenido promedio de Ca del pasto ryegrass perenne fue de 0,68 % y se vio afectado por la época del año ($P = 0,0041$). Durante la época lluviosa hubo una mayor absorción de dicho mineral (Cuadro 36). Para vacas lecheras en lactación las necesidades de Ca son de 0,53% a 0,67% y su deficiencia se manifiesta con huesos débiles, baja en crecimiento y producción de leche, y la fiebre de leche en vacas con deficiencias severas (NRC 2001). De acuerdo con esto último, las vacas lactantes que consumen pasto ryegrass perenne podrían llenar sus requerimientos de Ca, sin embargo para asegurar algo así se deben considerar otros factores como el nivel de producción y el tipo de animales con que se cuenta, así mismo el NRC (2001) establece una eficiencia de absorción de 30 % en el Ca de los forrajes. Vargas y Fonseca (1989) encontraron un valor medio de calcio en los forrajes de Costa Rica de 0,24 % de la materia seca, por lo que el pasto ryegrass perenne está muy por encima de dicho valor

Donaghy y Fulkerson (2001) explican que la edad de rebrote también afecta los niveles de los minerales, donde el K (usualmente en niveles muy superiores a los requerimientos de las vacas lactantes) disminuye, mientras que el Ca y Mg incrementan con rebrotes de 4 hojas. Lo mencionado anteriormente no se encontró entre las fincas analizadas (Cuadro 37), probablemente a causa de que a pesar de que los periodos de recuperación son diferentes entre cada una, ninguna presentó una edad fenológica mayor a 3 hojas.

Cuadro 36. Contenido macro mineral del pasto ryegrass perenne en tres épocas del año en la zona de San Juan de Chicua

Época	Macrominerales (%)				
	Ca	P	Mg	Na	K
Época seca	0,59 ^b	0,31 ^c	0,20	0,06	3,26 ^b
Transición	0,74 ^a	0,40 ^b	0,22	0,05	3,71 ^a
Época lluviosa	0,72 ^a	0,47 ^a	0,21	0,05	3,96 ^a
Promedio¹	0,68	0,39	0,21	0,05	3,64

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Valores corresponden al promedio de 24 muestras

El contenido de P en el pasto ryegrass perenne mostró un promedio de 0,39 % y fue influenciado de forma altamente significativa por la época del año ($P \leq 0,0001$), como se observa en el Cuadro 36 conforme se incrementó la precipitación (Figura 3), aumentó el contenido de este mineral en el pasto. La finca de procedencia tuvo un efecto significativo ($P = 0,0025$) sobre su contenido, como se muestra en el Cuadro 37, donde la finca 2 presentó el contenido promedio de P menor y las otras tres fincas no difirieron entre ellas de acuerdo con la prueba de Duncan. Las vacas lactantes tienen requerimientos de P entre 0,32 y 0,44 % de la ración (NRC 2001).

Los forrajes de Costa Rica analizados por Vargas y Fonseca (1989) presentaron un promedio general de 0,14 % de P y de 0,19 % en la zona Central del país. El ryegrass perenne tuvo un contenido promedio de más del doble de lo encontrado por dichos autores en el país y en la zona central, a la cual pertenece San Juan de Chicua. Cerca del 80 % del P del cuerpo se encuentra en los huesos y los dientes, además el P es el elemento mineral que tiene más funciones biológicas que cualquier otro: está presente en cada célula del cuerpo y en casi todas las reacciones de transporte, está involucrado en los sistemas buffer ácido-base de la sangre y otros fluidos corporales y se requiere para que los microorganismos del rumen digieran la celulosa y sinteticen la proteína microbial (NRC 2001)

Según Donaghy y Fulkerson (2001) un indicador apropiado del estado de los minerales, que se recomienda para vacas lactantes, es una relación Ca:P superior de 1,6:1 y en el ryegrass cambia de 1:1 en 1 hoja a sobre 2:1 en 3 hojas. Weiss (2005) considera que a diferencia de las pasturas basadas en leguminosas, las que se basan en pastos son usualmente deficientes en Ca y que ambas no suplen tampoco el P adecuado para vacas lactantes. De acuerdo con esto y al igual que con el Ca, las vacas lactantes que consumen ryegrass perenne podrían llenar sus requerimientos diarios de P, pero de igual forma se debe tener información más específica sobre los animales y la disponibilidad biológica de dicho mineral para saber si es necesario su suplementación con sales minerales.

El contenido de Mg promedio en el pasto ryegrass perenne fue de 0,21 % y no mostró efecto significativo ($P \geq 0,05$) de la época del año ni de la finca de donde se tomó la muestra. El requerimiento de Mg en vacas lactantes es entre 0,18-0,21 %, es necesario como cofactor para la mayor parte de las reacciones enzimáticas vitales y los signos de deficiencia incluyen la pérdida de apetito, bajo crecimiento y una gran excitabilidad e incluso la enfermedad más común es la hipomagnesemia que se da en los primeros días de lactación y más frecuentemente en vacas adultas (NRC 2001). El contenido de Mg del pasto ryegrass perenne analizado se encuentra, al igual que el P, muy cerca de los

requerimientos mínimos para las vacas lactantes. De acuerdo con Vargas y Fonseca (1989) en Costa Rica los forrajes tienen en promedio 0,15 % de Mg y los cantones de la zona Central tienen los valores más altos del país con una media de 0,19 % de la MS, sin embargo recomiendan suplir este elemento cuando se presenten valores inferiores a 0,20 % y se tengan hatos lecheros muy productivos.

Bertsch (1998) destaca dentro de los cantones con deficiencias de Mg, y que son importantes en la producción de ganado lechero, a Oreamuno con un porcentaje de casi 80 % de las muestras de suelo analizadas con niveles deficientes por debajo de 1 mg / 100 ml de dicho mineral. Una práctica recomendable es la aplicación de 50 Kg MgO por hectárea para incrementar los niveles de Mg en las plantas o bien encalar puede reducir el contenido de K en las plantas y no necesariamente por correcciones de pH en el suelo (Munson y Juern 1996; citados por Sánchez 2000a). Ambas prácticas de manejo de las pasturas se llevan a cabo en las cuatro fincas donde se llevó a cabo esta investigación, en las que se encala usualmente con el inicio de las lluvias y se utiliza además fertilizantes nitrogenados que contienen Mg en su fórmula. Se recomienda la suplementación con sales minerales que también contengan Mg en la zona de Chicua.

Kincaid (1988), citado por Sánchez (2000a), explica que el Mg se absorbe en los rumiantes especialmente a nivel ruminal y dicha absorción se ve afectada por la fuente del mismo, la concentración de K, Ca, grasas, sulfatos, citrato y ácido transaconítico en la dieta, así como algunos productos de la fermentación como amoníaco, ácidos grasos volátiles, ácido láctico, dióxido de carbono y ácidos grasos de cadena larga. Además, según el mismo autor, el contenido alto de CNF de los forrajes contribuyen a bajar el pH ruminal y favorecen la absorción del Mg. En el caso de pastos tropicales no ejercen dicho efecto sobre la absorción de este elemento por contener valores bajos de CNF. En el caso del ryegrass perenne por tratarse de un pasto de clima templado tiene contenidos más altos de CNF, los cuales podrían favorecer la absorción del Mg.

El contenido promedio de K en el pasto ryegrass perenne fue de 3,64 % y fue influenciado de manera significativa por la época del año ($P = 0,0013$) y por la interacción mes*finca ($P = 0,0493$). En el Cuadro 36 se observa cómo el contenido de K aumenta conforme aumenta la precipitación (Figura 3) al igual que sucedió con el Ca y el Mg. El requerimiento de K para ganado de leche oscila entre 1-1,07 %, sin embargo se debe considerar como nivel máximo en la dieta 3 %, ya que aunque los animales tienen la capacidad de excretar los excesos de K consumidos, el exceso puede limitar la absorción y/o utilización del Mg (NRC 2001). Vargas y Fonseca (1989) encontraron un valor promedio de los forrajes de Costa Rica de 1,83 % y en la zona Central se encuentran los valores más altos que sobrepasan el 3 % de la materia seca, lo cual coincide con lo encontrado en esta investigación.

Cuadro 37. Contenido macro mineral del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche de Chicua, Oreamuno

Finca	Macrominerales (%)				
	Ca	P	Mg	Na	K
1	0,67	0,43 ^a	0,21	0,06	3,73
2	0,71	0,31 ^b	0,21	0,06	3,32
3	0,65	0,41 ^a	0,19	0,04	3,73
4	0,70	0,41 ^a	0,24	0,05	3,78
Promedio¹	0,68	0,39	0,21	0,05	3,64

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Valores corresponden al promedio de 24 muestras

Una recomendación de Weiss (2005) con respecto a las concentraciones de K en pastos y leguminosas, es que pueden ser bastante altos (>2,5 %) y causar problemas en las vacas lactantes; así mismo si no se maneja adecuadamente el contenido de Mg en la dieta que se está brindando donde las pasturas contienen menos de 0,3 %, dicho mineral tiene según Sánchez (2000a) una disponibilidad

promedio para el ganado lechero de 17 %, con un rango que oscila entre 17 y 33 %, y por eso el mismo investigador menciona que a nivel de finca se ha encontrado una respuesta favorable a la suplementación con Mg durante el periparto, además de que según Boudon *et al.* (2002) en el ryegrass perenne cerca del 60 % de los azúcares libres y el K se liberan en el momento de la ingesta del pasto en vacas lactantes, por lo que su interferencia con la absorción del Mg a nivel ruminal puede ser bastante rápida.

El pasto ryegrass perenne tuvo un contenido promedio de Na de 0,05 % y al igual que con el Mg, la época y la finca no tuvieron un efecto significativo ($P \geq 0,05$) sobre su contenido como se observa en los Cuadros 36 y 37. En el país existe muy poca información sobre el contenido de Na de los forrajes y Minson (1990), citado por Sánchez (2000a), informa que los pastos tropicales se caracterizan por ser bajos en este elemento. El NRC (2001) establece un requerimiento de Na para vacas lactantes de entre 0,19 y 0,23 % en la dieta y menciona que dentro de sus funciones están modular el volumen de fluido extracelular y el equilibrio ácido-base y la bomba Na-K que es esencial para las células eucarióticas facilitando el transporte de glucosa, aminoácidos y fosfato dentro de las células y de iones de hidrógeno, Ca, bicarbonato, K y cloruro fuera de ellas. Es una práctica muy común en fincas de ganado de leche y carne la suplementación con sal (NaCl) para llenar los requerimientos de ambos minerales y además según el NRC (2001) cuando se brinda las concentraciones dietéticas de algún otro macromineral en exceso, el Na adicional mejora el desempeño del animal.

4.6.6.2 Microminerales

Según Weiss (2005) el contenido de microminerales o minerales traza en las pasturas se podría usar para formular la mezcla del concentrado, pero sus concentraciones son extremadamente variables. Además se debe considerar que en ciertas localidades, las pasturas pueden contener cantidades excesivas de ciertos microminerales que pueden causar eventualmente desbalances nutricionales.

El contenido promedio de Cu obtenido para el pasto ryegrass perenne fue de 12,09 mg/Kg y no se vio afectado de forma significativa ($P \geq 0,05$) por ninguno de los efectos propuestos en el modelo estadístico. El Cu es esencial para la producción de hemoglobina, en el funcionamiento de los sistemas enzimáticos y está envuelto en el sistema nervioso central, metabolismo del hueso y función cardíaca. Se asume un requerimiento de entre 9-11 mg/Kg de MS del alimento para el ganado de leche. Como se puede observar en el Cuadro 38 el contenido de Cu en el pasto ryegrass perenne en esta zona se encuentra muy cerca de los requerimientos de dicho micromineral para vacas lactantes (NRC 2001).

Según Vargas y Fonseca (1989), el Cu es el mineral más limitante que sigue en severidad al ganado en pastoreo en Costa Rica después del P y el Zn; el valor medio para el país es de 6 mg/Kg y en la zona Central de 9 mg/Kg de MS, siendo poco afectado por la época del año o la edad de los forrajes. No se encontró tampoco en esta investigación diferencias significativas ($P \geq 0,05$) en el contenido medio de Cu en el pasto ryegrass perenne entre las tres épocas representativas del año analizadas (Cuadro 38); de igual forma sucedió con el contenido medio del mismo mineral entre las cuatro fincas analizadas (Cuadro 39) y el contenido promedio fue el doble de lo que contienen los forrajes del país y ligeramente mayor que lo encontrado para esta zona.

El contenido promedio de Mn en el pasto ryegrass perenne fue de 51,29 mg/Kg y está influenciado de forma altamente significativa por la época del año ($P = 0,0105$), la finca ($P = 0,0016$) y en forma significativa por la interacción mes*finca ($P = 0,044$). El Mn es necesario en el cuerpo para una estructura ósea normal, la reproducción, funcionamiento normal del sistema nervioso central, activador de enzimas involucradas en el metabolismo de carbohidratos y síntesis de mucopolisacáridos. El valor requerido es de entre 12-14 mg/Kg de MS para vacas lactantes y los requerimientos se incrementan cuando se tienen consumos altos de Ca y P y el nivel máximo tolerable por los bovinos es 1000 mg/Kg de MS (NRC 2001, Vargas y Fonseca 1989). Al igual que con el Ca, P, Mg, K y Cu se podría decir que

en base al contenido promedio total de Mn obtenido en el pasto ryegrass perenne se podría llenar los requerimientos de las vacas lactantes, sin embargo el NRC (2001) menciona que la disponibilidad biológica de dicho mineral es 0,75 %. Como se mencionó anteriormente consumos altos de Ca y P pueden incrementar sus requerimientos y en esta zona hay promedios de producción de hasta 37 Kg de leche por animal por día, lo cual puede elevar, además de muchos otros nutrimentos, los requerimientos minerales como Ca y P (Vargas y Fonseca 1989).

Según Vargas y Fonseca (1989) el valor medio de Mn para el país es de 75 mg/Kg de MS y durante la época seca los forrajes aumentan la concentración de este mineral; encontraron además que, en ciertos cantones de la zona Central del país, dentro de los que incluyen a Oreamuno, más del 40 % de las muestras analizadas presentaron valores inferiores a 40 mg/Kg de la MS. Lo anterior coincide con lo encontrado en el Cuadro 38, donde en la época seca hay un valor promedio que difirió significativamente de la época de transición y lluviosa, además se puede notar que en estas dos últimas épocas hay una disminución en el contenido de dicho mineral.

Cuadro 38. Contenido micro mineral del pasto ryegrass perenne en tres épocas del año en la zona de San Juan de Chicua

Época	Microminerales (mg/Kg)			
	Cu	Mn	Fe	Zn
Época seca	12,38	61,96 ^a	105,75 ^a	69,90 ^a
Transición	12,25	46,33 ^b	74,21 ^b	35,60 ^b
Época lluviosa	11,65	45,57 ^b	78,64 ^b	43,89 ^b
Promedio¹	12,09	51,29	86,20	49,80

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Valores corresponden al promedio de 24 muestras

El contenido promedio de Fe en el pasto ryegrass perenne fue de 86,20 mg/Kg y se vio afectado de manera significativa por la época del año ($P = 0,0164$), la finca ($P = 0,0222$) y altamente significativa por la interacción mes*finca ($P = 0,0017$). El Fe juega un papel vital en el metabolismo del animal, asociado con el proceso de respiración celular, como un componente de la hemoglobina, mioglobina, citocromo y algunas enzimas. Los requerimientos de Fe para vacas en lactancia son entre 12,3-18 mg/Kg de MS (NRC 2001). De acuerdo con Vargas y Fonseca (1989) la mayoría de los suelos tropicales son ácidos resultando en forrajes con niveles generalmente altos de Fe y en el caso del ryegrass perenne el contenido de este mineral fue mayor que los requerimientos mencionados por el NRC (2001).

Vargas y Fonseca (1989) encontraron en Costa Rica un contenido medio de Fe de los forrajes de 246 mg/Kg y el contenido de dicho elemento aumenta con la madurez de los pastos y durante la época seca; en la zona Central del país la media encontrada fue de 263 mg/Kg. El Fe tuvo un contenido significativamente mayor ($P \leq 0,05$) en la época seca, similar a lo sucedido con el Mn (Cuadro 38).

Cuadro 39. Contenido micro mineral del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche de altura

Finca	Microminerales (mg/kg)			
	Cu	Mn	Fe	Zn
1	11,04	43,91 ^b	72,55 ^b	45,34
2	12,89	69,60 ^a	71,05 ^b	45,96
3	12,58	49,88 ^b	93,98 ^{ab}	51,02
4	11,86	41,76 ^b	107,23 ^a	56,87
Promedio¹	12,09	51,29	86,20	49,80

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Valores corresponden al promedio de 24 muestras

Se obtuvo un contenido promedio de Zn en el pasto ryegrass perenne de 49,80 mg/Kg y dicho mineral se vio afectado de forma altamente significativa ($P \leq 0,0001$) por la época del año (Cuadro 38). El Zn se encuentra relacionado con el metabolismo de los ácidos nucleicos, las proteínas y los procesos de duplicación celular; el requerimiento mínimo de Zn para ganado bovino de leche es de 43-55 mg/Kg de ración y el nivel tolerable máximo en la dieta es de 500 mg/Kg de ración total (NRC 2001). El contenido de Zn se encontró muy cerca del nivel mínimo requerido por los bovinos de leche, principalmente en la época de transición y lluviosa sería recomendable que a los animales se les brinde algún tipo de suplemento mineral que contenga zinc.

En Costa Rica Vargas y Fonseca (1989) han encontrado que junto al P, el Zn constituye el mineral más deficitario en los forrajes para la ganadería nacional, obteniendo un promedio global de 26 mg/Kg de MS en todo el país y de 35 mg/Kg en la zona Central, este último disminuye a 29 mg/Kg de MS durante la época lluviosa. En la presente investigación se obtuvieron valores similares (Cuadro 38).

4.6.7 Contenido de carbohidratos no fibrosos

El contenido de CNF promedio en el pasto ryegrass perenne fue de 15,40 % de la MS y su contenido fue influenciado de forma altamente significativa por el mes ($P \leq 0,0001$), en el Cuadro 40 se encuentra las variaciones que sufrió su contenido en los periodos bimestrales en los que se evaluó y como en época seca (enero-febrero) se obtuvo un contenido menor y fue aumentando hasta julio-agosto donde se mostró un valor máximo de 20,68 %. En setiembre-octubre el contenido de CNF disminuyó probablemente a causa de que el pasto se vio afectado por la precipitación tan alta del mes de octubre (Figura 3), así mismo el contenido de FDN fue menor que en los primeros meses del año y en noviembre-diciembre volvió a aumentar (Cuadro 33).

Fue significativo también el efecto de la finca ($P = 0,0004$) y de la interacción mes*finca ($P = 0,0471$) en el contenido de CNF y como se encuentra en el Cuadro 41, la finca 4 mostró el contenido

mayor de dicho nutrimento a causa de que pastorean un material más tierno aunque no sea significativamente diferente de la finca 1 y 2; la finca 3 tuvo por su parte un contenido promedio menor a lo largo del año. Algunos investigadores como Barret *et al.* (2003) han concluido que hay una relación inversa entre el contenido de FDN y el de CNF debido a la fórmula con que se calcula, donde a menor concentración de fibra se ha encontrado valores de carbohidratos no estructurales mayores, dicha relación fue más evidente, como se verá más adelante, con la DIVMS.

Según Barbehenn *et al.* (2004) los pastos tipo C₃ bajo condiciones de concentraciones elevadas de CO₂ siguen teniendo niveles más altos de CNF de acuerdo a la comparación que realizó con pastos C₄. De acuerdo con el mismo autor una característica inusual de los C₃ es la síntesis de fructosano, polímero de fructosa que es digerido muy eficientemente por los rumiantes y que se incrementa bajo diversas condiciones dentro de la que se mencionan las temperaturas frías. De igual forma Hopkins *et al.* (2001) consideran que el contenido de CNF más alto en dos cultivares de ryegrass anual en época fría se debe a la demanda reducida de reservas a causa de un crecimiento más lento a temperaturas bajas.

Boudon *et al.* (2002) concluyeron que los CNF son casi completamente liberados de las células de las plantas después de un tiempo promedio de permanencia en el rumen de 1,5 horas. Esto puede ser una ventaja del pasto ryegrass perenne, considerando que en general los pastos tropicales son más bajos en CHOS comparados con los de clima templado, lo que crea un problema de uso eficiente de la proteína degradable en el rumen, así mismo se debe considerar el contenido de dicho nutrimento para saber qué tipo de suplemento es el adecuado para brindar a los animales que consumen pasto ryegrass perenne (Van Soest y Giner-Chavez 1994).

Cuadro 40. Contenido de carbohidratos no fibrosos y digestibilidad “*in vitro*” de la materia seca del pasto ryegrass perenne durante un año en la zona de San Juan de Chicua

Meses	CNF (%)	DIVMS (%)
Enero-Febrero	10,62 ^d	76,49 ^b
Marzo-Abril	13,64 ^{cd}	71,49 ^c
Mayo-Junio	15,92 ^{bc}	75,60 ^b
Julio-Agosto	20,68 ^a	75,75 ^b
Setiembre-October	13,85 ^{cd}	78,71 ^b
Noviembre-Diciembre	17,68 ^{ab}	89,65 ^a
Promedio²	15,40	77,95

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Valores corresponden al promedio de 48 muestras

4.6.8 Digestibilidad “*in vitro*” de la materia seca

La DIVMS del pasto ryegrass perenne fue en promedio 77,95 % y varió de forma altamente significativa por efecto del mes ($P \leq 0,0001$) como se observa en el Cuadro 40 donde sus cambios mostraron estar ligados a los que se presentaron en el contenido de pared celular (Cuadro 33). En el mes de noviembre hubo un aumento en la DIVMS que puede deberse a la disminución en FDN en la misma época. Van Soest y Giner-Chavez (1994) consideran que las máximas digestibilidades de los forrajes de clima templado (de cerca de 80 %) son causadas por la mayor acumulación de reservas para resistir las heladas; ya que en nuestras condiciones tropicales no hay cambios de estación tan marcados como en latitudes de clima templado el ryegrass perenne se mantiene acumulando reservas pero no se va a reproducir o es probable que la semilla no sea viable. Además de que, a pesar de que las variaciones entre la temperatura mayor y menor en esta zona fueron de un rango de más de 10 °C, dicha diferencia se mantiene a lo largo de todo el año de acuerdo con Retana (2006).

Cuadro 41. Contenido de carbohidratos no fibrosos y digestibilidad *in vitro* de la materia seca del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche de altura

Finca	CNF (%)	DIVMS (%)
1	16,00 ^a	78,34 ^a
2	16,70 ^a	74,61 ^b
3	11,52 ^b	79,44 ^a
4	17,37 ^a	79,40 ^a
Promedio¹	15,40	77,95

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan (P < 0,05)

1. Valores corresponden al promedio de 48 muestras

Las fincas produjeron un efecto significativo (P = 0,0145) sobre la DIVMS al igual que la interacción mes*finca (P = 0,0060), donde se mostró una tendencia ligada al contenido de FDN de cada una, ya que la finca 2 presentó un contenido mayor de FDN y la finca 3, a pesar de haber presentado el contenido menor de CNF, tuvo a su vez la DIVMS más alta, seguida por la finca 4 que contaba con un período de recuperación de la pastura más corto que las demás.

4.6.9 Contenido de energía

En esta sección se analizará el contenido de energía obtenido con las estimaciones realizadas con el programa de computación del NRC (2001) del pasto ryegrass perenne con base en el contenido nutricional de cada una de las muestras de calidad nutricional.

4.6.9.1 Total de nutrimentos digestibles

El contenido promedio del total de nutrimentos digestibles obtenido en el pasto ryegrass perenne fue de 61,95 % y se obtuvo además un efecto significativo del mes (P = 0,0197). Como se aprecia en el Cuadro 42 el contenido de dicha variable mostró valores más bajos en época seca (enero-

abril) y conforme entró la época lluviosa (Figuras 3 y 4) aumentó levemente hasta llegar a un valor máximo de 64,39 % en los meses de noviembre-diciembre, coincidiendo con los mismos meses en los que hubo una mayor digestibilidad (Cuadro 40). A su vez el contenido de TND es influenciado por un contenido de pared celular menor (Cuadro 33). El valor de TND máximo obtenido para el ryegrass perenne es muy cercano al que se muestra en las tablas del NRC (2001) para pastos de época fría de 66,60 % de TND en pasturas manejadas intensivamente. Según Andrade (2006) el contenido de TND del pasto Kikuyo es en promedio 63,72 %, lo cual es muy cercano a lo encontrado para el ryegrass perenne en esta investigación, así mismo el ryegrass perenne mostró un comportamiento similar al de dicha especie tropical pues su contenido de TND disminuye levemente en la época seca.

Cuadro 42. Contenido de energía del pasto ryegrass perenne a lo largo del año en la zona de San Juan de Chicua

Meses	TND (%)	ED (Mcal/ Kg MS)	EM (Mcal/ Kg MS)	EN _i 3X (Mcal/ Kg MS)	EN _g (Mcal/ Kg MS)
Ene-Feb	59,88 ^b	2,83 ^b	2,43	1,51	0,88 ^b
Mar-Abr	60,17 ^b	2,83 ^b	2,38	1,48	0,85 ^b
May-Jun	62,21 ^{ab}	2,92 ^{ab}	2,44	1,53	0,92 ^{ab}
Jul-Ago	62,67 ^{ab}	2,94 ^{ab}	2,45	1,53	0,93 ^{ab}
Set-Oct	62,41 ^{ab}	2,95 ^{ab}	2,46	1,54	0,94 ^{ab}
Nov-Dic	64,39 ^a	3,04 ^a	2,51	1,58	0,99 ^a
Promedio¹	61,95	2,92	2,45	1,53	0,92

a, b, c medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Valores corresponden al promedio de 48 muestras

El TND mostró también ser afectado de forma significativa por la finca de procedencia de la muestra ($P = 0,0012$) y por la interacción entre mes*finca ($P = 0,0007$). En el Cuadro 43 se muestra cómo se mantuvo la tendencia mostrada por las fincas, donde la finca 4 presentó un valor de TND

mayor que las demás, aunque no mostró ser estadísticamente diferente ($P \geq 0,05$) de los valores encontrados en las fincas 1 y 2. Norton (1981) mencionado por Van Soest y Giner-Chavez (1994), mostró que los forrajes tropicales tienen en promedio 15 unidades menos de TND que los de clima templado, por lo que la digestibilidad está relacionada con la latitud, reflejando una relación inversa con la temperatura. En el caso de las condiciones tropicales de Costa Rica dicha relación es compensada por la altitud a la que se produce las especies de pasto de clima templado, ya que a mayor altitud hay una disminución en la temperatura que hace que la planta se adapte y permita obtener un forraje de muy alta calidad (Janzen 1991). El alto valor nutritivo del pasto ryegrass perenne en la zona de Chicua es indicativo de la buena adaptación de esta especie a las condiciones tropicales de altura, así mismo dicha característica es reflejo de un adecuado manejo en las fincas a lo largo de muchos años, ya que en la zona de estudio se encuentran potreros de más de veinte años de sembrados (Dos Pinos 2002).

4.6.9.2 Contenido de energía en términos calóricos

En esta sección se analizará el contenido de las diferentes fracciones energéticas que son aprovechadas por el ganado de leche como son la energía digestible, energía metabolizable, energía neta de lactancia y energía neta de ganancia.

La ED del pasto ryegrass perenne fue en promedio de 2,92 Mcal/Kg de MS y mostró efecto significativo del mes ($P = 0,0201$), donde siguió la misma tendencia del TND (Cuadro 42) por tratarse del valor mayor de energía, donde la prueba de Duncan fue más sensible para encontrar diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) entre las medias. La finca y la interacción mes*finca mostraron tener efecto altamente significativo ($P = 0,0009$ y $0,0014$, respectivamente) sobre la ED del pasto y de igual forma se mantuvo la tendencia ya mencionada, donde la finca 4 mostró un contenido de ED mayor (Cuadro 43), así mismo en dicha finca se obtuvo la edad fenológica menor lo cual hace que su contenido de energía fuese mayor (Fulkerson y Donaghy 2001).

En una investigación llevada a cabo por Sánchez y Soto (1998), citados por Sánchez (2000b) se estimó el contenido energético de diferentes especies de pastos tropicales en el cantón de San Carlos en época semiseca y lluviosa, y se obtuvieron valores de ED promedio entre 2,11 y 2,50 Mcal/Kg de MS donde se evidenciaron contenidos de energía mayores en el pasto Kikuyo tierno de 26-30 días de pastoreo y los menores en el pasto King Grass cosechado en prefloración. El contenido de ED promedio del pasto ryegrass perenne difiere de los valores superiores encontrados para estas especies de pastos tropicales en 0,42 Mcal y es un poco menor que el valor hallado en las tablas del NRC (2001) de 3,14 Mcal/Kg.

Cuadro 43. Contenido de energía del pasto ryegrass perenne en cuatro fincas de ganado de leche de altura

Finca	TND (%)	ED (Mcal/ Kg MS)	EM (Mcal/ Kg MS)	EN _i 3X (Mcal/ Kg MS)	EN _g (Mcal/ Kg MS)
1	62,10 ^a	2,91 ^b	2,47 ^b	1,55 ^{ab}	0,93 ^b
2	61,11 ^a	2,85 ^b	2,38 ^b	1,48 ^b	0,87 ^b
3	59,91 ^b	2,85 ^b	2,36 ^b	1,47 ^b	0,87 ^b
4	64,70 ^a	3,06 ^a	2,57 ^a	1,62 ^a	1,01 ^a
Promedio¹	61,95	2,92	2,45	1,53	0,92

^{a, b, c} medias con letras diferentes dentro de una misma columna difieren entre sí, según la prueba de Duncan ($P \leq 0,05$)

1. Valores corresponden al promedio de 48 muestras

La EM promedio del pasto ryegrass perenne fue de 2,45 Mcal/Kg de MS con un efecto significativo por parte de la finca ($P = 0,0014$) y de la interacción mes*finca ($P = 0,0119$), en el Cuadro 43 la prueba de Duncan mostró que la media en el contenido de EM de la finca 4 difirió significativamente ($P \leq 0,05$) de las tres primeras fincas. Para los diferentes meses muestreados no se encontró diferencias significativas ($P \geq 0,05$), sin embargo los meses de octubre a diciembre son los que presentaron un contenido de EM numéricamente mayor (Cuadro 42). En el caso de la EM el rango

encontrado por Sánchez y Soto (1998), citados por Sánchez (2000b) fue de 1,75 y 2,13 Mcal/Kg de MS para el pasto King Grass y Kikuyo respectivamente, y la diferencia con el promedio del ryegrass perenne es de 0,32 Mcal y con respecto al valor reportado por el NRC (2001) (2,46 Mcal/Kg de MS) hay una diferencia muy pequeña. Lo anterior evidencia la calidad superior del pasto ryegrass perenne y la ventaja de su establecimiento en las zonas donde se pueda adaptar adecuadamente para la producción de ganado de leche.

El contenido promedio de EN_L del pasto ryegrass perenne fue de 1,53 Mcal/Kg de MS y al igual que con la EM se vio afectado significativamente por la finca de procedencia ($P = 0,0014$) y por la interacción mes*finca ($P = 0,0114$) (Cuadro 43). Sánchez y Soto (1998), citados por Sánchez (2000b) han encontrado que la energía es uno de los nutrimentos más limitantes para la producción de ganado lechero a base de gramíneas forrajeras tropicales, encontrando valores de EN_L que oscilan desde 1,3 Mcal/Kg de MS en el pasto Kikuyo, hasta 1,1 Mcal/Kg de MS en el King Grass. Dichos valores son inferiores a los informados para gramíneas forrajeras de climas templados que poseen valores de 1,54 Mcal/Kg de MS (NRC 2001) y están efectivamente 0,23 Mcal por debajo del promedio encontrado en esta investigación para el pasto ryegrass perenne (Cuadro 43). El pasto ryegrass perenne tiene un contenido levemente superior de EN_L que el reportado por Andrade (2006) para el pasto kikuyo con un contenido promedio de 1,48 Mcal/Kg de MS.

El contenido promedio de EN_G del pasto ryegrass perenne fue de 0,92 Mcal/Kg de MS y mostró ser influenciado por el mes ($P = 0,0416$), la finca ($P = 0,0011$) y la interacción mes*finca ($P = 0,0043$). En el Cuadro 42 se observa como la EN_G siguió una tendencia similar a la ED donde en época seca el pasto ryegrass perenne presentó un contenido menor, en la época lluviosa empezó a aumentar hasta un máximo en los últimos meses del año. La finca 4 fue la que mostró un contenido mayor de EN_G debido a que se pastorea un forraje más tierno con respecto a las demás fincas, por lo tanto dicho pasto

puede ser brindado a los animales de reemplazo para que ganen peso, así mismo es la que se acerca más al valor reportado por el NRC (2001) de 1,06 Mcal/Kg de MS para pastos de clima templado manejados intensivamente.

4.7 CAPACIDAD POTENCIAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE PARA PROUCIR LECHE CORREGIDA POR ENERGÍA Y PROTEÍNA

Se realizó una simulación de la capacidad potencial del pasto ryegrass perenne para producir leche en tres épocas representativas del año; final de época seca (abril), época lluviosa (agosto) y final de época lluviosa (noviembre) por medio del programa del NRC (2001). Dicha simulación se realizó en base a datos tomados de la finca 1, debido a que ésta contaba con mediciones confiables de las distancias entre la lechería y los potreros, además fue la que mantuvo las raciones brindadas a las vacas lactantes con variaciones menores a lo largo del tiempo en el que se llevó a cabo esta investigación. Además, fue la que tuvo estimaciones de consumo de MS realizadas con la metodología del Botanal® que fueron más cercanas a los cálculos realizados por el método de reversa con el programa del NRC (2001) (Cuadro 23).

Para cada época se asumió una vaca Holstein promedio de 600 Kg, que caminó cuatro veces al día 500 m en terreno plano (2 ordeños por día). La ración consistió en el consumo estimado de pasto ryegrass perenne obtenido por la metodología del Botanal®. La calidad del forraje correspondió a la composición nutricional promedio obtenida de las dos muestras (dos potreros por día) tomadas en cada una de las épocas. La cantidad de leche estimada por el programa del NRC (2001) para estos animales contenía 3,5 % de grasa y 3,3 % de proteína, que corresponden a los valores promedio del hato.

Para el período de final de época seca (abril) se obtuvo un consumo estimado de 10,98 Kg de MS que le brinda al animal 17,7 Mcal de EN_L (~ 1,61 Mcal/Kg de MS), lo que le permite producir hasta 9,0 Kg de leche en base a pasto. En la época lluviosa la estimación de consumo mostró un valor de

10,54 Kg de MS que le brindan al animal 17,8 Mcal de EN_L (~ 1,69 Mcal/Kg de MS) con las que produciría también 9,0 Kg de leche. Por último al final de la época lluviosa se estimó un consumo promedio de 10,04 Kg de MS con un contenido energético total de 16,0 Mcal de EN_L (~ 1,59 Mcal/Kg de MS) con los que podría producir, en base a la estimación, solo 6,5 Kg de de leche en base al pasto. Esta disminución puede deberse a que en la finca 1 hubo una ligera disminución en el contenido de energía del pasto en esa época.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 DISPONIBILIDAD DE MATERIA SECA DEL PASTO RYEGRASS PERENNE

La disponibilidad prepastoreo aumentó significativamente ($P \leq 0,05$) al final de la época seca en los meses de marzo y abril, época en la que se presentó un brillo solar mayor que permitió dicho aumento en la producción de biomasa. En la época lluviosa (mayo a octubre) la disponibilidad prepastoreo disminuyó un poco y se mantuvo relativamente constante, probablemente debido a una mayor nubosidad que disminuyó las horas de brillo solar en la zona.

La disponibilidad prepastoreo presentó un valor promedio de 4110 Kg de MS/ha/corte con una desviación estándar de 898 Kg de MS/ha, la mayoría de los valores obtenidos oscilan entre 2600 a 6900 Kg de MS/ha. Se estimó una producción anual de 40,5 ton de MS/ha con valores de disponibilidad relativamente constantes a lo largo del año. Las variaciones que se presentan en disponibilidad son pequeñas y se consideran una ventaja con respecto a las registradas en otras latitudes donde el pasto ryegrass perenne presenta estacionalidad en su producción.

Las cuatro fincas mostraron valores similares de disponibilidad pre y postpastoreo, aprovechamiento por hectárea y porcentaje de aprovechamiento de la pastura a pesar de contar cada una con periodos de recuperación distintos y demás prácticas de manejo de pasturas propias.

El porcentaje de aprovechamiento presentó un valor promedio de 44,82 % y disminuyó significativamente ($P \leq 0,05$) en los meses de marzo-abril cuando se presentó la disponibilidad prepastoreo mayor, por lo que sería recomendable acortar los periodos de recuperación de los potreros y/o utilizar algún método de conservación de forrajes difiriendo algunos potreros para la elaboración de silopacas que permitan aprovechar la producción de biomasa mayor en esta época, así mismo el clima favorece dicha labor.

El tiempo de permanencia u ocupación mayor en los potreros de la tarde en las fincas, generó un aprovechamiento/ha y un porcentaje de aprovechamiento de 380 Kg de MS/ha y 2,2 % respectivamente, mayores que en los potreros de la mañana. También el tiempo de permanencia de los animales tuvo un efecto sobre el aprovechamiento/ha con diferencias de entre 20 a 100 Kg de MS/ha. Las fincas de ganado de leche deben planificar adecuadamente las labores de ordeño para que éste se realice de forma efectiva con el objetivo de que los animales en producción permanezcan la mayor parte del tiempo en los potreros, principalmente en las horas en que se presenta un consumo de forraje mayor.

La comparación que se llevó a cabo entre la estimación de consumo de MS por la metodología del Botanal® y la del método de reversa con el programa del NRC (2001), brindó, una diferencia de 8,24 % por lo que se considera que se tuvo un buen dominio sobre la metodología utilizada. Así mismo, el ryegrass, al poseer una alta proporción de hoja favoreció dicha estimación; la cual fue desarrollada con especies de pasto de clima templado.

5.2 COMPOSICIÓN BOTÁNICA EN LAS PASTURAS DE RYEGRASS PERENNE

El porcentaje de ryegrass perenne en los potreros no varió significativamente ($P \geq 0,05$) a lo largo del año, sin embargo en época seca disminuyó su presencia y la de otras gramíneas y, a su vez, aumentó la de trébol blanco. La mayor parte de otras gramíneas observadas eran pasto Kikuyo. La presencia de malezas en los potreros dependió principalmente de las prácticas de manejo en cada finca y el material senescente mostró un porcentaje mayor en los meses de enero a abril donde hubo una producción de biomasa mayor y el aprovechamiento fue menor. Puede ser que el porcentaje mayor de trébol en estos meses compense la disminución en el valor nutritivo del forraje que se vuelve senescente, así mismo que se pueda mantener sostenible la producción de leche. Se recomienda por

tanto, que de acuerdo a la época del año, se ajusten los días de recuperación de la pastura para que dicho material forrajero no se desaproveche.

5.3 EDAD FENOLÓGICA DEL PASTO RYEGRASS PERENNE

Durante los meses de enero a abril la edad fenológica del pasto ryegrass perenne fue mayor, en los meses siguientes dicho valor disminuyó y se mantuvo constante. El número de hojas mayor encontrado coincidió con los meses en los que se presentó una producción de biomasa mayor, lo cual respalda lo mencionado anteriormente para ajustar los períodos de recuperación de las pasturas o elaborar silopacas, principalmente en los meses iniciales del año.

Las cuatro fincas mostraron valores adecuados de edad fenológica de acuerdo a lo recomendado en la literatura, lo cual implica que en las cuatro fincas se ha llevado a cabo un adecuado manejo del pasto ryegrass perenne. En cada una de las fincas se pudo observar plantas de ryegrass de diferentes alturas y con diferentes densidades que de igual forma se mantuvieron dentro de los valores de edad fenológica deseables. Se recomienda pastorear el ryegrass perenne entre 2 y 3 hojas; ya que con ello se asegura una adecuada disponibilidad, persistencia y calidad nutritiva.

5.4 COMPOSICIÓN ESTRUCTURAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE

El pasto ryegrass perenne presentó un 56,08 % de hoja promedio y a lo largo del año su proporción disminuyó principalmente en los meses de enero-febrero a causa del estrés que sufre la planta por la radiación solar alta y la cristalización del rocío que no permiten un adecuado rebrote, dicha proporción es muy superior a la mostrada por especies de pasto de clima tropical como el kikuyo. Las fincas mostraron valores muy similares en la proporción de hoja ya que se considera que esta es una característica propia de cada especie de pasto.

5.5 CALIDAD NUTRICIONAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE

5.5.1 Materia seca y proteína cruda

El contenido de MS fue mayor en la época seca y fue disminuyendo conforme entró la época lluviosa. El contenido de PC fue 25,21 % y se mantuvo constante en el año. Debido a que la finca 4 tuvo un período de recuperación menor, su contenido proteico fue mayor al de las demás fincas.

El contenido de PC encontrado fue superior al de muchos alimentos balanceados comerciales, es recomendable tener dicho valor en consideración a la hora de suplementar los animales en producción con el objetivo de complementar el forraje con una adecuada fuente de CNF que permita hacer un uso adecuado del nitrógeno por parte de los microorganismos de rumen.

5.5.2 Componentes de la pared celular

El contenido de FDN fue mayor en época seca, en época lluviosa disminuyó significativamente ($P \leq 0,05$) a valores que presentaban diferencias de hasta 14 unidades porcentuales. La finca 4 pastoreó un pasto más tierno con un contenido de FDN menor respecto a las otras fincas a causa de su período de recuperación menor. El contenido de FDN del pasto ryegrass perenne es normal dentro de las especies de clima templado con valores menores que los de las especies tropicales.

La FDA no mostró variaciones muy amplias entre las diferentes épocas del año mientras que al igual que sucedió con la FDN, la finca 4 presentó un contenido menor por lo que las prácticas de manejo de cada finca tuvieron un efecto mayor sobre ésta. El contenido de hemicelulosa y celulosa siguieron la tendencia de la FDN en las épocas, donde en la época lluviosa disminuyó el contenido de ambos componentes estructurales dentro de la pared celular y dentro de las fincas hubo un contenido menor de ambos en la finca 4. El porcentaje de lignina fue menor durante la época seca por dilución en

el contenido mayor de FDN y a las temperaturas mínimas más bajas registradas durante el año. De igual forma la finca 4 mostró tener un pasto más digestible por su menor deposición de lignina.

5.5.3 Extracto etéreo y cenizas

El contenido de EE fue significativamente menor en la época seca y luego se incrementó con el cambio a la época lluviosa. Las cenizas del pasto ryegrass perenne siguieron una tendencia en relación con la precipitación con valores menores en la época seca y un contenido mineral mayor en los meses más lluviosos.

5.5.4 Contenido macro y micromineral

Los contenidos de Ca, P y K mostraron valores mayores en la época lluviosa, mientras que el Mg y el Na no mostraron variaciones significativas dentro de las diferentes épocas. El K fue el mineral que presentó un incremento mayor en el pasto tal y como se manifestó también en su contenido de cenizas en la época lluviosa. A pesar de las diferencias dentro de cada finca en sus días de recuperación, ninguna tuvo una edad fenológica mayor a 3 hojas por lo que el contenido macromineral entre estas fue muy similar.

El Ca y el K mostraron valores superiores a los requerimientos de vacas lactantes, pero en el caso del Ca su disponibilidad biológica es limitada. El P y el Mg se encontraron muy cerca de los requerimientos mínimos y el Na estuvo muy por debajo del valor recomendado. La relación Ca:P promedio fue de 1,74:1, valor adecuado de acuerdo a las recomendaciones en base a la edad fenológica y a la absorción por parte de las vacas lactantes. Debido a que la zona de Oreamuno es normalmente deficiente en Mg en los suelos y a que el contenido encontrado en el pasto ryegrass perenne estuvo muy cerca de los requerimientos mínimos para vacas lactantes (0,20 %), es recomendable suplementar a dichos animales con alguna fuente de magnesio, así mismo se debe

investigar la incidencia de hipomagnesemia en las fincas de la zona en las que se pastorea dicha especie de pasto para futuras investigaciones.

Los contenidos de Mn, Fe y Zn siguieron una misma tendencia al presentar valores mayores en época seca con disminuciones en la época lluviosa. Solo en el caso del Zn se llegó a valores por debajo y muy cercanos a los requerimientos para bovinos de leche. El Cu se mantuvo constante a lo largo del año con un promedio ligeramente superior a dichos requerimientos. Debido a lo anterior es que se recomienda brindar a los animales que consumen pasto ryegrass perenne algún suplemento mineral para llenar los requerimientos de microminerales, principalmente del Zn y el Cu.

Algunos de los minerales analizados (Ca, P, Mg, K, Cu, Mn y Fe) tuvieron contenidos que se mantuvieron siempre por encima de los requerimientos para vacas lactantes, por lo que podrían llenar dichos requerimientos en base a su contenido total. Sin embargo, cada mineral tiene una disponibilidad biológica diferente, por lo que sería recomendable investigar sobre dicha disponibilidad en los forrajes de Costa Rica para tener más certeza sobre la capacidad que tienen de satisfacer los requerimientos de los bovinos en pastoreo.

5.5.5 Carbohidratos no fibrosos y DIVMS

El contenido de CNF mostró una relación inversa con el contenido de FDN donde durante la época seca se presentó un contenido menor y en la época lluviosa aumentó significativamente ($P \leq 0,05$) hasta un 20,68 % de la MS. Al igual que sucedió con otros nutrientes, la finca 4 tuvo un contenido promedio mayor de CNF que las demás fincas por las prácticas de manejo en la rotación de los potreros que se ha explicado con anterioridad, así mismo el ryegrass perenne tiene un contenido de CNF superior al de las mejores especies de pastos de clima tropical.

La DIVMS presentó un promedio de 77,95 % con variaciones ligadas al contenido de FDN en cada época del año. Las diferencias entre las fincas fueron muy pequeñas, siendo la finca 2 la que tuvo un valor menor causado por su contenido de pared celular mayor.

5.5.6 Contenido de energía

El porcentaje de TND estimado fue de 61,95 % en promedio y presentó valores menores en la época seca para luego ir aumentando en la época lluviosa hasta los últimos meses del año donde hubo una mayor digestibilidad por la disminución en el contenido de pared celular, hasta un valor promedio de FDN de 43,77 %. Aunque la finca 4 no fue estadísticamente diferente de las fincas 1 y 2, siempre mantuvo un TND mayor. La ED y la EN_G mostraron valores menores en época seca que luego se incrementaron en la época lluviosa siguiendo la misma tendencia que se presentó con el TND. En el caso de la EM y la EN_L no hubo un cambio significativo entre las épocas pero mantuvieron la misma tendencia mencionada.

En la finca 4 se obtuvo los contenidos energéticos mayores para ED, EM, EN_L y EN_G, evidenciando las características de un pasto más tierno que es más digestible y tiene un aporte de energía mayor debido a que dicha finca tuvo la edad fenológica y el período de recuperación menores de las cuatro. Debido a que el pasto ryegrass perenne contiene más energía que los pastos tropicales, se recomienda su establecimiento en zonas donde pueda adaptarse para la producción de ganado de leche, así mismo su contenido de energía neta de ganancia lo hace apto para su inclusión en las raciones de animales de reemplazo en las fincas. Es necesario mayor investigación con especies de clima templado que se pueden adaptar igualmente a las condiciones tropicales de altura.

5.6 CAPACIDAD POTENCIAL DEL PASTO RYEGRASS PERENNE PARA PRODUCIR LECHE CORREGIDA POR ENERGÍA Y PROTEÍNA

Aunque posee una calidad nutricional superior a la mayoría de pastos tropicales, se estima que el ryegrass perenne es capaz de alcanzar producciones de 11 Kg de leche en un animal Holstein promedio de la zona. Para los mejores pastos tropicales se ha estimado una capacidad de producir leche que varía entre 7 y 9 Kg de leche. Se recomienda investigar la capacidad máxima de producción de leche en vacas lactantes con base en pasto ryegrass perenne para nuestras condiciones.

LITERATURA CITADA

- ACEVEN. 2004. *Abono verde: Lolium multiflorum* Lam. Consultado el 11/05/2005 IN:
<http://www.arp.org.py/articulo.php?ID=2835>
- ANDRADE, M. 2006. *Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov) en la producción de ganado lechero en Costa Rica*. Tesis. Lic. Zootecnia, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, UCR. 225p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. 2000. *Official methods of analysis*. 16 ed. Washington, D.C.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. 1990. *Official methods of analysis*. 15 ed. Washington, D.C. 1008 p.
- BARBEHENN, R. V., CHEN, Z., KAROWE, D. N. 2004. *C₃ grasses have higher nutritional quality than C₄ grasses under ambient and elevated atmospheric CO₂*. *Global Change Biology* 10 : 1565-1575.
- BARRETT, P. D., MCGILLOWAY, D. A., LAIDLAW, A. S. 2003. *The effect of sward structure by ryegrass genotype on bite dimensions and short-term intake rate by dairy cows*. *Grass and Forage Science* 58 : 2-11.
- BERTSCH, F. 1986. *Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica*. San José, Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. 81p.
- BERTSCH, F. 1998. *La fertilidad de los suelos y su manejo*. 1ª ed. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157p.
- BOSCHINI, C., ELIZONDO, J. 2003. *Curso teórico y práctico de ensilaje de forrajes*. 1ª ed. San José, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 67p.
- BOUDON, A., PEYRAUD, J. L., FAVERDIN, P. 2002. *The release of cell contents of fresh rye-grass (*Lolium perenne* L.) during digestion in dairy cows: effect of the intracellular constituents, season and stage of maturity*. *Animal Feed Science and Technology*. 97 : 83-102.
- CABALCETA, G. 2006. Comunicación personal. Interpretación de los análisis de suelos.
- CHILIBROSTE, P., TAMMINGA, S., BOER. 2000. *Duration of regrowth of Ryegrass (*Lolium perenne*) Effects on grazing behavior, intake, rumen fill, and fermentation of lactating dairy cows*. *Journal of Dairy Science* 83 : 984-995.
- COOPERATIVA DE PRODUCTORES DE LECHE. 2002. *Encuesta realizada a los socios de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos*. Revisión de documentos para la zona de Cartago

- COWAN, R. T., LOWE. 1998. *Tropical and subtropical grass management and quality*. IN: Grass for dairy cattle. ©CAB International: 101-135.
- CRUZ, M., SÁNCHEZ, J. 2000. *La fibra en la alimentación del ganado lechero*. *Nutrición Animal Tropical* 6:39-74
- DONAGHY, D., FULKERSON, B. 2001. *Principles for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures*. Tasmanian Institute of Agricultural Research, Burnie, Tasmania. 10p.
- EMMANS, G. C. 1994. *Effective energy: a concept of energy utilisation applied across species*. *British Journal of Nutrition*. 71 : 801-821.
- FICK, K. 1979. *Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales*. 2ª edición. University of Florida. Gainesville, USA.
- FIRKINS, J. 2005. *Forage quality and feeding systems for dairy cattle*. IN: Curso Actualización en la nutrición del Ganado lechero. RAPCO. Balsa, Atenas, Costa Rica. 13p.
- FULKERSON, B. 1992. *Pasture production and utilization in northern Australia*. *Dairy Horizons- The Challenge for Extension*. 128 -136. La Trobe University.
- FULKERSON, W. J., DONAGHY, D. J. 2001. *Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review*. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 41: 261-275.
- FULKERSON, W. J., LOWE, K. F. 2002. *Grazing Management*. *Forages and Pastures*. 1142-1149.
- FULKERSON, W. J., LOWE, K. J., AYRES, J. F., LAUNDERS, T. 1993. *Winter pastures and crops*. *Tropical Grasslands*. 27: 162-179.
- FULKERSON, W. J., SLACK, K., HENNESSY, D. W., HOUGH, G. M. 1998. *Nutrients in ryegrass (Lolium spp), white clover (Trifolium repens) and kikuyu (Pennisetum clandestinum) pastures in relation to season and stage of regrowth in a subtropical environment*. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 38: 227-240.
- GOH, K. M., BRUCE, G. E. 2005. *Comparison of biomass production and biological nitrogen fixation of multi-species pastures (mixed herb leys) with perennial ryegrass-white clover pasture with and without irrigation in Canterbury, New Zealand*. Soil and Physical Sciences Group, Agriculture and Life Sciences Division, Lincoln University. Consultado el 11/05/2005 IN:
www.sciencedirect.com
- HANNAWAY, D., FRANSEN, S., CROPPER, J. 1999. *Annual Ryegrass*. Oregon State University. Consultado el 11/05/2005 IN:
<http://eesc.orst.edu/AqComWebFile/EdMat/PNW501.html>
- HARGRAVES, J. N. G., KERR, J. D. 1978. *Botanal: a comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition*. II. Computational package. Division of

Tropical Crops and Pastures, Tropical Agronomy, CSIRO, Australia. Technical Memorandum No. 9.

- HENRÍQUEZ, C., CABALCETA, G. 1999. *Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola*. San José, Costa Rica. ACCS. 112 p.
- HERRERO, M., FAWCETT, R. H., DENT, J. B. 2000. *Modelling the growth and utilization of Kikuyu grass (Pennisetum clandestinum) under grazing*. 2. Model validation and analysis of management practices. *Agricultural Systems*. 65 : 99-111.
- HODGSON, J., BROOKES, I. M. 2002. *Nutrition of grazing animals*. IN: *New Zealand: Pasture and Crop Science*. Oxford University. South Melbourne, Australia. 323p.
- HOPKINS, C., MARAIS, J. P., GOODENOUGH, D. C. 2001. *A comparison, under controlled environmental conditions, of a Lolium multiflorum selection bred for high dry-matter content and non-structural carbohydrate concentration with a commercial cultivar*. *Grass and Forage Science* 57 : 367-372.
- JANZEN, D. H. 1991. *Historia natural de Costa Rica*. 1ª ed. Editorial de la UCR. San José, Costa Rica
- JONSSON, N. N., FULKERSON, W. J., PEPPER, P. M. 1999. *Effect of genetic merit and concentrate feeding on reproduction of grazing dairy cows in a subtropical environment*. *Journal of Dairy Science* 82 : 2756-2765.
- KEMP, P. D., MATTHEW, C., LUCAS, R. J. 2002. *Pasture species and cultivars*. IN: *New Zealand: Pasture and Crop Science*. Oxford University. South Melbourne, Australia. 323p.
- KIM, T. W., JUNG, W. J., LEE, B., YONEYAMA, T., KIM, H., KIM, K. 2003. *P effects on N uptake and remobilization during regrowth of Italian ryegrass (Lolium multiflorum)*. *Environmental and Experimental Botany*. 50 : 233-242.
- KUNELIUS, H. T., MCRAE, K. B., DÜRR, G. H., FILLMORE, S. A. 2004. *Management of Italian and Perennial Ryegrasses for Seed and Forage Production in Crop Rotations*. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 190 : 130-137.
- LICITRA, G., HERNANDEZ, T. M., VAN SOEST, P. J. 1996. *Standardization of Procedures for Nitrogen Fractionation of Ruminant Feeds*. *Animal Feed Science and Technology*. 57: 347-358.
- MONTIEL, M., GOMEZ, J. 2006. Identificación de las principales especies de malezas de Chicua, Oreamuno, Cartago. Comunicación personal
- MURADAS, R. A. 2004. *Pasturas artificiales o cultivadas*. Instalación de Haras. Nota VII. Consultado el 11/05/2005 IN:
<http://www.revistapalermo.com.ar/notas/instalacion7.htm>
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. Ed. Washington, D.C. National Academy Press. 381 p.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 2000. *Nutrient requirements of Beef Cattle*. 7th rev. Ed. Washington, D.C. National Academy Press. 242 p.
- NIETO, B. J., SOLANO, P. A. 2004. *Caracterización de un sistema de pastoreo en franjas con vacas Holstein en el cantón de Alfaro Ruiz, Costa Rica*. Trabajo realizado en el curso de Problema Especial Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, Universidad de Costa Rica. 16 p.
- OREGON STATE UNIVERSITY. 1999. *Brochure: Perennial Ryegrass*. Oregon Ryegrass Growers Seed Commission. Consultado el 11/05/2005 IN:
www.ryegrass.com
- OVIEDO, M. B., CIOTTI, E. M. 2004. *Efecto del anegamiento temporario en el establecimiento de Lolium multiflorum Lam.* Consultado el 11/05/2005 IN:
<http://agr.unne.edu.ar/Extensión/Res2004/Forrajes/Forr-001.pdf>
- PINOS, J. M., GONZALEZ, S. S., MENDOZA, E. 2002. *Effect of exogenous fibrolytic enzyme on ruminal fermentation and digestibility of alfalfa and rye-grass hay fed to lambs*. Journal of Animal Science. 80 : 3016-3020.
- RETANA, J. 2006. *Climatología de la región del distrito de San Juan de Chicua y el Volcán Irazú*. Informe anual del Instituto Meteorológico Nacional. 3p.
- SÁNCHEZ, J. 2006. Comunicación personal
- SÁNCHEZ, J. 2000a. *Hipomagnesemia. Un desbalance metabólico subestimado en la producción de ganado lechero en Costa Rica*. Nutrición Animal Tropical 6:75-95.
- SÁNCHEZ, J. 2000b. *Nutrición energética del ganado lechero*. Nutrición Animal Tropical 6:97-127.
- SÁNCHEZ, J. ML., HERRERA, C. 2006. *Nutritional value of tropical fruit processing by-products*. American Dairy Science Association-American Society of Animal Science Annual Meeting. Minneapolis, Minnesota. Abstract W220.
- SHIMADA, A. 1983. *Fundamentos de Nutrición Animal Comparativa*. UNAM, México. 375 p.
- SOLANO, P. C., LEÓN, H. H. 2005. *Análisis de costos de diferentes sistemas de producción de leche en Costa Rica: estudio de casos*. Cámara Nacional de Productores de Leche. Presentado en el Congreso Nacional Lechero 2005. 22p.
- SORENG, R. 2004. *Plants Profile*. United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service. Consultado el 11/05/2005 IN:
www.usda.org
- VAN SOEST, P. J., GINER-CHAVEZ, B. I. 1994. *Nutritive value of fibrous feeds*. IN: Sistemas de Producción de Ganado de carne en el trópico. Balsa, Atenas, Costa Rica. 10p.

- VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J. B. 1979. *Forage fiber análisis*. Agronomy Handbook 379. USDA, Washington, D.C. sp.
- VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J. B. 1985. *Analysis of forages and fibrous feeds*. Cornell University. Ithaca, New York. 165 p.
- VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J; LEWIS, B. 1991. *Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition*. Journal of Dairy Science 74: 3586-3597.
- VARGAS, E., FONSECA, H. 1989. *Contenido mineral y proteico de forrajes para rumiantes en pastoreo en Costa Rica*. Primera edición Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 217 p.
- VÉLEZ, M., HINCAPIE, J. J., MATAMOROS, I., SANTILLAN, R. 2002. *Producción de Ganado Lechero en el Trópico*. Cuarta edición. Zamorano Academic Press, Zamorano, Honduras. 326 p.
- VENUTO, B. C., REDFEARN, D. D., PITMAN W. D. 2003. *Impact of seeding rate on annual ryegrass performance*. Grass and Forage Science 59 : 8-14.
- WEISS, W. P. 2005. *Nutritional management for dairy cows grazing intensively-managed pastures*. IN: Actualización en la nutrición del Ganado lechero. RAPCO. Balsa, Atenas, Costa Rica. 5p.
- WHITE, J., KEMP, P. D., MATTHEW, C. 2002. *New Zealand: Pasture and Crop Science*. Oxford University. South Melbourne, Australia. 323p.