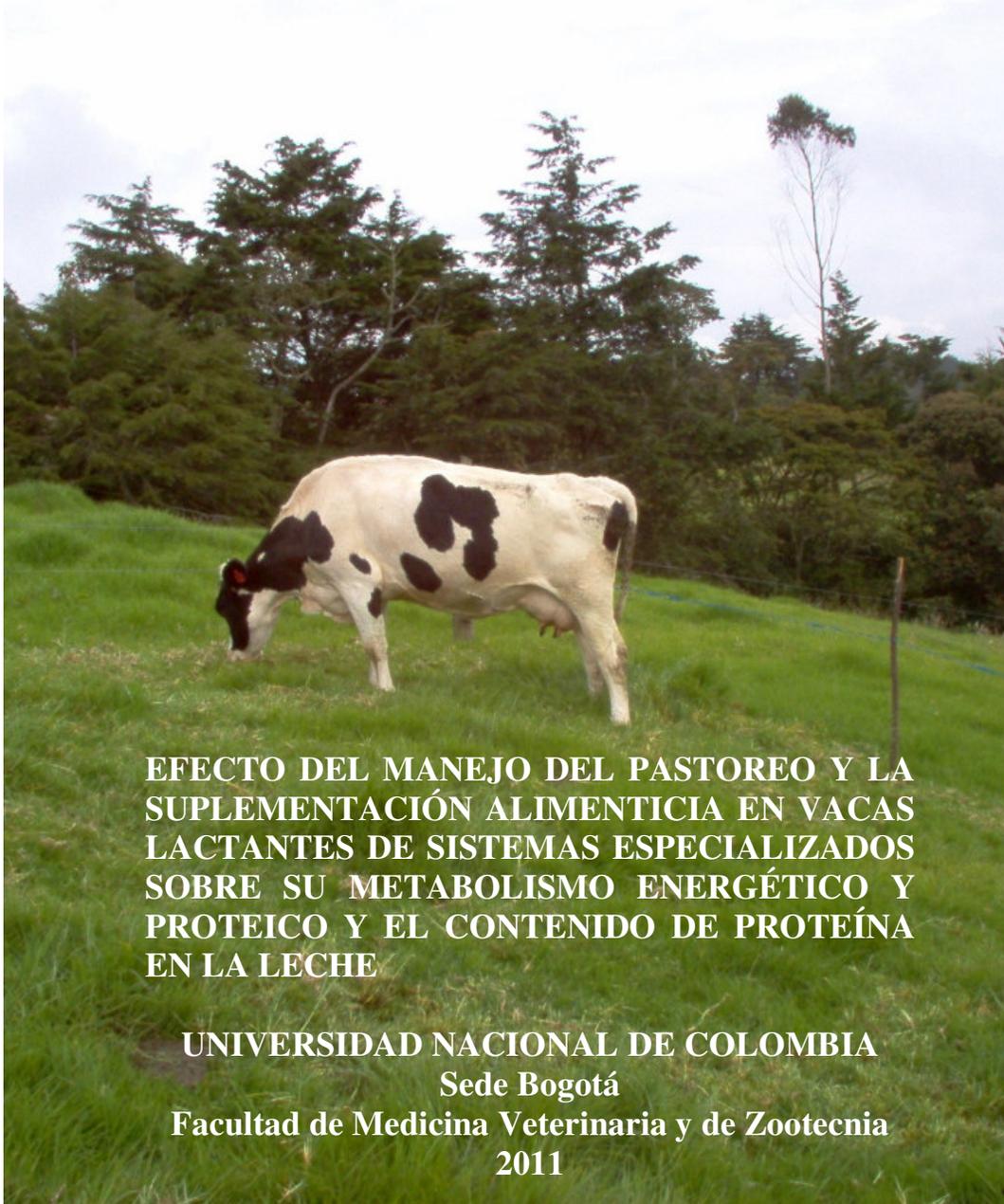


**Héctor Jairo Correa Cardona**



**EFECTO DEL MANEJO DEL PASTOREO Y LA  
SUPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA EN VACAS  
LACTANTES DE SISTEMAS ESPECIALIZADOS  
SOBRE SU METABOLISMO ENERGÉTICO Y  
PROTEICO Y EL CONTENIDO DE PROTEÍNA  
EN LA LECHE**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
Sede Bogotá  
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia  
2011**





UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE BOGOTÁ  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y DE ZOOTECNIA

**EFECTO DEL MANEJO DEL PASTOREO Y LA SUPLEMENTACIÓN  
ALIMENTICIA EN VACAS LACTANTES DE SISTEMAS ESPECIALIZADOS  
SOBRE SU METABOLISMO ENERGÉTICO Y PROTEICO Y EL  
CONTENIDO DE PROTEÍNA EN LA LECHE**

Tesis en  
Ciencias de la Producción Animal  
presentada por

**Héctor Jairo Correa Cardona, MSc.**

Como requisito parcial  
para optar al título de

Doctor en Ciencias de la Producción Animal

Director

**Juan E. Carulla Fornaguera, PhD.**

2011

### **Reseña biográfica.**

Zootecnista de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (1992); Master en Nutrición Animal de la Universidad Nacional Autónoma de México (2000); profesor de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (1998 - ) de Inducción a la Zootecnia, Nutrición Animal, Producción Bovina de Leche, Metabolismo Nutricional de Rumiantes, Fisiología Digestiva y Nutrición Animal Comparada; integrante de los grupos de investigación en **Evaluación de Alimentos y Sistemas de Alimentación Animal** e **Interacciones Nutricionales, Metabólicas y Reproductivas en Bovinos** de Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín y del grupo de investigación en **Nutrición Animal** de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Autor y co-autor de más de 30 artículos publicados en revistas indexadas y de varios capítulos de libros de texto; ponente en seminarios nacionales e internacionales.

## **DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD Y RECONOCIMIENTO**

El autor manifiesta que el presente documento es original y se realizó sin violar, transgredir y/o usurpar derechos de autor a terceros; por lo tanto es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad sobre el mismo.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>Reseña biográfica</b>	iii
<b>DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD Y RECONOCIMIENTO</b>	iv
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	xii
<b>PUBLICACIONES</b>	xiii
<b>LISTA DE TABLAS</b>	xv
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	xxi
<b>LISTA DE IMAGENES</b>	xxiii
<b>LISTA DE ANEXOS</b>	xxiv
<b>GLOSARIO</b>	xxv
<b>RESUMEN</b>	xxvii
<b>ABSTRACT</b>	xxix
<b>CAPITULO 1. INTRODUCCION. Producción de leche con base en pasturas: el caso de los hatos especializados en Colombia.</b>	1
1.1. Resumen	1
1.2. Introducción.	2
1.3. Concentración de proteína en la leche.	3
1.4. Caracterización de los sistemas de producción de leche especializados en Colombia.	4
1.4.1. Características nutricionales de los pastos y suplementos alimenticios.	4
1.4.1.1. Composición nutricional del pasto kikuyo y los suplementos alimenticios.	4
1.4.1.2. Degradabilidad ruminal y digestibilidad posruminal de la PC.	7
1.4.1.3. Valor energético del pasto kikuyo y los suplementos comerciales.	8
1.4.2. Consumo de forraje y suministro de suplementos comerciales.	9
1.4.3. Oferta forrajera.	10
1.4.4. Desbalances energéticos y protéicos en los sistemas de producción de leche especializada.	12
1.5. Metabolismo energético y protéico.	14
1.6. Metabolismo en la glándula mamaria.	17
1.7. Conclusiones.	20
Abstract	20
Bibliografía.	21
<b>CAPITULO 2. REVISIONES DE LITERATURA</b>	42
2.1. Valor nutricional del pasto kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> )	42

**Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I. Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal.**

Resumen	42
2.1.1. Introducción.	43
2.1.2. Composición química.	44
2.1.2.1. Proteína.	45
2.1.2.1.1. Contenido de aminoácidos	47
2.1.2.1.2. Fracciones de proteína.	49
2.1.2.1.2.1. Método <i>in situ</i> .	49
2.1.2.1.2.1.1. Fracción soluble (fracción <i>a</i> ).	49
2.1.2.1.2.1.1.1. Nitrógeno no proteico (NNP).	50
2.1.2.1.2.1.1.2. Proteínas de alta solubilidad.	53
2.1.2.1.2.1.2. Fracción potencialmente degradable (fracción <i>b</i> ).	53
2.1.2.1.2.1.3. Fracción no degradable (fracción <i>c</i> ).	54
2.1.2.1.2.2. Método <i>in vitro</i> .	54
2.1.2.1.2.2.1. Fracción A.	54
2.1.2.1.2.2.2. Fracción B <sub>1</sub> .	54
2.1.2.1.2.2.3. Fracción B <sub>2</sub> .	55
2.1.2.1.2.2.4. Fracción B <sub>3</sub> .	55
2.1.2.1.2.2.5. Fracción C.	56
2.1.2.1.2.3. Proteína degradable y no degradable en rumen.	57
2.1.2.1.2.4. Digestibilidad posruminal de la proteína.	57
2.1.2.2. Extracto etéreo.	60
2.1.2.2.1. Ácidos grasos saturados.	61
2.1.2.2.2. Ácidos grasos insaturados.	61
2.1.2.3. Fibra en detergente neutro.	62
2.1.2.3.1. Hemicelulosa.	63
2.1.2.3.2. Celulosa	64
2.1.2.3.3. Lignina.	65
2.1.2.4. Carbohidratos no estructurales.	66
2.1.2.5. Cenizas y macrominerales.	68
2.1.2.5.1. Cinética de la liberación ruminal de macrominerales.	71
2.1.2.5.2. Liberación posruminal de macrominerales.	73
2.1.3. Conclusiones	75
Abstract	75
Bibliografía.	76
<b>2.2. Valor nutricional del pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i> Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): II. Contenido de energía, consumo, suplementación y eficiencia nutricional.</b>	99
Resumen	99
2.2.1. Introducción.	100
2.2.2. Contenido de energía.	101
2.2.3. Consumo de materia seca (CMS)	103
2.2.4. Potencial para producción de leche.	109
2.2.5. Sistemas de pastoreo y suplementación alimenticia.	110
2.2.6. Calidad de la leche.	115
2.2.7. Eficiencia en el uso del N.	118
2.2.8. Conclusiones.	123

Abstract	123
Bibliografía.	124
<b>2.3. El papel de la insulina en la regulación de la síntesis de proteínas lácteas en bovinos.</b>	143
Resumen	143
2.3.1. Introducción.	143
2.3.2. Estructura, síntesis, secreción y metabolismo de la insulina.	144
2.3.3. Regulación de la síntesis y secreción de insulina.	145
2.3.4. Mecanismos de acción de la insulina.	148
2.3.5. Papel de la insulina en la partición de nutrientes en la vaca lactante.	149
2.3.6. Transportadores de glucosa.	153
2.3.7. Mecanismos moleculares asociados a la síntesis de proteínas lácteas	157
2.3.8. Conclusiones.	158
Abstract	158
Bibliografía.	159

### **CAPITULO 3. ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE MATERIA SECA EN VACAS HOLSTEIN BAJO PASTOREO**

	168
3.1. Resumen	168
3.2. Introducción	169
3.3. Materiales y métodos	171
3.3.1. Localización	171
3.3.2. Animales experimentales	171
3.3.3. Experimentos	172
3.3.4. Recolección total de heces.	172
3.3.5. Determinación de la FDAi <sub>iv</sub> .	174
3.3.6. Determinación de la FDAi <sub>is</sub> .	175
3.3.7. Análisis químicos.	175
3.3.8. Estimación de las heces producidas.	176
3.3.9. Estimación de la digestibilidad de la materia seca (DMS).	176
3.3.10. Estimación del consumo de materia seca del forraje (CMSf)	176
3.3.11. Análisis estadísticos.	177
3.4. Resultados y Discusión.	179
3.4.1. Animales experimentales.	179
3.4.2. Composición química de las praderas y los suplementos alimenticios.	179
3.4.3. Recolección de heces.	181
3.4.4. Porcentaje de recuperación del Cr en las heces.	182
3.4.5. Recolección total y estimación de la producción de heces.	184
3.4.6. Determinación de la FDAi por los métodos <i>in situ</i> e <i>in vitro</i> .	184
3.4.7. Estimación de la DMS.	186
3.4.8. CMS del forraje (CMSf) estimada con la FDAi <sub>is</sub> y la FDAi <sub>iv</sub> .	187
3.4.9. Comparación en la estimación del CMS utilizando la FDAi <sub>is</sub> como marcador interno con las ecuaciones del NRC (2001) y del SCPNS (Fox et al 2003).	188
3.5. Conclusiones.	190
Agradecimientos.	191
Abstract.	191

Bibliografía.	192
3.6. ANEXO.	203
<b>CAPITULO 4. INCUBACIÓN POSRUMINAL DE BOLSAS MÓVILES DE NYLON MEDIANTE UNA SONDA DE INCUBACIÓN ABOMASAL</b>	204
4.1. Resumen.	204
4.2. Introducción.	204
4.3. Materiales y métodos.	205
4.3.1. La sonda de incubación abomasal (SIA).	205
4.3.2. Manejo de la SIA.	207
4.3.3. Localización.	207
4.3.4. Animales experimentales.	208
4.3.5. Ensayos.	208
4.3.6. Análisis estadísticos.	210
4.4. Resultados y discusión.	210
4.5. Conclusiones.	214
Agradecimientos.	214
Abstract.	214
Bibliografía.	215
<b>CAPITULO 5. EFECTO DEL NIVEL DE SUPLEMENTACIÓN SOBRE EL USO DEL NITRÓGENO, EL VOLUMEN Y LA CALIDAD DE LA LECHE EN VACAS HOLSTEIN DE PRIMERO Y SEGUNDO TERCIO DE LACTANCIA EN EL TRÓPICO ALTO DE ANTIOQUIA.</b>	218
5.1. Resumen	218
5.2. Introducción	219
5.3. Materiales y métodos	220
5.3.1. Localización	220
5.3.2. Animales experimentales	220
5.3.3. Tratamientos experimentales.	220
5.3.4. Periodo experimental y recolección de muestras.	222
5.3.5. Determinación de la degradabilidad ruminal de la PC.	223
5.3.6. Análisis químicos.	224
5.3.7. Determinación del contenido ENI del forraje.	225
5.3.8. Estimación del consumo de materia seca del forraje.	225
5.3.9. Balance y eficiencia en el uso del N.	225
5.3.10. Análisis estadístico.	225
5.4. Resultados y discusión	226
5.4.1. Composición química de las praderas.	226
5.4.2. Consumo de MS y de fracciones químicas.	227
5.4.3. Peso vivo, grado de condición corporal, producción y calidad de la leche.	233
5.4.4. Balance de N.	240
5.4.5. Excreción de urea por la leche y la orina.	243
5.4.6. Metabolitos sanguíneos.	245
5.5. Conclusiones	250
Agradecimientos	250
Abstract	250
Bibliografía	251

<b>CAPITULO 6. EFECTO DE LA FUENTE Y EL NIVEL DE INCLUSIÓN DE ALMIDÓN EN EL SUPLEMENTO ALIMENTICIO SOBRE LA PRODUCCION DE LECHE Y EL METABOLISMO ENERGETICO Y PROTEICO EN VACAS HOLSTEIN.</b>	273
6.1. Resumen	273
6.2. Introducción	274
6.3. Materiales y métodos	275
6.3.1. Localización	275
6.3.2. Animales experimentales	275
6.3.3. Tratamientos experimentales.	276
6.3.4. Periodos experimentales y recolección de muestras.	276
6.3.5. Determinación de la degradabilidad ruminal de la PC.	278
6.3.6. Análisis químicos.	279
6.3.7. Determinación del contenido ENI del forraje.	280
6.3.8. Estimación del consumo de materia seca del forraje.	281
6.3.9. Uso del N.	282
6.3.10. Análisis estadístico.	282
6.4. Resultados y discusión	283
6.4.1. Composición química y valor energético de las praderas y de los suplementos experimentales.	283
6.4.2. Degradabilidad ruminal.	285
6.4.3. Consumo de MS y de fracciones químicas.	288
6.4.4. Parámetros ruminales.	291
6.4.5. Peso vivo y grado de condición corporal.	293
6.4.6. Producción y calidad de la leche.	294
6.4.7. Uso del nitrógeno.	296
6.4.7. Glucosa y triacilglicéridos en sangre.	297
6.5. Conclusiones	298
Agradecimientos	298
Abstract	298
Bibliografía.	299
<b>CAPITULO 7. EFECTO DE LA OFERTA FORRAJERA SOBRE LA PRODUCCIÓN, LA CALIDAD DE LA LECHE Y EL BALANCE DE NITRÓGENO EN VACAS HOLSTEIN PASTOREANDO UNA PRADERA DE KIKUYO (<i>Pennisetum clandestinum</i>).</b>	314
7.1. Resumen	314
7.2. Introducción	315
7.3. Materiales y métodos	316
7.3.1. Localización	316
7.3.2. Animales y tratamientos experimentales	317
7.3.3. Periodo experimental y recolección de muestras.	319
7.3.4. Cinética ruminal aparente de la MS y la PC.	320
7.3.5. Determinación de la digestibilidad posruminal de la MS.	321
7.3.6. Determinación del contenido ENI del forraje y el suplemento.	321
7.3.7. Estimación del consumo de materia seca del forraje (CMSf).	321
7.3.8. Estimación de la excreción de heces.	321
7.3.9. Uso del nitrógeno (N).	322
7.3.10. Análisis de laboratorio.	322
7.3.11. Variables de respuesta y análisis estadístico.	324

7.4. Resultados y discusión.	324
7.4.1. Composición química de la pradera y del suplemento alimenticio.	324
7.4.2. Degradabilidad ruminal.	325
7.4.3. Digestibilidad posruminal de la MS.	326
7.4.4. Consumo de materia seca, nutrientes y energía.	327
7.4.5. Parámetros ruminales.	329
7.4.6. Producción de leche, grado de condición corporal y peso vivo.	332
7.4.7. Calidad composicional de la leche.	335
7.4.8. Uso del N.	338
7.4.9. Metabolitos sanguíneos.	340
7.5. Conclusiones	341
Agradecimientos	341
Abstract	341
Bibliografía.	342

**CAPITULO 8. EFECTO DE LA EDAD DE REBROTE SOBRE EL CONSUMO, LA PRODUCCION Y CALIDAD DE LA LECHE Y LA EFICIENCIA EN EL USO DE UNA PRADERA DE PASTO KIKUYO (*Pennisetum clandestinum*).**

	353
8.1. Resumen	353
8.2. Introducción	354
8.3. Materiales y métodos	355
8.3.1. Localización	355
8.3.2. Animales y tratamientos experimentales	355
8.3.3. Periodo experimental y recolección de muestras.	356
8.3.4. Cinética de la degradabilidad ruminal de la MS y la PC.	358
8.3.5. Determinación del contenido ENI del forraje y el suplemento.	359
8.3.6. Estimación del consumo de materia seca del forraje (CMSf).	359
8.3.7. Estimación de la excreción de heces	359
8.3.8. Uso del nitrógeno (N).	360
8.3.9. Eficiencia en el uso de la pradera.	360
8.3.10. Análisis de laboratorio.	360
8.3.11. Análisis estadístico.	362
8.4. Resultados y discusión	363
8.4.1. Composición nutricional de las praderas.	363
8.4.2. Uso de las praderas.	364
8.4.3. Consumo de materia seca de las praderas y del suplemento.	366
8.4.4. Parámetros ruminales.	368
8.4.5. Peso vivo, grado de condición corporal, producción y la calidad de la leche.	369
8.4.6. Uso del nitrógeno.	371
8.4.7. Metabolitos sanguíneos.	372
8.5. Conclusiones	373
Agradecimientos	373
Abstract	373
Bibliografía	374
<b>9. CONSIDERACIONES FINALES.</b>	<b>385</b>
Bibliografía	395

<b>10. CONCLUSIONES</b>	404
<b>11. RECOMENDACIONES</b>	405

## **- AGRADECIMIENTOS -**

Los años me han enseñado que al final de todo lo único que me queda es la familia y es a ella, a mi familia, a quien le agradezco y le dedico este trabajo y en especial, a mi madre y a la memoria de mi padre, mis mejores maestros.

A mi hermana Victoria y a mis sobrinos Carlos Andrés y Maria Victoria por que estuvieron conmigo en momentos muy difíciles durante el trabajo de campo y su compañía fue un verdadero estímulo para no desfallecer.

Indudablemente el Doctor Juan Evangelista Carulla Fornaguera merece mis más profundos agradecimientos no solo por que me invitó a trabajar con él si no por todo el trabajo que hizo conmigo. La inmensa paciencia con la que se dedicó a revisar y corregir el proyecto, las labores de campo pero, sobre todo, a revisar con detalle y con mesura cada dato, cada palabra, cada frase y cada idea que iban haciendo parte de este informe, merece mi reconocimiento y gratitud infinitas. Hasta el último minuto estuvo pendiente de mi labor... es inolvidable!

La Doctora Martha Lucía Pabón Restrepo fue un gran apoyo intelectual y moral para mí. Siempre estuvo atenta a mis avances, colaborando con las revisiones de los informes y de las labores de campo. Su presencia fue imprescindible e hizo más alentador, llevadero y gratificante los difíciles momentos que se aparecieron con tanta frecuencia.

Los trabajadores del Centro de Producción Paysandú y en especial don Luís Alberto Echavarría y Neftalí Ortiz, merecen mi más profundo agradecimiento por toda la colaboración que me brindaron durante el trabajo de campo.

A Angel, María Eugenia, Cristina, Boris, Jhon y Luz Sira por toda la colaboración que me brindaron durante las múltiples, largas y no pocas veces inesperadas visitas al Laboratorio de Bromatología para adelantar mis análisis.

A CEAGRO por toda la colaboración que me brindaron para la ejecución de las labores de campo en el Centro de Producción Paysandú.

A Hugo Andrés Tamayo del Laboratorio de Alimentos para Animales del Centro de Producción San Pablo por el esmero que le ponía a la elaboración de lo alimentos experimentales.

Al profesor Rubén Darío Galvis Góez, por haberme cubierto en mis cursos durante mi permanencia en el doctorado.

A todos aquellos que estuvieron pendientes de mí y de los avances con este proyecto de vida... mil gracias!

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, sede Medellín, por brindarme la oportunidad de realizar mi doctorado.

A COLCIENCIAS por el apoyo financiero que me brindaron para el desarrollo de este trabajo (Proyecto 1101-405-20172 de 2007).

## PUBLICACIONES

Hasta el momento en que se presenta este informe y asociados con el desarrollo de este proyecto de investigación, se publicaron cuatro ponencias en eventos nacionales, cuatro artículos de revisión de literatura, dos artículos de investigación asociados a técnicas de investigación utilizadas durante el trabajo de campo y un artículo de investigación con los resultados de uno de los cuatro experimentos que se desarrollaron.

### Resúmenes de ponencias:

Correa H J, Carulla J E y Pabón M L 2007 Contenido de sodio y potasio en la leche y su relación con la concentración de proteína. IX Encuentro Nacional de Investigadores en Ciencias Pecuarias, Universidad de Antioquia, Medellín. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias; 20 (4): 620. ISSN: 0120-0690.

Correa H J, Pabón M L y Carulla J E 2009. Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo. Memorias del Primer Simposio en Producción Animal, Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, Vol 62 (Supl. 1): 25 ISSN: 0304-2847.

Correa H J, Pabón M L y Carulla J E 2009. Balance y eficiencia en el uso del nitrógeno en vacas Holstein lactantes bajo pastoreo. Memorias del Primer Simposio en Producción Animal, Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, Vol 62 (Supl. 1): 34. ISSN: 0304-2847.

Correa H J, Pabón M L y Carulla J E 2009 Efecto del nivel de suplementación alimenticia sobre el uso del nitrógeno en vacas Holstein con oferta forrajera restringida. X Encuentro Nacional de Investigadores en Ciencias Pecuarias, Universidad de Antioquia, Medellín. Rev Col Cienc Pec., 22 (3): 527. ISSN: 0120-0690.

### Artículos de revisión de literatura:

Correa H J, Pabón M L y Carulla J E 2008 Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. Livestock Research for Rural Development. Volume 20 (4), Article # 59 ISSN: 0121-3784.

Correa H J, Pabón M L y Carulla J E 2008 Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): II. Contenido de energía, consumo, producción y eficiencia nutricional. Livestock Research for Rural Development, 20 (4), Article # 61 ISSN: 0121-3784.

Correa H J y Echeverri N P 2009 El papel de la insulina en la regulación de la síntesis de proteínas lácteas en bovinos Rev Colomb Cienc Pecu; 22:597-606. ISSN: 0120-0690.

Correa H J 2009 Producción de leche con base en pasturas: el caso de los hatos especializados en Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, Vol 62 (Supl. 1): 1-5. ISSN: 0304-2847.

**Artículos sobre técnicas de investigación:**

Correa H J, Pabón M L y Carulla J E 2009 Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. Livestock Research for Rural Development 21 (4), Article # 59 ISSN: 0121-3784.

Correa H J, Rodríguez Y G y Jaimes L J 2010 Incubación posruminal de bolsas móviles de nylon mediante una sonda de incubación abomasal. Livestock Research for Rural Development. Volume 22 (157)

**Artículo original sobre resultados del proyecto de tesis:**

Correa H J, Pabón M L, Sánchez M Y y Carulla J E 2011 Efecto del nivel de suplementación sobre el balance y eficiencia en el uso del nitrógeno en vacas Holstein de primero y segundo tercio de lactancia bajo condiciones de pastoreo en el trópico alto de Antioquia. Livestock Research for Rural Development. Volume 23 (4)

**Artículos para ser sometidos a proceso de evaluación:**

Correa H J, Knowles M de las M, Muñoz A, Toro K, Galvis R D, Pabón M L y Carulla J E Efecto de la fuente y el nivel almidón en el suplemento alimenticio suministrado a vacas Holstein lactantes sobre la producción y calidad de la leche y sobre el metabolismo energético y proteico.

Correa H J, Rodríguez Y G, Pabón M L y Carulla J E Efecto de la oferta forrajera sobre la producción, la calidad de la leche y el balance de nitrógeno en vacas holstein pastoreando una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

Correa H J, Jaimes L J, Pabón M L y Carulla J E Efecto de la edad de rebrote sobre el consumo, la producción y calidad de la leche y la eficiencia en el uso de una pradera de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>1.1.</b> Composición química del pasto kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> , Hoechst. Ex Chiov.) en muestras recolectadas en varias localidades del departamento de Antioquia.	5
<b>1.2.</b> Consumo de materia seca y de FDN en vacas lactantes en Antioquia que consumieron pasto kikuyo y fueron suplementadas con alimentos comerciales.	9
<b>1.3.</b> Efecto de la oferta de forraje sobre el consumo de materia seca, la producción y composición de la leche.	11
<b>1.4.</b> Eficiencia en la utilización de la PDR para la síntesis de proteína microbiana en el rumen y absorción estimada de N-NH <sub>3</sub> en dietas basadas en pasto kikuyo y suplemento comercial.	13
<b>2.1.1.</b> Composición química del pasto kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> , Hoechst. Ex Chiov.) en muestras recolectadas en varias localidades del departamento de Antioquia.	45
<b>2.1.2.</b> Contenido de proteína cruda (PC) y de aminoácidos en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia a diferentes edades de corte.	48
<b>2.1.3.</b> Fracciones de la proteína cruda de muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia estimadas por el método <i>in situ</i> .	50
<b>2.1.4.</b> Contenido de proteína cruda y tres fracciones de la proteína en mezclas de pasto kikuyo y rye grass provenientes del altiplano cundi-boyacence.	55
<b>2.1.5.</b> Contenido de proteína cruda, nitrógeno insoluble en detergente neutro (NIDN), nitrógeno insoluble en detergente ácido (NIDA) y fracción B <sub>3</sub> en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia.	56
<b>2.1.6.</b> Proteína degradable (PDR) y no degradable en rumen (PNDR) en muestras de pasto kikuyo en Antioquia.	57
<b>2.1.7.</b> Digestibilidad posruminal de la PC en el pasto kikuyo evaluado mediante la técnica de las bolsas móviles de nilón y la técnica de los tres pasos.	58
<b>2.1.8.</b> Contenido de ácidos grasos en muestras de pasto kikuyo tomadas en la Sábana de Bogotá.	61
<b>2.1.9.</b> Contenido de fibra en detergente neutro, celulosa, hemicelulosa	

y lignina en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia.	64
<b>2.1.10.</b> Relación CNE:PDR en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia.	67
<b>2.1.11.</b> Contenido de minerales en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia.	69
<b>2.1.12.</b> Contenido de Cen, Ca, P, Mg y K del pasto kikuyo cosechado a 32 y 58 días de rebrote.	70
<b>2.1.13.</b> Parámetros de la cinética de liberación ruminal del Ca, P, Mg y K en pasto kikuyo cosechado a los 32 y 58 días de rebrote.	71
<b>2.1.14.</b> Liberación ruminal <i>in situ</i> a las 24 h, liberación posruminal y liberación total del calcio (Ca), el fósforo (P), el magnesio (Mg) y el potasio (K) del pasto kikuyo cosechado a los 32 y a los 58 días de rebrote.	74
<b>2.2.1.</b> Contenido de energía neta de lactancia (ENI) en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia.	102
<b>2.2.2.</b> Consumo de materia seca y de FDN de pasto kikuyo encontrado en Antioquia.	106
<b>2.2.3.</b> Composición química parcial y valor energético de los alimentos comerciales utilizados en la suplementación de vacas lactantes en Antioquia.	112
<b>2.2.4.</b> Composición química parcial y valor energético de los alimentos comerciales utilizados en la suplementación de vacas lactantes en Cundinamarca.	112
<b>2.2.5.</b> Composición química parcial y valor energético de los alimentos comerciales utilizados en la suplementación de vacas lactantes en Boyacá.	112
<b>2.2.6.</b> Estimación de la eficiencia en el uso del nitrógeno para la síntesis de proteínas lácteas a partir de la proteína consumida total (PCt) y de la proteína metabolizable (PM).	122
<b>2.3.1.</b> Efecto de la aplicación de la técnica del gancho euglicémico – hiperinsulinémico en vacas lactantes sobre la producción y composición de la leche (en porcentaje) y algunos parámetros sanguíneos.	152
<b>3.1.</b> Características de los animales utilizados en los dos experimentos.	179
<b>3.2.</b> Composición química de la pradera suministrada a las vacas	

experimentales en los dos experimentos.	180
<b>3.3.</b> Composición química de los suplementos alimenticios suministrados a las vacas experimentales en los dos experimentos.	181
<b>3.4.</b> Características de las heces recolectadas con los arneses.	182
<b>3.5.</b> Concentración y porcentaje de recuperación de Cr en las heces en los dos experimentos.	183
<b>3.6.</b> Recolección total y estimación de la producción de heces con el óxido de cromo sin y con la corrección por el porcentaje de recuperación.	185
<b>3.7.</b> Comparación en el contenido de FDAi promedio (% de la MS) de las muestras de alimentos y heces determinado por el método <i>in vitro</i> e <i>in situ</i> .	186
<b>3.8.</b> DMS de la dieta estimada a partir de la FDAi <sub>iv</sub> y la FDAi <sub>is</sub> corregidas por el porcentaje de recuperación en las heces.	187
<b>3.9.</b> CMS del forraje estimada a partir de la FDAi <sub>iv</sub> y la FDAi <sub>is</sub> corregidas por el porcentaje de recuperación en las heces.	188
<b>3.10.</b> Estimación del consumo de materia seca (CMS) (Kg/vaca/d) en las vacas experimentales utilizando marcadores y con la ecuación del NRC (2001) y con la ecuación del CNCPS (Fox et al 2003).	189
<b>3.11.</b> Comparación de la estimación del CMS calculado a partir del FDAi <sub>is</sub> y los valores estimados con la ecuación del NRC (2001) y la del CNCPS (Fox et al 2003).	190
<b>5.1.</b> Ingredientes utilizados en la elaboración de los suplementos suministrados a las vacas del primero y segundo tercio de lactancia.	221
<b>5.2.</b> Composición química y contenido energético promedio de las praderas suministradas a las vacas durante los tres bloques experimentales.	227
<b>5.3.</b> Efecto del nivel de suplementación alimenticia sobre el CMS <sub>f</sub> y el CMS <sub>t</sub> en vacas Holstein lactantes (n=6 para cada tratamiento).	229
<b>5.4.</b> Características climatológicas durante el segundo semestre de 2008 en el área de influencia del corregimiento de Santa Elena, Medellín (Antioquia).	230
<b>5.5.</b> Efecto del nivel de suplementación alimenticia sobre el el PV, el GCC, la producción de leche y la calidad de la leche en vacas Holstein lactantes (n=6 para cada tratamiento).	233

<b>5.6.</b> Efecto del nivel de suplementación alimenticia sobre el balance de N en vacas Holstein lactantes (n=6 para cada tratamiento).	241
<b>5.7.</b> Efecto del nivel de suplementación alimenticia sobre la excreción de urea en leche y orina (n=6 para cada tratamiento).	244
<b>5.8.</b> Efecto del nivel de suplementación alimenticia sobre algunos metabolitos sanguíneos en vacas Holstein lactantes (n=6 para cada tratamiento).	247
<b>6.1.</b> Ingredientes utilizados en la elaboración de los suplementos experimentales y contenido de nutrientes de los suplementos y de la pradera.	277
<b>6.2.</b> Degradabilidad ruminal de la MS y de la PC del maíz, la yuca, los suplementos experimentales y del pasto kikuyo así como de los almidones del maíz y de la yuca.	286
<b>6.3.</b> Efecto de la fuente y nivel de inclusión de almidón en el suplemento alimenticio sobre el consumo de materia seca, el consumo de nutrientes y de energía.	289
<b>6.4.</b> Efecto de la fuente y nivel de inclusión de almidón en el suplemento alimenticio sobre parámetros ruminales en vacas Holstein lactantes.	292
<b>6.5.</b> Efecto de la fuente y nivel de inclusión de almidón en el suplemento alimenticio sobre el PV, el GCC, la producción de leche y la calidad de la leche en vacas Holstein lactantes.	295
<b>6.6.</b> Efecto de la fuente y nivel de inclusión de almidón en el suplemento alimenticio sobre el uso del nitrógeno (N) en vacas Holstein lactantes.	296
<b>6.7.</b> Efecto de la fuente y nivel de inclusión de almidón en el suplemento alimenticio sobre el contenido de glucosa y colesterol en la sangre en vacas Holstein lactantes.	297
<b>7.1.</b> Composición de ingredientes y nutrientes del suplemento suministrado a las vacas experimentales.	318
<b>7.2.</b> Composición bromatológica (% de la MS) y contenido energético de la pradera de kikuyo en los dos bloques experimentales y del suplemento alimenticio.	325
<b>7.3.</b> Parámetros de la cinética ruminal y degradabilidad ruminal efectiva (DR) de la MS y de la PC del suplemento alimenticio y del pasto kikuyo.	326
<b>7.4.</b> Efecto de la oferta forrajera sobre el consumo de materia seca del	

forraje, del suplemento y total.	328
<b>7.5.</b> Efecto de la oferta forrajera sobre algunos parámetros ruminales.	330
<b>7.6.</b> Características iniciales y finales de los animales experimentales sometidos a dos ofertas forrajeras.	334
<b>7.7.</b> Efecto de la oferta forrajera sobre la calidad de la leche.	337
<b>7.8.</b> Efecto de la oferta forrajera sobre el uso del N (g/vaca/d).	338
<b>7.9.</b> Efecto de la oferta forrajera sobre el uso del N como porcentaje den N consumido.	339
<b>7.10.</b> Efecto de la oferta forrajera sobre la concentración de algunos metabolitos en la sangre de vacas Holstein lactantes.	340
<b>8.1.</b> Composición de ingredientes y nutrientes del suplemento suministrado a las vacas experimentales.	357
<b>8.2.</b> Composición nutricional (% de la MS) y contenido energético de kikuyo recolectado a 45.5 (Joven) y 79.5 (Maduro) días de rebrote.	363
<b>8.3.</b> Altura, material verde disponible, consumo y eficiencia en el uso de pasto kikuyo recolectado a 45.5 (Joven) y 79.5 (Maduro) días de rebrote.	365
<b>8.4.</b> Consumo y eficiencia en el uso de pasto kikuyo recolectado a 45.5 (Joven) y 79.5 (Maduro) días de rebrote.	367
<b>8.5.</b> Parámetros ruminales en vacas Holstein que pastorearon praderas de kikuyo con 45.5 (Joven) y 79.5 (Maduro) días de rebrote.	369
<b>8.6.</b> Características de las vacas Holstein que pastorearon praderas de kikuyo con 45.5 (Joven) y 79.5 (Maduro) días de rebrote.	370
<b>8.7.</b> Uso del nitrógeno en vacas Holstein que pastorearon praderas de kikuyo con 45.5 (Joven) y 79.5 (Maduro) días de rebrote.	371
<b>8.8.</b> Parámetros sanguíneos en vacas Holstein que pastorearon praderas de kikuyo con 45.5 (Joven) y 79.5 (Maduro) días de rebrote.	372
<b>9.1.</b> Contenido de PC, PDR, CNE y la relación CNE:PDR en las praderas usadas en los experimentos desarrollados en el proyecto.	386
<b>9.2.</b> Valores mínimos y máximos en la relación CNE:PDR en las dietas totales y en los suplementos alimenticios suministrados a los animales en los cuatro experimentos.	388

<b>9.3.</b> Contenido de FDN y ENI en las praderas de pasto kikuyo utilizadas en los experimentos realizados en este proyecto y los reportados en la Sabana de Bogotá.	390
<b>9.4.</b> Frecuencia de los genotipos AA, AB y BB en las vacas utilizadas en los cuatro experimentos <sup>1</sup> .	392
<b>9.5.</b> Coeficientes de variación (%) hallados en los experimentos para algunas de las variables y su comparación con los valores reportados en algunas referencias bibliográficas.	394

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>2.1.1.a.</b> Relación entre el contenido de N en el pasto kikuyo y el contenido de Nitratos. Contenido promedio de nitratos fue de $5250.9 \pm 3153.7$ ppm.	52
<b>2.1.1.b.</b> Ecuación de regresión entre el contenido de N en el pasto kikuyo y el logaritmo del contenido de Nitratos.	52
<b>2.1.2.</b> Curvas de liberación ruminal promedio de Ca, P, Mg y K en muestras de pasto kikuyo. Adaptado de Correa (2006b).	72
<b>2.1.3.</b> Valores promedio de la liberación efectiva de Ca, P, Mg y K en pasto kikuyo cosechado a los 32 y 58 días de rebrote. Adaptado de Correa (2006b).	73
<b>2.2.1.</b> Relación entre el consumo de materia seca del pasto kikuyo y la producción de leche en vacas holstein en Antioquia.	105
<b>2.2.2.</b> Relación entre el peso vivo en vacas Holstein en Antioquia y el consumo de materia seca del pasto kikuyo.	105
<b>2.2.3.</b> Relación entre el contenido de PC en la dieta y la PC en la leche en dietas basadas en pasto kikuyo en Antioquia.	116
<b>2.2.4.</b> Relación entre el contenido de PC en la dieta y la eficiencia en el uso del N ingerido para la síntesis de PC en la leche en dietas basadas en pasto kikuyo en Antioquia.	119
<b>2.2.5.</b> Flujo de proteína microbiana hacia el duodeno en función del consumo de materia seca en vacas holstein lactantes consumiendo pasto kikuyo (Tomado de Rueda et al 2006).	120
<b>2.3.1.</b> Cascadas de señalización de la insulina asociadas con la traslocación del GLUT-4 y la síntesis de proteínas (adaptado de Sheperd 2005).	148
<b>2.3.2.</b> Abundancia relativa del mRNA de la caseína en tejido mamario bovino mantenido en un medio de cultivo al que se adicionó de manera separada o en combinación insulina, hidrocortisona y prolactina (adaptado de Choi et al 1988).	157
<b>3.1.</b> Ecuaciones de regresión entre el CMS estimado con la ecuación del NRC (2001) (a) y la del CNCPS (Fox et al 2003).	190
<b>4.1.</b> Esquema de la sonda de incubación abomasal (SIA).	206
<b>5.1.</b> Producción de leche en vacas de primero y segundo tercio de	

lactancia bajo dos niveles de suplementación alimenticia.	235
<b>7.1.</b> Curvas de la cinética de degradación ruminal de la MS (a) y de la PC (b) del suplemento alimenticio y del pasto kikuyo.	326
<b>8.1.</b> Curvas de la cinética de degradación ruminal de la PC del pasto kikuyo cosechado joven y maduro.	363

## LISTA DE IMÁGENES

	<b>Página</b>
<b>3.1.</b> Arnés utilizado en la recolección total de heces.	173
<b>3.2.</b> Vaca experimental portando el arnés para la recolección total de las heces y el lazo para su captura y manipulación en el potrero.	174
<b>4.1.</b> Algunas de las BMN utilizadas en el cuarto ensayo.	206
<b>4.2.</b> Ubicación de las BMN dentro del inyector.	207

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Página</b>
<b>3.1.</b> Procedimiento en SAS (1999) para el análisis conjunto de los datos provenientes de dos o más estudios según St-Pierre (Comunicación personal 2008)	203

## GLOSARIO

**A:** Alto  
**a:** Fracción soluble  
**AGNE:** Ácidos grasos no esterificados  
**B:** Bajo  
**b:** Fracción potencialmente degradable  
**bH-MB:** Bosque húmedo montano bajo  
**BMN:** Bolsa móvil de nailon  
**Cen:** Cenizas  
**cm:** centímetros  
**CMSf:** Consumo de materia seca del forraje  
**CMSs:** Consumo de materia seca del suplemento  
**CMSt:** Consumo de materia seca total  
**CNE:** Carbohidratos no estructurales  
**CNF:** Carbohidratos no fibrosos  
**Cr:** Cromo  
**d:** Día  
**DE:** Degradabilidad efectiva  
**DEL:** Días en lactancia  
**Di:** Digestibilidad intestinal  
**diMSNDR:** Digestibilidad intestinal de la materia seca no degradada en rumen  
**dL:** Decilitro  
**DMS:** Degradación de la materia seca  
**DR:** Degradabilidad ruminal  
**dvCNE:** Digestibilidad verdadera de los carbohidratos no estructurales  
**dvEE:** Digestibilidad verdadera del extracto etéreo  
**dvFDN:** Digestibilidad verdadera de la fibra en detergente neutro  
**dvPC:** Digestibilidad verdadera de la proteína cruda  
**EE:** Extracto etéreo  
**EUN:** Eficiencia en el uso del N consumido para la síntesis de proteínas lácteas  
**EUP:** eficiencia en el uso de la pradera  
**EN<sub>i</sub>:** Energía neta de lactancia  
**FDA:** Fibra en detergente ácido  
**FDA<sub>i</sub>:** Fibra en detergente ácido indigerible  
**FDA<sub>ih</sub>:** Fibra en detergente ácido indigerible en heces  
**FDA<sub>is</sub>:** Fibra en detergente ácido indigerible del suplemento alimenticio  
**FDA<sub>i</sub>:** Fibra en detergente ácido indigerible del forraje  
**FDA<sub>is</sub>:** Fibra en detergente ácido indigerible *in situ*  
**FDN:** fibra en detergente neutro  
**g:** gramo  
**GCC:** Grado de condición corporal  
**GI:** Grasa en leche  
**GLUT1:** Transportador de glucosa tipo 1  
**GLUT4:** Transportador de glucosa tipo 4  
**h:** horas  
**H:** heces  
**i:** Punto de inflexión  
**kd:** Constante de la cinética de degradabilidad ruminal  
**kg:** Kilogramo

**kp:** constante de la cinética de pasaje ruminal  
**L:** Litro  
**Lig:** Lignina  
**Mcal:** Mega calorías  
**mg:** Miligramo  
**mL:** Mililitro  
**MO:** Materia orgánica  
**MOF:** Materia ofrecida  
**MS:** Materia seca  
**MSDR:** Materia seca degradada en rumen  
**MSNDR:** Materia seca no degradada en el rumen  
**msnm:** metros sobre el nivel del mar  
**N:** Nitrógeno; concentración normal  
**Nbal:** Balance de nitrógeno  
**Ncons:** Nitrógeno consumido  
**Nconst:** Nitrógeno consumido total  
**Nexcrt:** Nitrógeno excretado total  
**Nheces:** Nitrógeno en las heces  
**Nleche:** Nitrógeno en la leche  
**N-NH3:** Amonio  
**Norina:** Nitrógeno en la orina  
**Ntej:** Nitrógeno aparentemente retenido en tejidos  
**NUL:** Nitrógeno ureico en leche  
**NUO:** Nitrógeno ureico en orina  
**NUT:** Nitrógeno ureico total  
**OF:** Oferta forrajera  
**p:** Probabilidad  
**PC:** Proteína cruda  
**PCIDA:** Proteína cruda insoluble en detergente ácido  
**PCIDN:** Proteína cruda insoluble en detergente neutro  
**PCI:** Proteína cruda en leche  
**PCQ:** Proteína cruda del queso  
**PDCN:** Producción de leche  
**PDR:** Proteína degradable en rumen  
**PMicr:** Proteína microbiana  
**PM:** Proteína metabolizable  
**PNDR:** Proteína no degradable en rumen  
**PV:** Peso vivo  
**r:** Coeficiente de correlación  
**r<sup>2</sup>:** Coeficiente de determinación  
**rpm:** Revoluciones por minutos  
**RQ:** Rendimiento quesero  
**ST:** Sólidos totales  
**t:** Tiempo  
**μEq:** Micro-equivalentes  
**μm:** Micrómetros

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue el de evaluar diferentes estrategias de manejo nutricional y alimenticio de la vaca lactante en los sistemas especializados de producción de leche, y su efecto sobre el contenido de proteína en la leche y su rendimiento quesero, así como sobre la eficiencia en el uso del nitrógeno para la síntesis de proteínas lácteas.

Para ello se realizaron cuatro experimentos en un hato de lechería especializada. En el primero se evaluó el efecto del nivel de suplementación (1.0 kg de suplemento por cada 2.5 y 3.5 kg de leche por encima de los primeros 10 litros de leche producidos) en vacas adultas durante el primer tercio (<100 días de lactancia) y segundo tercio (>100<200 días de lactancia) de lactancia en un arreglo factorial 2 x 2. En el segundo experimento se evaluó el efecto de la fuente (maíz y yuca) y el nivel de inclusión de almidones (30 y 50%) en el suplemento alimenticio de vacas adultas de segundo tercio de lactancia en un arreglo factorial 2x2. En el tercero se evaluó el efecto de la oferta forrajera (2.5 (OFBaja) y 3.5 kg de materia seca (MS)/100 kg de peso vivo (PV) (OFAlta)) en un diseño de sobrecambio con dos periodos experimentales. En el cuarto se evaluó el efecto de la edad de rebrote de la pradera (45.5 (Joven) ó 79.5 (Maduro) días de rebrote) en un diseño de sobrecambio con dos periodos experimentales. Todos los experimentos se realizaron con vacas Holstein en praderas de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

Los dos primeros experimentos se realizaron en una época en la cual la intensidad de las lluvias limitaron el crecimiento de la pradera y, por lo tanto, la oferta forrajera (OF) se mantuvo restringida. En el primer experimento y bajo estas condiciones se encontró que el incremento en la suplementación alimenticia a vacas lactantes mejora la producción de leche en el primer tercio sin modificar su composición y sin afectar el metabolismo energético y proteico ni el uso del N. Las vacas del segundo tercio muestran una respuesta limitada al incremento en la suplementación alimenticia. En el segundo experimento se encontró que el reemplazo de carbohidratos no estructurales de la harina de maíz por harina de yuca en el suplemento, puede modificar la proporción de acetato y butirato ruminal así como el uso del N sin que se altere el consumo del forraje, la

producción y composición de la leche y los indicadores sanguíneos del metabolismo energético. En el tercer experimento se encontró que comparada con una OF de 2.5, la de 3.5 kg de MS/100 kg de PV mejora el CMSf, mantiene el peso de los animales pero reduce la eficiencia en el uso del N sin afectar la producción y calidad de la leche. Finalmente, en el cuarto experimento se halló que la edad de pastoreo afecta parcialmente la composición nutricional y el rendimiento del pasto kikuyo sin afectar su consumo y la producción y calidad de la leche.

**Palabras clave:** almidones, edad de rebrote, metabolismo ruminal, oferta forrajera, proteína microbiana, producción de leche, suplementación alimenticia

## ABSTRACT

To evaluate some nutritional and feeding strategies to lactating cow in specialized dairy herds and their effects on the milk production, milk protein content, cheese yield and the efficiency in the nitrogen use for the milk proteins synthesis, were carried out four experiments with mature Holstein cows grazing kikuyo grass (*Pennisetum clandestinum*).

In the first one was evaluate the effect of the level of concentrate supplementation (1.0 kg supplement/2.5 and 3.5 kg of milk above the first 10 kg of milk produced) during the early (<100 days of nursing) and mid lactation (>100 <200 days of nursing) in a 2x2 factorial arrangement. In the second experiment was evaluate the effect of the source (corn and cassava) and the level of inclusion of starches (30 and 50%) in the concentrate supplement during mid lactation in a factorial arrangement 2x2. In the third experiment was evaluate the effect of the forage allowance (2.5 (LFA) and 3.5 kg of dry matter (MS)/100 kg body weight (HFA)) in a cross-over design with two experimental periods (14 days). In the fourth one was evaluate the effect of the regrowth age of the prairie (45.5 (Young) or 79.5 (Mature) days) in a cross-over design with two experimental periods (14 days).

The two first experiments were carried out in a time in which the intensity of the rains limited the growth of the prairie and, for the so much one, the forage allowance (FA) stayed restricted. In the first experiment and under these conditions it was found that the increment in the concentrate supply to dairy cows improves the production of milk in early lactation but without modifying its composition and without affecting the energy and protein metabolism neither the use of the N. The cows of the mid lactation show a limited answer to the increment in the concentrate supplementation. In the second experiment it was found that the substitution of non structural carbohydrates of the corn flour for cassava flour in the supplement, it can modify the proportion of ruminal acetate and butyrate as well as the use of the N without affecting forage intake, milk production and milk composition and the blood indicators of the energy metabolism. In the third experiment it was found that a FA of 3.5 kg of MS/100 kg of body weight increases the forage intake while maintains the weight of the animals and it reduces the

efficiency in the use of the N without affecting the production and quality of the milk. Finally, in fourth experiment was found that the older grass have less protein and more fiber without affecting its consumption and the production and quality of the milk.

**Key words:** concentrate supply, ruminal metabolism, forage allowance, microbial protein, milk yield, regrowth age, starches



## CAPITULO 1.

### INTRODUCCION

#### **Producción de leche con base en pasturas: El caso de los hatos especializados en Colombia<sup>1</sup>**

##### **1.1. Resumen.**

*La leche proveniente de los sistemas de producción especializados en Colombia, se caracteriza por un bajo contenido de proteína cruda y un alto contenido de urea que reducen su valor nutricional e industrial y disminuyen el precio del pago al productor. Todo ello ha puesto en riesgo la competitividad de estos sistemas productivos y la estabilidad económica de las miles de familias que viven de ellos. Con la finalidad de establecer la relación existente entre el manejo nutricional y el metabolismo energético y proteico en vacas lactantes y la concentración de proteína en la leche, se revisaron los trabajos más importantes que se han realizado en los últimos años en los sistemas especializados de producción de leche en el país enfatizando en aquellos relacionados con la calidad nutricional del pasto kikuyo, el manejo del pastoreo, la oferta forrajera y la suplementación alimenticia, así como en los que se han analizado metabolitos y hormonas relacionadas con el estatus energético y proteico de los animales. Se destaca el alto contenido de proteína cruda y fibra en detergente neutro así como el bajo contenido de carbohidratos no estructurales en el pasto kikuyo como los componentes nutricionales más importantes que estarían limitando la síntesis y concentración de proteínas en la leche. La oferta forrajera y la variabilidad en la cantidad y calidad de los suplementos alimenticios se constituyen en otros factores claves en esta respuesta productiva. Se concluye que la complejidad de los mecanismos involucrados en la síntesis y concentración de proteína en la leche bajo estos sistemas de producción, exige tener que profundizar en el estudio de otros metabolitos y otras hormonas posiblemente involucrados en la síntesis y concentración de proteínas en la leche, así como en los mecanismos a través de los cuales se regula la expresión de los genes que codifican estas proteínas.*

---

<sup>1</sup> Una versión resumida se publicó como: Correa C Héctor J 2009 Producción de leche con base en pasturas: el caso de los hatos especializados en Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, Vol 62 (Supl. 1): 1-5. ISSN: 0304-2847.

**Palabras clave:** lechería especializada, pasto kikuyo, proteínas lácteas, suplementación alimenticia

## **1.2. Introducción.**

De los tres sistemas de producción de leche que existen en Colombia (doble fin, doble propósito y lechería especializada) (Arias et al 1990), los sistemas especializados aportan un poco más del 50% de la leche producida aunque solo poseen alrededor del 11.6% de la población bovina bajo ordeño (Osorio 2004). La leche proveniente de estos sistemas de producción se caracteriza por presentar un bajo contenido de proteína (Londoño et al 2005, Meneses 2005, Pérez 2000) y un elevado contenido de nitrógeno ureico el cual, además, se incrementa en la medida en que el contenido de proteína se reduce (Alcaráz et al 2001, Zabala 2000) como ha sido reportado por otros autores (Marques et al 2006). Una menor concentración de proteína y un mayor contenido de nitrógeno ureico implican un menor valor nutricional de la leche y un menor rendimiento en la producción de quesos (Coulon et al 1998, Mackle et al 1999a, Metwalli y Boekel 1996, Verdier-Metza et al 2001) todo lo cual reduce el precio que reciben los productores por esta leche (Castro 2004, Pérez 2000) poniendo en riesgo la competitividad y sostenibilidad de estos sistemas de producción y, por lo tanto, la estabilidad económica de las miles de familias que viven de los mismos.

Lo anterior justifica la necesidad de avanzar en la comprensión de los factores que afectan el contenido de proteína en la leche ya que como lo señalan algunos autores (Hanigan et al 2002, Johnston et al 2004), hasta tanto no exista claridad sobre los mecanismos que regulan la concentración de las proteínas en la leche no se podrán diseñar estrategias nutricionales y alimenticias que, de manera efectiva, permitan incrementar dicha concentración. Parece haber un consenso en que el estatus energético y proteico de los animales determina, en gran medida, el contenido de proteínas lácteas (Grinari et al 1997, Hanigan et al 2001, 2002).

Por ello, el objetivo de este trabajo fue revisar la información que se ha generado en los últimos años sobre la nutrición y el metabolismo energético y proteico de las vacas lactantes en los sistemas especializados que predominan en Colombia y su relación con la concentración de las proteínas en la leche.

### **1.3. Concentración de proteína en la leche.**

Entre el 95 y el 97% de la proteína cruda de la leche es proteína verdadera y de esta, entre el 85 y el 90% corresponde a las caseínas (Coulon et al 1998, DePeters y Ferguson 1992). El nitrógeno no proteico está constituido por una variedad de compuestos nitrogenados de los que la urea puede representar el 50% (DePeters y Ferguson 1992). Los datos reportados sobre el contenido de proteína en la leche proveniente de los sistemas especializados en el país son normalmente bajos. Así, mientras que Meneses (2005) encontró un promedio de  $3.13 \pm 0.14\%$  en el contenido de proteína en la leche proveniente de 42 hatos del oriente y norte de Antioquia, Londoño et al (2005), encontraron un promedio de  $2.97 \pm 0.11\%$  para esta variable en muestras de leche provenientes del municipio del Santuario, al oriente de Antioquia, mostrando, además, una variación en función de la época del año. El promedio reportado por Torres y Carulla (2003) en el altiplano cundiboyacense es, incluso, más bajo que los reportados en Antioquia ( $2.92 \pm 0.16\%$ ). En Nueva Zelanda, por el contrario, el nivel promedio de proteína en la leche es de 3.5% (Hughes y Gray 2005).

El contenido promedio de nitrógeno ureico en la leche (NUL) proveniente de estos sistemas de producción es normalmente alto superando los niveles críticos sugeridos por Jonker et al (1999). Adicional a esto, el NUL ha mostrado una variación inversamente correlacionada con el contenido de proteína en la leche (Alcaráz et al 2001, Zabala 2000) y directamente correlacionada con el contenido de proteína cruda (PC) en la dieta (Abreu y Petri 1998). Esto explica la relación negativa hallada entre el contenido de PC en la dieta y el de la leche que resulta de analizar los datos de cuatro trabajos realizados en Antioquia (Alcaráz et al 2001, Betancur y Trujillo 2004, Delgado 2002, Saldarriaga y Soto 2004) y coincidiendo con la correlación negativa reportada por Lyatuu y Eastridge (1999) entre estas las mismas variables.

Factores tanto genéticos como ambientales son responsables de la concentración y variación de la proteína en la leche (Murphy y O'Mara 1993, Stalling 2002, Uribe y Smulders 2004). Welper y Freeman (1992) estimaron que la heredabilidad del porcentaje de proteína en la leche de vacas Holstein fue 0.45 y estimaron, así mismo, que la correlación entre esta característica y el volumen de leche producido fue negativa (-0.47). Echeverri (2000), por su parte, estimó que la heredabilidad del porcentaje de proteína en la leche de vacas Holstein en cinco hatos lecheros del Departamento de

Antioquia fue más alta (0.66) que la reportada por otros autores. Este mayor valor, sin embargo, parece ser debido al método de estimación de la heredabilidad (relación intraclase de hermanos paternos) y al bajo número de animales analizados (cerca de 130 vacas).

No obstante que, en general, el porcentaje de proteína posee una heredabilidad similar a la del porcentaje de grasa (Welper y Freeman 1992), la respuesta que se observa en esta característica a cambios en la dieta es menor que en el porcentaje de grasa (Jenkins y McGuire 2006, McRae et al 2000, Walker et al 2004) sugiriendo que los genes responsables de codificar las proteínas de la leche son menos sensibles a cambios nutricionales que aquellos que codifican la síntesis de las grasas. Esto no significa, sin embargo, que a través de modificaciones en la nutrición y la alimentación de las vacas, no se pueda alterar la concentración de proteínas en la leche.

#### **1.4. Caracterización de los sistemas de producción de leche especializados en Colombia.**

Tratar de comprender la relación existente entre la nutrición y el metabolismo energético y proteico de las vacas en los sistemas especializados de producción de leche en el país y la concentración de proteínas lácteas, debe partir necesariamente de la caracterización nutricional del sistema de alimentación predominante.

##### **1.4.1. Características nutricionales de los pastos y suplementos alimenticios.**

Un porcentaje elevado de los sistemas de producción de leche especializados en el país están basados en el pastoreo rotacional con cerca eléctrica y la suplementación con alimentos comerciales (Arias et al 1990, Concejo Regional de la Cadena Láctea de Antioquia 2001, Osorio 2004, Rivera et al 1998).

##### **1.4.1.1. Composición nutricional del pasto kikuyo y los suplementos alimenticios.**

Durante muchas décadas el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst. Ex Chiov.) ha sido la base de la alimentación en estos sistemas de producción en Colombia (Carulla et al 2004, Concejo Regional de la Cadena Láctea de Antioquia 2001, Laredo y Mendoza 1982, Mila y Corredor 2004, Soto et al 1980). Esto se debe a que su hábito de crecimiento lo hace sumamente agresivo ante la invasión de otras forrajeras (Youngner et al 1971, Fukumoto y Lee 2003), a que es resistente al pisoteo (Hernández et al 2000,

Miles et al, 2000) y a que responde positivamente a la fertilización orgánica (Mila y Corredor 2004, Orozco 1992) y química (Rodríguez 1999, Urbano 1997) incrementando tanto la disponibilidad de forraje (Urbano 1997) como su contenido de PC (Orozco 1992, Rodríguez 1999, Soto et al 1980, Urbano 1997).

El contenido de PC promedio en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia, 20.5% (Correa 2006) (Tabla 1.1), es similar al reportado por otros autores en este Departamento (Naranjo 2002, Osorio 1999) y por Carulla et al (2004) en muestras recolectadas en el altiplano cundiboyacense. Dicho valor, sin embargo, es ligeramente superior al requerimiento de PC para vacas Holstein de alta producción al inicio de la lactancia (NRC 2001) lo que indica que en general, el pasto kikuyo aporta más proteína que la requerida por los animales a lo largo del periodo productivo. Este alto contenido de PC en las praderas de pasto kikuyo se debe a los intensos planes de fertilización nitrogenada a las que son sometidas lo que, además, modifica las características químicas y nutricionales de la PC manifestándose en un incremento en el contenido de nitrógeno no proteico, particularmente de nitratos (Carulla et al 2004, Correa 2006, Marais 2001).

**Tabla 1.1.** Composición química del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Hoechst. Ex Chiov.) en muestras recolectadas en varias localidades del departamento de Antioquia<sup>1</sup>.

	PC <sup>2</sup>	EE	Cen	FDN	FDA	CNE
Porcentaje de la MS						
Promedio	20.46	3.63	10.60	58.06	30.29	13.40
Máximo	27.10	4.71	13.94	66.90	32.80	17.21
Mínimo	15.37	1.63	8.65	51.72	28.30	8.93
C. V., %	15.87	22.57	16.10	6.73	3.95	18.74
N	39	27	27	36	19	23

<sup>1</sup> Correa (2006)

<sup>2</sup> PC = proteína cruda; EE = extractor etéreo; Cen = cenizas; FDN = fibra en detergente neutro; FDA = fibra en detergente ácido; CNE = carbohidratos no estructurales (CNE = 100 – (PC + EE + FDN + Cen) + PCIDN, NRC 2001).

El pasto kikuyo presenta un bajo contenido de la mayoría de aminoácidos esenciales como lo demuestran los datos obtenidos por Echeverri y Parra (2001) en muestras recolectadas en el oriente antioqueño. El perfil de aminoácidos de estas muestras (como porcentaje de la PC) indica que los aminoácidos esenciales con menor concentración en esta gramínea comparado con el de la proteína microbiana ruminal (Clark et al 1992)

son en su orden, lisina, metionina, isoleucina, treonina, leucina, arginina y valina. Esto los convertiría en los aminoácidos más limitantes si se considera que una fracción importante de la proteína de este pasto escapa a la degradación ruminal y es digerida en el tracto post-ruminal (Caro y Correa 2006, Monsalve 2004). Cuando se compara con la torta de soya (NRC 2001), el pasto kikuyo muestra un menor contenido de arginina, histidina, lisina, leucina e isoleucina mientras que cuando es comparado con el pasto rye grass (*Lolium perenne*), muestra un menor contenido de metionina y cisteína (Reeves et al 1996).

Al contrario de lo observado en la PC, el contenido de carbohidratos no estructurales (CNE) en el pasto kikuyo es muy bajo (13.4% de la MS) (Tabla 1.1) (Kaiser et al 2001, Marais 2001, Miles et al 2000) lo que resulta más preocupante por el hecho de que en otros pastos ha sido reportada una correlación negativa y significativa entre el contenido de CNE y el de PC (Tas 2006). De esta manera, mientras mayor sea la aplicación de fertilizantes nitrogenados y, por ende, el contenido de PC en los pastos, menor será el contenido de CNE.

El contenido promedio de fibra en detergente neutro (FDN) y en detergente ácido (FDA) del pasto kikuyo (Tabla 1.1), por su parte, es superior al hallado en muestras de pasto rye grass cultivado bajo las mismas condiciones (Gaitán y Pabón 2003) coincidiendo con los resultados obtenidos por otros autores (Lee et al 2002, Smit et al 2005, Taweel et al 2005).

Con base en lo anterior se puede señalar que las características nutricionales del pasto kikuyo más limitantes para la producción de leche y proteínas lácteas son el alto contenido de PC y de FDN, así como el bajo contenido de CNE.

Los suplementos alimenticios utilizados en los sistemas de producción de leche especializados en Colombia, de otro lado, muestran una amplia variación tanto en su contenido de PC, como de FDN, FDA y CNE (Abreu y Petri 1998, Correa et al 2008a). Así, el contenido de PC oscila desde valores tan bajos como 9.2% hasta valores tan altos como 40.8% (Abreu y Petri 1998). La FDN ha alcanzado valores de 40.6% en muestras analizadas en Antioquia (Correa et al 2008a) mientras que la FDA, en muestras recolectadas en Boyacá, ha alcanzado un valor tan alto como 59.6% (Abreu y Petri

1998). El contenido de CNE, de otro lado, muestra un promedio de 34.3%, el cual es inferior al valor promedio recomendado por la NRC (2001) para vacas lactantes que es 40%.

#### **1.4.1.2. Degradabilidad ruminal y digestibilidad posruminal de la PC.**

El estudio de la degradación ruminal de la proteína del pasto kikuyo y de los suplementos alimenticios utilizados en los sistemas especializados de producción lechera en el país ha sido abordada bajo dos metodologías. En la sede de Medellín de la Universidad Nacional se ha utilizado fundamentalmente la técnica *in situ* (Ørskov y McDonald 1979) mientras que en la sede de Bogotá se ha empleado la técnica *in vitro* descrita por el Sistema de Carbohidratos y Proteína Neta de Cornell (Licitra et al 1996). Las diferencias más importante entre estas dos técnicas, aparte de las relacionadas con la metodología, reside en la discriminación que se hace de la fracción potencialmente degradable (fracción B del método *in situ*) en tres fracciones en el método de Cornell (B1, B2 y B3), así como la estimación de la constante de degradación ruminal (kd). En general, la fracción soluble (fracción A) del pasto kikuyo corresponde, en promedio, al 31.2% de la PC (Correa 2006) mostrando un incremento importante en función de la fertilización nitrogenada en detrimento de la fracción B (Rodríguez 1999). La fracción no degradable en el rumen (fracción C), que representa en promedio, el 12.7% de la PC, no parece modificarse por la fertilización nitrogenada (Rodríguez 1999) o puede manifestar un leve incremento (Messman et al 1992). La fracción A de los suplementos comerciales evaluados en Antioquia, por su parte, es más alta que en el pasto kikuyo (43.9%) indicando una degradabilidad ruminal inicial más alta, mientras que la fracción B en los suplementos comerciales es menor (36.6%) (Correa 2006).

Muy pocos trabajos han reportado datos de digestibilidad posruminal de alguna fracción nutricional del pasto kikuyo. En la Sede de Medellín de la Universidad Nacional de Colombia se han adelantado tres trabajos para estimar la digestibilidad posruminal de la proteína cruda (DPRPC) en este pasto. En el primer trabajo, Castañeda y Duque (2005) apelaron a la técnica de los Tres Pasos (Calsamiglia y Stern 1995) mientras que en el segundo, Monsalve (2004) utilizó bolsas móviles de nilón suministradas oralmente a cerdos en levante como modelo biológico (Mustafa et al 2000). Ambos trabajos evaluaron las mismas muestras de pasto kikuyo y se encontró que la técnica empleada por Monsalve (2004) dio un promedio más alto (58.6%) pero igualmente más coherente

con la evaluación total de estas muestras (Soto et al 2005), que el promedio obtenido por Castañeda y Duque (2005) (49.4%). El promedio obtenido por Monsalve (2004) para esta variable fue muy similar al reportado por Caro y Correa (2006) en un tercer experimento llevado a cabo posteriormente. Estos últimos autores emplearon igualmente bolsas móviles de nilón pero incubadas, en este caso, en vacas Holstein canuladas en el duodeno y encontrando que el promedio de DPRPC en muestras de pasto kikuyo fue 57.6%.

La fermentación ruminal de los CNE de la dieta es muy alta limitando la cantidad que escapa a la degradación ruminal y, por lo tanto, la que es digerida y absorbida intestinalmente (Van Soest 1994). Aunque es posible incrementar la cantidad de almidones que escapan a la fermentación ruminal, en la medida en que esto sucede se reduce su digestibilidad intestinal (Nocek y Tamminga 1991, Van Soest 1994) lo que parece estar asociado a una menor capacidad de secreción de amilasas en el intestino (Van Soest 1994).

#### **1.4.1.3. Valor energético del pasto kikuyo y los suplementos comerciales.**

Ha sido considerado que el valor energético de los forrajes es el primer factor limitante para la producción de leche en sistemas bajo pastoreo (Kolver 2003) y el pasto kikuyo no es la excepción. El contenido promedio de energía neta de lactancia (ENI) en muestras recolectadas en Antioquia y estimadas con la propuesta de Weiss et al (1992) es de 1.15 Mcal/kg de MS (Correa et al 2008b). En general, el contenido energético del pasto kikuyo es menor al de los rye grasses como ha sido demostrado por varios autores. Así, Gaitán y Pabón (2003) encontraron que el contenido de ENI de esta gramínea es aproximadamente 20% más bajo que el del rye grass perenne cuando son cultivados bajos las mismas condiciones. Los datos presentados por Meeske et al (2006) por su parte, indican que el contenido energético del rye grass perenne es entre 9.3 y 15% más alto que el del pasto kikuyo.

El contenido de ENI de estos suplementos alimenticios presenta, igualmente, una amplia variación. En Antioquia este valor oscila entre 1.47 y 1.91 Mcal/kg de MS (Correa et al 2008b) mientras que en Cundinamarca y Boyacá varía entre 0.81 y 1.97 Mcal/kg de MS (Abreu y Petri 1998).

#### 1.4.2. Consumo de forraje y suministro de suplementos comerciales.

Bajo condiciones de pastoreo, el consumo voluntario de materia seca ha sido identificado como el componente más limitante para la producción de leche (Kolver 2003, Bargo 2002, Bargo et al 2003, Taweel 2006). Aunque ha sido sugerido que el consumo de materia seca (CMS) del pasto kikuyo podría verse limitado por su alto contenido de humedad, el alto contenido de fibra, el bajo contenido de CNE y la baja palatabilidad producto de la presencia de nitratos y del bajo contenido de azúcares (Brand et al 1999, Marais 2001, Miles et al 2000), los datos encontrados en el país y los reportados por Fulkerson et al (2006) muestran una faceta menos crítica. El análisis de los datos hallados en cuatro trabajos realizados en Antioquia (Alcaráz et al 2001, Delgado 2002, Betancur y Trujillo 2004, Saldarriaga y Soto 2004) indican un consumo máximo de 16.4 kg de MS/vaca/d (Tabla 1.2) y una relación positiva entre el CMS y el nivel de producción de leche ( $r = 0.86$ ). Otros autores reportan valores más altos para este mismo pasto como son los hallados por Fulkerson et al (2006) quienes reportaron un valor máximo de 19.4 kg/vaca/d. Cuando el CMS se expresa en  $\text{gr/kg PV}^{0.75}$ , el valor máximo observado en Antioquia ( $144.5 \text{ gr/kg PV}^{0.75}$ ) (tabla 2) resulta ser muy superior al valor máximo reportado por otros autores en vacas lactantes (Marais 2001) y en animales en levante (Fushai 2006, Mann y Stewart 2003, Ramírez et al 1983, Salazar et al 1980).

**Tabla 1.2.** Consumo de materia seca y de FDN en vacas lactantes en Antioquia que consumieron pasto kikuyo y fueron suplementadas con alimentos comerciales<sup>1</sup>.

	Consumo						
	MSk <sup>2</sup> Kg/d	FDNk Kg/d	FDNt Kg/d	MSk, g/kg PV <sup>0.75</sup>	MSk, % PV	FDNk, % PV	FDNt, % PV
Promedio <sup>3</sup>	10.49	7.99	9.39	121.43	2.47	1.36	1.59
Máximo	16.92	9.55	10.98	144.53	2.99	1.62	1.88
Mínimo	3.83	6.03	7.45	91.09	1.84	1.00	1.23
C. V. %	42.91	11.94	10.13	10.75	10.84	11.27	9.64

<sup>1</sup> Resumen de los datos obtenidos por Betancur y Trujillo (2004) y por Saldarriaga y Soto (2004).

<sup>2</sup> MSk = material seca consumida del kikuyo, FDNk = FDN consumido del kikuyo, FDNt = FDN consumido total

<sup>3</sup> n = 20

Aunque el contenido de FDN se ha asociado negativamente con el CMS (Harris 1993, Mertens 1987, Belyea et al 1996) y se ha sugerido que existe un límite en el consumo de esta fracción (1.2 kg de FDN/100 kg de PV) (Mertens 1985), los resultados presentados por Fulkerson et al (2006) y los datos obtenidos en Antioquia con pasto kikuyo (Tabla 1.2) ponen cuestión dicho límite. Así, Fulkerson et al (2006) encontraron que el

consumo de FDN, como porcentaje del peso vivo, varía entre 1.6 y 2.2% en el caso del pasto kikuyo y entre 1.5 y 1.6% en el caso del rye grass, mientras que los valores hallados en Antioquia (Alcaráz et al 2001, Delgado 2002, Betancur y Trujillo 2004, Saldarriaga y Soto 2004), por su parte, indican que esta variable oscila entre 1.0 y 1.62. Estos resultados revelan que 1.2% del peso vivo como límite para el consumo de FDN, no es correcto coincidiendo con las conclusiones a las que llegan Rayburn y Fox (1993) sobre el mismo asunto.

La cantidad de suplementos suministrados a las vacas en producción varía entre 1.0 kg por cada 4.5 kg de leche en las vacas de menor nivel productivo hasta 1.0 kg por cada 3.9 kg de leche en las vacas de mayor nivel de producción (Osorio 2004). La manera como se suministra el alimento comercial en estos sistemas de producción también puede causar problemas ya que estos normalmente se ofrecen durante los ordeños y en altas cantidades durante el pico de la lactancia, generando por un lado asincronías en el suministro de los sustratos fermentables en el rumen (Agudelo y Puerta 2004, Montoya et al 2004), y por otro lado, un aumento abrupto en la cantidad de carbohidratos de rápida degradación. En el primer caso es de esperarse un uso menos eficiente del nitrógeno de la dieta y un incremento en el nitrógeno ureico con la sangre y la leche (Montoya et al 2004, Vaughan et al 2002) mientras que en el segundo caso es de esperarse un descenso marcado en el pH ruminal (Martínez y Vázquez 2002).

#### **1.4.3. Oferta forrajera.**

Dado que la oferta forrajera (OF) (cantidad diaria de pastura ofrecida por animal; kg MS/100 kg PV/d) presenta una estrecha relación con el CMS en pastoreo, este factor ha sido identificado como el más crítico para alcanzar altos CMS (Carulla et al 2004, Bargo et al 2003). Aunque no se ha definido la OF necesaria para maximizar el CMS (Bargo et al 2003), un estudio realizado recientemente por la Universidad Nacional de Colombia en la Sabana de Bogotá, sugiere que esto se logra cuando la OF alcanza valores que oscilan entre 4.0 y 5.0 kg de MS/100 kg PV/d (Tabla 1.3) (Escobar y Carulla 2003). En este estudio se observó una relación positiva entre el incremento en la OF con el CMS, el nivel de producción de leche y el contenido de PC en la leche hasta que la OF alcanzó 5.0 kg de MS/100 kg PV/d. El incremento en la OF por encima de este valor solamente mejoró el CMS. El análisis de los trabajos realizados en Antioquia (Alcaráz et al 2001, Delgado 2002, Betancur y Trujillo 2004, Saldarriaga y Soto 2004)

sugiere, por su parte, que el incremento en el CMS del pasto kikuyo por encima de 11.15 kg/vaca/d, conduce a la reducción en la concentración de PC en la leche. Las diferencias halladas en estos trabajos podrían radicar en el tipo de pradera utilizada, la suplementación alimenticia, el método para estimar el CMS y el análisis estadístico de los datos. Así mientras que los trabajos realizados en Antioquia fueron en condiciones de estabulación ofreciendo pasto kikuyo y suplementos comerciales, el trabajo realizado en la Sabana de Bogotá fue sin suplementación y en condiciones de pastoreo en praderas mezcladas de pasto kikuyo y rye grass. El CMS en los trabajos de Antioquia se calculó como la diferencia entre el forraje ofrecido y el rechazado, en tanto que en el trabajo realizado en la Sabana de Bogotá se estimó como la diferencia entre el material ofrecido y el material remanente en la pradera. Finalmente, es necesario anotar que los trabajos realizados en Antioquia se analizaron por regresión mientras que Escobar y Carulla (2003) adelantaron un análisis de varianza con una prueba de medias.

**Tabla 1.3.** Efecto de la oferta de forraje sobre el consumo de materia seca, la producción y composición de la leche<sup>1</sup>.

Característica	Oferta de forraje (Kg MS/100 Kg PV)			D. E. <sup>2</sup>
	3.0	5.0	7.0	
Consumo <sup>3</sup>				
Kg. M.S/vaca/día	12.71 <sup>a</sup>	19.14 <sup>b</sup>	23.47 <sup>c</sup>	0.8
Producción				
Kg./vaca/día	15.58 <sup>a</sup>	19.12 <sup>b</sup>	19.01 <sup>b</sup>	3.34
Concentración				
Proteína total,%	2.81 <sup>a</sup>	3.21 <sup>b</sup>	3.40 <sup>b</sup>	0.33
Grasa,%	3.58 <sup>a</sup>	3.56 <sup>a</sup>	3.68 <sup>c</sup>	0.05
Lactosa,%	4.56 <sup>a</sup>	4.78 <sup>b</sup>	4.80 <sup>b</sup>	0.11

<sup>1</sup> Escobar y Carulla (2003)

<sup>2</sup> D. E. = Desviación estándar

<sup>3</sup> Consumo = medición agronómica

<sup>a,b,c</sup> Valores con letra diferente tuvieron diferencias significativas  $p < 0.01$

El pastoreo rotacional que predomina en los sistemas de producción de leche especializada en el país, se caracteriza por que el acceso de los animales a la pastura esta controlado mediante una cerca eléctrica móvil que es desplazada entre una y seis veces al día siendo más frecuente el desplazamiento dos veces diarias, luego de cada ordeño. El tamaño de la franja que es asignada en cada desplazamiento de la cerca, se calcula empíricamente considerando tanto el número de animales como la

disponibilidad de la pastura. Aún así, es frecuente encontrar que el consumo de forraje es alto en las primeras horas luego de cada pastoreo y que este se reduce a medida que el pasto disponible en cada franja se va agotando (Agudelo y Puerta 2004). Esto indica que bajo este esquema de manejo el consumo de forraje por parte de los animales está restringido debido a una OF limitada. Agudelo y Puerta (2004) estudiaron el comportamiento en pastoreo de vacas Holstein lactantes en un hato lechero de Antioquia y encontraron que el porcentaje de animales pastoreando fue alto entre las 3:00 y 5:00 p. m. (> a 70%), medio entre las 8:00 y 10:00 a. m. (entre 30 y 70%) y bajo entre las 11:00 y 12:00 m. (< a 20%), es decir, poco antes de entrar a la sala de ordeño.

#### **1.4.4. Desbalances energéticos y protéicos en los sistemas de producción de leche especializada.**

Las características nutricionales del pasto kikuyo y de los suplementos alimenticios así como el manejo alimenticio en los sistemas de producción de leche especializados en el país, generan una serie de desbalances nutricionales, siendo los energéticos y proteicos los que más se relacionan con el bajo contenido de proteína en la leche. Así, mientras que el promedio de la proteína degradable en rumen (PDR) del pasto kikuyo en las muestras recolectadas en Antioquia es de 10.6% (55.2% de la PC), el de los CNE es de 13.4%. Esto da una relación CNE : PDR promedio de 1.28, la cual es mucho menor que el valor de 3.5 sugerido para maximizar la síntesis de proteínas microbianas (Rueda et al 2006). Adicional a esto, se ha observado que la relación CNE : PDR en el pasto kikuyo se reduce en la medida en que el contenido de PC del pasto se incrementa (Soto y Valencia 2004) lo cual indica que la eficiencia en el uso de la PDR para la síntesis de proteína microbiana ruminal se reduce en la medida en que el contenido de PC del pasto se incrementa. Así, mientras que el NRC (2001) estima que la eficiencia máxima en la síntesis de proteína microbiana en el rumen a partir de la PDR es de 85%, los datos reportados por Rueda y Taborda (2003) y por Mejía y Vargas (2004) en vacas Holstein consumiendo pasto kikuyo muestran que esta eficiencia es de solo 45.3 y 27.1%, respectivamente (Tabla 1.4). Esta menor eficiencia es básicamente el resultado de la baja disponibilidad de CNE en las dietas basadas en pasto kikuyo.

Los suplementos alimenticios comerciales que se utilizan en estos sistemas de producción no corrigen los desbalances presentados por el pasto kikuyo (Montoya et al 2004, Rueda et al 2006) debido a que también presentan un alto contenido de PDR

(65.0% de la PC) mientras que su contenido de CNE no alcanza a compensar el pobre aporte de CNE del pasto kikuyo (Correa 2006). La adición de una fuente rica en CNE, como lo es la papa, por el contrario muestra una respuesta positiva en la síntesis de proteína microbiana (Noguera et al 2006) y, por lo tanto, en el uso de la PDR (Montoya et al 2004). Es así como Noguera et al (2006) encontraron un incremento en la síntesis de proteína microbiana a medida que incrementaron el nivel de inclusión de papa deshidratada en un sistema *in vitro* con muestras de pasto kikuyo demostrando que efectivamente la deficiencia en el contenido de CNE es este pasto limita la síntesis de proteína microbiana en el rumen y, por ende, la eficiencia en el uso de la PDR. Montoya et al (2004), por su parte, reportaron una reducción en la concentración de urea en la sangre y la leche luego de la suplementación con papa a vacas lactantes consumiendo pasto kikuyo indicando un mejor uso de la PDR en el rumen.

**Tabla 1.4.** Eficiencia en la utilización de la PDR para la síntesis de proteína microbiana en el rumen y absorción estimada de N- NH<sub>3</sub> en dietas basadas en pasto kikuyo y suplemento comercial.

	<b>Rueda y Taborda, 2003</b>	<b>Mejía y Vargas, 2004</b>
<b>CPct<sup>1</sup>, kg/vaca/día</b>	2.19	3.80
<b>CPDRt<sup>2</sup>, kg/vaca/día</b>	1.43	2.38
<b>PMcrb<sup>3</sup>, kg/vaca/día</b>	0.65	0.65
<b>Efic<sup>4</sup>, %</b>	45.32	27.11
<b>PDRnf<sup>5</sup>, kg/vaca/día</b>	0.78	1.74
<b>N-NH<sub>3</sub><sup>6</sup>, kg/vaca/día</b>	0.13	0.28
<b>N-NH<sub>3</sub>, % de la CPDRt</b>	54.68	72.89
<b>N-NH<sub>3</sub>, % de la CPct</b>	35.74	45.65

<sup>1</sup> Consumo de PC total; <sup>2</sup> Consumo de PDR total; <sup>3</sup> Proteína microbiana sintetizada en el rumen; <sup>4</sup> Eficiencia en el uso de la PDR consumida para la síntesis de proteína microbiana; <sup>5</sup> PDR no fijada en proteína microbiana; <sup>6</sup> N amoniacal producto de la fermentación de la PDR.

La baja eficiencia en el uso de la PDR para la síntesis de proteína microbiana se puede considerar como el punto más crítico en el manejo nutricional y alimenticio de estos sistemas de producción implicando una pérdida de nitrógeno tanto para los microorganismos ruminales como para el animal hospedero (NRC 2001). Esta baja eficiencia a nivel ruminal es, así mismo, responsable en gran medida de la baja

eficiencia en el uso del nitrógeno consumido para la síntesis de proteínas lácteas en estos sistemas de producción como se desprende de los valores estimados a partir de los datos reportados por Mejía y Vargas (2004), Caro y Correa (2006) y Monsalve (2004). De acuerdo con dichos trabajos el promedio de esta eficiencia es 21.6% mientras que en otras latitudes se reportan promedios más altos. Así, Jonker et al (1998) reportan un promedio de 28.3% en tanto que Lapierre et al (2005) reportan un promedio de 31.8%. En el caso de los no-rumiantes esta eficiencia es mucho mayor alcanzando valores que van desde 55% en aves de postura (Ángeles y Gómez 2005) hasta 85% en cerdos en crecimiento (Batterham et al 1990). En estos últimos un porcentaje muy importante del nitrógeno consumido y absorbido es en forma de aminoácidos en tanto que en el caso de los rumiantes un porcentaje alto del nitrógeno de la dieta es transformado en amoníaco (N-NH<sub>3</sub>) en el rumen y como tal, es absorbido (Lewis et al 1957). Por ello, cuando la eficiencia en el uso del nitrógeno para la síntesis de proteínas lácteas en Antioquia fue estimada a partir de la proteína metabolizable y no a partir de la proteína consumida (Correa et al 2008b), se obtuvieron valores cercanos al de no-rumiantes (48.2%). Esto sugiere que la diferencia entre estos dos valores (21.6 y 48.2%) corresponde a la ineficiencia en la utilización de la PDR para la síntesis de proteína microbiana confirmando, de esta manera, el efecto negativo que tiene dicho proceso en la economía del nitrógeno en rumiantes. Este valor, sin embargo, es mucho menor que los factores de conversión asumidos por el NRC (2001) y por el AFRC (1992) que ascienden a 67 y 68%, respectivamente.

### **1.5. Metabolismo energético y protéico.**

Los excesos de amonio ruminal generados por los desbalances energéticos y proteicos en las dietas que reciben las vacas en los sistemas de producción de leche especializados en el país, ejercen un efecto importante en el metabolismo energético y proteico de estos animales limitando la disponibilidad de aminoácidos y, eventualmente, de glucosa para la síntesis de las proteínas de la leche.

Como se señaló previamente, un porcentaje importante del nitrógeno de la dieta de los rumiantes es absorbido como amoníaco representando un valor tan alto como el 80% del nitrógeno consumido (Mutsvangwa et al 1999) siendo comunes los valores cercanos al 50% (Lapierre et al 2005, Reynolds et al 1994). Las estimaciones realizadas en Antioquia con base en la información obtenida en vacas consumiendo pasto kikuyo

oscilan entre 35.7 (Rueda y Taborda 2003) y 45.7% (Mejía y Vargas 2004) cuya variación esta directamente relacionada con el consumo de PDR y coincidiendo con los resultados obtenidos hace varias décadas por Lewis et al (1957). Aunque otra porción importante del nitrógeno es absorbido como aminoácidos, existe un uso significativo de estos en el tracto gastrointestinal para la síntesis de proteínas (McBride et al 1998). Se ha calculado que este proceso puede ser responsable de la utilización de por lo menos el 50% de los aminoácidos absorbidos (Annison y Bryden 1999; Lapierre et al., 2000) de tal manera que solo cerca de la mitad de los aminoácidos aparentemente absorbidos alcanzan el hígado (Lapierre et al., 2000). De hecho, la síntesis de proteínas en el tracto gastrointestinal representa entre 25 y 30% de la síntesis total de proteínas en el cuerpo (Harris et al., 1990). Pero, así mismo, en la mucosa intestinal hay síntesis de algunos aminoácidos siendo los más importantes prolina, arginina y alanina (Wu y Morris 1998). Dado que la absorción del amoníaco se da a lo largo de todo el tracto gastrointestinal de los rumiantes, la absorción intestinal puede ser importante llegando a representar entre el 27 y el 51% de la absorción total de amoníaco hacia el sistema porta (Huntington y Archibeque 1999). Cuando la absorción de amoníaco en el intestino es alta, la síntesis de alanina es probablemente la vía más significativa que se presenta para detoxificarlo en comparación con su incorporación al ciclo de la urea no obstante que las células del epitelio ruminal y de la mucosa duodenal posean la capacidad de incorporar el amoníaco a la ornitina para formar citrulina (Oba et al 2004).

El amoníaco absorbido no solamente no es útil para el metabolismo nitrogenado del animal si no que, por el contrario, durante su transformación a urea en el hígado, utiliza aminoácidos (Annison y Bryden 1999, Mutsvangwa et al 1999, Lapierre et al 2005) reduciendo su disponibilidad a nivel extrahepático, y representando, además, un gasto energético en forma de ATP (Correa y Cuellar 2004). Esto es particularmente cierto cuando el aspartato absorbido intestinalmente es insuficiente para cubrir las demandas para la síntesis de la urea, la cual es equivalente a la cantidad de amonio transformado en carbamoil fosfato.

Por otro lado, y en vista de la baja absorción de glucosa y de su importancia en el metabolismo, la gluconeogénesis se constituye en el mecanismo central del metabolismo energético de los rumiantes lo que los convierte en animales eminentemente gluconeogénicos (Madsen, 1983a). Esto podría explicar la menor

concentración de glucosa sanguínea en los rumiantes comparada con otras especies (Kaneko 1997). Aún en animales consumiendo altas cantidades de almidones como sucede en las vacas de alta producción, la gluconeogénesis sigue siendo el proceso que provee la mayor proporción de la glucosa. Esto queda demostrado con los datos reportados por Huntington (1997) quien estimó que la gluconeogénesis en vacas lactantes produciendo 32 kg de leche/d y consumiendo 5.7 kg de almidón de maíz, representa aproximadamente el 72% de la glucosa utilizada por el organismo (cerca del 90% de la cual se origina a partir del propionato), mientras que el 28% restante proviene de la absorción intestinal de los almidones que escapan a la fermentación ruminal.

La glucosa es un metabolito clave dentro del metabolismo energético de los rumiantes siendo esencial para el sistema nervioso central, eritrocitos, glándula mamaria y útero grávido (Bergman 1983a). En razón a su importancia en los procesos anabólicos, el suministro de precursores de glucosa a los órganos que la sintetizan y de esta a los órganos que la requieren, se puede constituir en un limitante para la producción e, incluso, para la supervivencia misma del animal (Bergman, 1983b). El metabolismo de la glucosa y del amoníaco absorbido desde el tracto gastrointestinal convergen en la síntesis de urea (Correa y Cuellar 2004). El incremento en el consumo de PDR invariablemente aumenta la absorción de amoníaco (Lewis et al 1957, Mejía y Vargas 2004, Rueda y Taborda 2003), la síntesis de urea en el hígado (Correa y Cuellar 2004) y la concentración de amoníaco en la sangre y la orina (Barrientos y Muñoz 2006). En condiciones normales es de esperarse una relación positiva entre la síntesis de urea y la gluconeogénesis debido al uso de  $\alpha$ -cetoglutarato en la síntesis de glucosa (Correa y Cuellar 2004) tal y como fue reportado por Galvis et al (2003a) y por Barrientos y Muñoz (2006). En estas condiciones, sin embargo, también se observa un incremento en la concentración de amoníaco plasmático y un incremento en la excreción urinaria de amoníaco pero, así mismo, una reducción en la excreción urinaria de urea en la medida en que se incrementa el consumo de PDR (Barrientos y Muñoz 2006).

Dado que como fue señalado anteriormente, en los sistemas especializados de producción de leche en el país normalmente hay un exceso de PC y de PDR proveniente tanto del pasto kikuyo como de los suplementos alimenticios comerciales, también es de esperarse que se alcance un punto de saturación en la síntesis de la urea a partir del cual se observe una relación negativa entre los excesos de amoníaco ruminal, la síntesis de

urea y la síntesis de glucosa en el hígado. Esto es lo que parecen indicar los datos de Montoya et al (2004) quienes reportaron una correlación negativa y significativa entre la concentración plasmática de urea y la de glucosa sugiriendo la saturación del ciclo de la urea y la formación de glutamato y glutamina a partir de  $\alpha$ -cetoglutarato. Este fenómeno parece acentuarse a medida que avanza la lactancia cuando se reducen los requerimientos de glucosa y aminoácidos para la síntesis de leche y proteínas lácteas pero se mantiene el aporte alto de PC en la dieta, como sucede en los sistemas de producción especializados en el país en los que en un mismo potrero se encuentran vacas en el pico de producción y vacas terminando la lactancia consumiendo praderas de kikuyo con alto contenido de PC. Esto es precisamente lo que muestra la relación positiva entre los días en lactancia y la concentración de urea en la sangre hallada por Montoya et al (2004) en vacas consumiendo pasto kikuyo con un contenido de PC superior a 26% de la MS. Estos resultados confirman los hallazgos reportados por otros autores en condiciones *in vitro*. Así, Overton et al (1999) reportaron una disminución en la tasa de gluconeogénesis ante la adición de 2.5 mM de cloruro de amoníaco ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) a hepatocitos ovinos. Resultados similares fueron reportados por Weekes et al (1978) en condiciones experimentales similares a las de Overton et al (1999) pero evaluando siete concentraciones de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (0.0 a 2.0 mM). Esto parece estar relacionado con el uso de  $\alpha$ -cetoglutarato para la síntesis de glutamato y glutamina una vez que la síntesis de carbamoil fosfato, el primer intermediario en la síntesis de la urea, se satura (Correa y Cuellar 2004).

La gluconeogénesis en vacas lactantes, también se puede ver afectada por la exagerada movilización del tejido adiposo (Teheera et al 1999) como ha sido demostrado por Galvis et al (2003a) lo cual puede ser particularmente importante al inicio de la lactancia cuando la movilización de tejido adiposo es alto y los animales entran en un estado relativamente prolongado de balance energético negativo (Galvis et al 2003b).

#### **1.6. Metabolismo en la glándula mamaria.**

Los procesos nutricionales y metabólicos descritos previamente, afectan la disponibilidad de los precursores necesarios para la síntesis de los componentes de la leche, incluidas las proteínas. Aunque la manera como se establece la relación entre estos procesos y la síntesis de proteínas lácteas aún no es muy clara, algunos trabajos realizados en el país permiten hacer algunas aproximaciones.

La glucosa es el metabolito más importante en la síntesis de los componentes de la leche. Así, la glucosa es el precursor de la lactosa la que, a su vez, establece el volumen de leche producida (Harris y Bachean 2003, Kennelly y Okine 1994) de tal manera que una limitación en el suministro de glucosa a la glándula mamaria se constituye en un limitante para la producción de leche. Por otro lado, el anabolismo de los lípidos exige la presencia de NADPH<sub>2</sub> como agente reductor cuyo origen principal es la glucosa, mientras que los compuestos energéticos requeridos para la síntesis de proteínas (el Guanosin trifosfato y el Adenosin trifosfato) tienen su origen en la oxidación mitocondrial de substratos tales como la glucosa y el acetato (Madsen, 1983b).

Los datos de Montoya y Pino (2002) y Bernal y Montoya (2003) muestran una relación significativa ( $p < 0.005$ ) entre la concentración de glucosa en la sangre y la concentración de proteína en la leche aunque con un coeficiente de determinación relativamente bajo ( $r^2 = 0.22$ ). Esto sugiere, que a pesar del papel central que juega la glucosa en la síntesis de los componentes de la leche, en el caso particular de la síntesis de las proteínas parecen haber otros metabolitos y hormonas que tienen una función más importante en este proceso. Muchos autores coinciden en que la insulina parece cumplir un papel importante en la regulación de la síntesis de proteínas lácteas. Así, Griinari et al (1997) encontraron un efecto positivo en la concentración de proteína en la leche tras la aplicación de insulina utilizando la técnica “clamp” y coincidiendo con otros trabajos en los que se ha utilizado la misma técnica (Bequette et al 2002, McGuire et al 1995, Mackle et al 1999b, Mackle et al 2000). Otros autores también han reportado esta relación positiva no obstante que no controlaron la concentración de glucosa en la sangre (Gowen y Tobey 1931a, 1931b, Léonard y Block 1997). Galvis et al (2003a), por su parte establecieron una relación positiva entre la concentración de glucosa y de insulina en la sangre pero negativa entre el nivel de producción de leche y la insulina en la sangre confirmando los hallazgos de otros autores que indican que el mejoramiento genético orientado hacia el incremento en el volumen de leche, reduce tanto la concentración de glucosa como de insulina en la sangre (Bauman y Currie 1980, Nebel y McGilliard 1993, Kazmer et al 1986, Akers 2000, Parker 1984), explicando, con ello, la correlación genética negativa hallada entre la producción de leche y la concentración de proteína en la leche (Welper y Freeman 1992).

Al igual que en el caso de la glucosa, la concentración de insulina en la sangre de los rumiantes es menor que en no rumiantes. Así, mientras que Rose et al (2005) encontraron que la concentración promedio de insulina en vacas lactantes fue de 24  $\mu\text{U/L}$  con una concentración de glucosa de 4.0 mmol/L, González et al (1989) reportaron que la concentración promedio de insulina en la sangre de jóvenes españoles es de 55.3  $\mu\text{U/L}$ . Por mucho tiempo se ha considerado que la síntesis y secreción de insulina depende principalmente de la concentración de glucosa en la sangre (Kaneko 1997, Riis 1983). Sin embargo, otros metabolitos tales como algunos aminoácidos, cuerpos cetónicos y ácidos grasos, también tienen capacidad de estimular la secreción de esta hormona (Basset 1978, Godoy et al 1982, Horino et al 1968, Kaneko 1997, Manns y Boda 1967) mostrando algunos de ellos, incluso, mayor capacidad de estímulo que la glucosa como lo son el propionato y el butirato (Manns y Boda 1967). Con base en estas observaciones ha sido postulado que el incremento en la absorción ruminal de butirato en vacas lactantes, podría modificar la partición de los nutrientes como consecuencia del incremento en la secreción de insulina (Parker 1984, Sano et al 1995) favoreciendo la síntesis y concentración de proteínas en la leche como fue reportado por Yan y Agnew (2001). Otros autores, sin embargo, han reportado una correlación negativa aunque baja entre estas dos variables (Seymour et al 2005). Estos últimos autores hallaron, así mismo, una baja correlación entre propionato y el contenido de proteínas en la leche, difiriendo, de esta manera, con las suposiciones de Jenkins y McGuire (2006).

Lo anterior da una idea de la complejidad que subyace en las interacciones entre nutrientes y hormonas, y entre estos y la respuesta animal, en este caso, la síntesis de proteínas de la leche. Esto indica que es necesario ahondar más en el estudio de estas relaciones incorporando otros metabolitos y hormonas, así como en la exploración de los mecanismos que explican el efecto que tienen algunos metabolitos y hormonas sobre la expresión de los genes que codifican las proteínas de la leche.

### **1.7. Conclusiones.**

Aunque en Colombia recientemente se han realizado varios trabajos relacionados con la nutrición y el metabolismo energético y proteico en vacas lactantes es sistemas especializados, los resultados obtenidos no permiten dar una explicación satisfactoria a la baja concentración de proteínas en la leche demostrando con ello, la complejidad de

los mecanismos que subyacen tras de estas relaciones. El alto contenido de proteína cruda y fibra en detergente neutro así como el bajo contenido de carbohidratos no estructurales en el pasto kikuyo, se destacan como los componentes nutricionales más importantes que estarían implicados en la baja concentración de proteínas en la leche en estos sistemas de producción. Por otro lado, tanto la oferta forrajera como la variabilidad en la cantidad y calidad de los suplementos alimenticios suministrados se constituyen en los componentes alimenticios más directamente relacionados con este problema. La baja relación entre CNE y PDR, limita la síntesis de proteína microbiana y parece ser el punto más crítico en el manejo nutricional y alimenticio de las vacas lactantes en estos sistemas de producción. Se hace necesario profundizar tanto en los mecanismos que regulan expresión de los genes que codifican las proteínas de la leche, como en el papel que cumplen los metabolitos y hormonas hasta ahora estudiados en este proceso, así como la necesidad de involucrar otros metabolitos y otras hormonas en este análisis.

### **Abstract**

*The milk arising from specialized production systems in Colombia is characterized by its low protein content and its high urea content which reducing its nutritional and industrial value and dropping the milk price to farmer. All there have put in risk the competitiveness of this productive systems and the economic stability of thousands of milk farmers. With the purpose of settling the relationship between the nutritional management and energetic and protein metabolism in lactating cows and the milk protein concentration, were revised the more important research works doing during the last years in the specialized milk production systems in this country empathizing in those about the nutritional quality of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*), the grazing management, the grass offer and the food supply, just as in those research works in which metabolites and hormones relating to energetic and protein status of cows were analyzed. It is highlighted the high protein and neutral detergent fiber content as well as the low non-structural carbohydrates content in kikuyu grass as the more important nutritional components that limit the protein synthesis and concentration in milk. The grass offer and the variability of quantity and quality of food supplements are other key factors in this productive response. It is concluded that the complexity of mechanisms involved in the protein synthesis and concentration in milk under this milk production systems, do necessary to deepen the study of other*

*metabolites and hormones possibly involved in this problem as well as the mechanisms through is regulated the expression of genes that coded the synthesis of this proteins.*

**Key words:** specialized milk production, kikuyu grass, milk proteins, food supply

### **Bibliografía.**

1. **Abreu A. y Petri H. A. 1998.** Uso del MUN (Nitrógeno ureico en leche) para diagnosticar balance proteína - energía en la dieta de vacas lecheras Holstein en pastoreo en el altiplano cundiboyacense. Trabajo de grado, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Santafe de Bogotá. Carrera de Zootecnia. 134 p.
2. **Agricultural and Food Research Council (AFRC). 1992.** Nutritive requirements of ruminant animals: Protein. Nutr. Abstr. Rev. (Ser. B). 62:787–835.
3. **Agudelo M. A. y Puerta H. M. 2004.** Efecto del esquema de suministro de un suplemento alimenticio comercial sobre algunos parámetros metabólicos y productivos en vacas lactantes. Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 33 p.
4. **Akers R. M. 2000.** Selection for Milk Production from a Lactation Biology Viewpoint. Journal of Dairy Science. 83:1151–1158.
5. **Alcaráz C., Alviar D. y Correa H. 2001.** Eficiencia en el uso de nitrógeno en vacas lactantes en un hato lechero del oriente antioqueño; Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 14 (Supl.): 34.
6. **Alcaráz C. y Alviar D. 2004.** Evaluación del modelo MUN para la predicción del consumo de materia seca en vacas Holstein lactantes. Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 67 p.

7. **Ángeles M. y Gómez S. 2005.** Efecto del nivel de lisina digestible y del perfil ideal de aminoácidos sobre el requerimiento de lisina en gallinas Hy-Line W-36 al final del primer periodo de postura. *Veterinaria México*, 36 (3): 279 – 294.
8. **Annison, E. F., and Bryden W. L. 1999.** Perspectives on ruminant nutrition and metabolism. II. Metabolism in ruminant tissues. *Nutr. Res. Rev.* 12: 147 – 177.
9. **Arias J. H., Belalcázar A. y Hurtado R. 1990.** Sistemas de producción bovina en Colombia. *Coyuntura Agropecuaria*, 6 (4): 84 – 120.
10. **Bargo F. 2002.** Feeding systems combining pasture with concentrate and total mixed rations for high producing dairy cows. Doctoral thesis, Pennsylvania State University, PA. 311 p.
11. **Bargo F., Muller L. D., Kolver E. S. and Delahoy J. E. 2003.** Invited Review: Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture. *J. Dairy Sci.* 86:1–42.
12. **Barrientos S. M. y Muñoz Y. 2006.** Efecto de niveles crecientes de nitrógeno no proteico dietario sobre algunas variables metabólicas y nutricionales en vacas lactantes. 27 p
13. **Bassett J. M. 1978.** Endocrine factors in the control of nutrient utilization: ruminants. *Proc. Nutr. Soc.*, 37:273 – 280.
14. **Batterham E. S., Andersen L. M., Baignent D. R., White E. 1990.** Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: effect of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. *Br. J. Nutr.*; 64:81-94.

15. **Bauman D. E. and Currie W. B. 1980.** Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science* 63, 1514–1529.
16. **Belyea R. L., Steevens B., Garner G., Whittier J. and Sewell H. 1996.** Using NDF and ADF To Balance Diets Missouri University Extension: G3161. URL: <http://muextension.missouri.edu/explore/agguides/dairy/g03161.htm>
17. **Bequette B. J., Kyle C. E., Crompton L. A., Anderson S. E. and Hanigan M. D. 2002.** Protein Metabolism in Lactating Goats Subjected to the Insulin Clamp. *J. Dairy Sci.* 85:1546–1555.
18. **Bernal L. C. y Montoya S. 2004.** Balance energético y proteico en vacas al inicio de la lactancia y su relación con el estado metabólico. Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 75 p.
19. **Bergman E. N. 1983a.** The pools of cellular nutrients: glucose. In: P. M. Riis. *Dynamic biochemistry of animal production.* Elsevier Science Publishers, The Netherlands. Chapter 9: p 173 – 196.
20. **Bergman E. N. 1983b.** The pools of cellular nutrients: glucose. In: P. M. Riis. *Dynamic biochemistry of animal production.* Elsevier Science Publishers, The Netherlands. Chapter 9: p 173 – 196.
21. **Betancur J. F. y Trujillo L. G. 2004.** Balance de nitrógeno en vacas lecheras de alta producción alimentadas con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y dos niveles de suplementación de proteína no degradable en el rumen. Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 30 p.

22. **Brand T. S., Franck F. and Coetzee J. 1999.** Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pasture for sheep. 1. Pasture quality and nutrient intake of ewes. New Zealand Journal of Agricultural Research, 42: 459-465.
23. **Calsamiglia S. and Stern M. D. 1995.** A three-step in vitro procedure for estimating intestinal digestion of protein in ruminants; Journal of Animal Science. (73)1459-1465. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/73/5/1459>
24. **Caro F. y Correa H. J. 2006.** Digestibilidad posruminal aparente de la materia seca, la proteína cruda y cuatro macrominerales en el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a dos edades de rebrote. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. 16 p. Livestock Research for Rural Development 18 (10).
25. **Carulla J. E., Cárdenas E., Sánchez N. y Riveros C. 2004.** Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada de la zona andina colombiana En: Eventos y Asesorías Agropecuarias EU (ed.), Seminario Nacional de Lechería Especializada: “Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad”. Medellín, septiembre 1 y 2. pp 21 – 38.
26. **Castañeda M. y Duque M. 2005.** Estimación de la digestibilidad intestinal de la proteína del pasto kikuyo (*Penissetum clandestinum*) sometido a dos niveles de fertilización nitrogenada y a dos edades de corte. Trabajo de grado Zootecnia. 20 p.
27. **Castro G. 2004.** Precios de COLANTA benefician a ganaderos, a la ganadería y a Colombia. Revista Ecolanta. Número 210: 6 – 7.
28. **Clark H., Klusmeyer T. H. and Cameron M. R. 1992.** Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows; Journal of Dairy Science. (75)2304. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/75/8/2304>
29. **Concejo Regional de la Cadena Láctea de Antioquia. 2001.** Acuerdo de competitividad de la cadena láctea de Antioquia. Medellín. 75 p.

30. **Correa H. J. y Cuellar A. 2004.** Aspectos claves del ciclo de la urea con relación al metabolismo energético y proteico en vacas lactantes. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Vol. 17 29 - 38.
31. **Correa H. J. 2006.** Posibles factores nutricionales, alimenticios y metabólicos que limitan el uso del nitrógeno en la síntesis de proteínas lácteas en hatos lecheros de Antioquia. Livestock Research for Rural Development 18 (3).
32. **Correa H. J., Carulla J. E. y Pabón M. (2008a).** Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I. Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 55 p.
33. **Correa H. J., Carulla J. E. y Pabón M. (2008b).** Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): II. Contenido de energía, consumo, suplementación y eficiencia nutricional. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 45 p.
34. **Coulon J. B., Hurtaud C., Remond B. and Verite R. 1998.** Factors contributing to variation in the proportion of casein in cow's milk true protein: a review of recent INRA experiments. Journal of Dairy Research, 65: 375 – 387.
35. **Delgado G. F. 2002.** Estudio comparativo del balance de nitrógeno en vacas lactantes de dos grupos genéticos; Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 67 p.
36. **DePeters E. J. and Ferguson J. D. 1992.** Nonprotein Nitrogen and Protein Distribution in the Milk of Cows. J Dairy Sci 75: 3192-3209.

37. **Echeverry, J. 2000.** Estimación de parámetros genéticos y ambientales para porcentaje de grasa y proteína en leche. Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 55 p.
38. **Echeverry J. y Parra J. E. 2001.** Efecto de la suplementación con varios niveles de una fuente de metionina protegina (MEPRON 85), sobre la producción de leche y el porcentaje de proteína láctea; Informe de Pasantía de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 14 p.
39. **Escobar A. y Carulla J. 2003.** Efecto de la oferta de forraje sobre los parámetros productivos y composicionales de la leche en la sabana de Bogotá. Rev Col Cienc Pec 16 (Suplemento): 74.
40. **Fukumoto G. K. and Lee C. N. 2003.** Kikuyugrass for Forage. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii. LM-5. 4 pg.
41. **Fulkerson W. J., Nandra K. S., Clark C. F. and Barchia I. (2006).** Effect of cereal-based concentrates on productivity of Holstein–Friesian cows grazing short-rotation ryegrass (*Lolium multiflorum*) or kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures. Livestock Science, 103 (1-2): 85-94
42. **Fushai F .M. 2006.** Estimates of intake and digestibility using n-alkanes in yearling Holstein-Friesian and Hereford heifers grazing on kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pasture. Animal Feed Science and Technology 128: 331–336.
43. **Gaitán S. y Pabón J. D. 2003.** Aplicación del modelo NRC 2001 en la caracterización energética y proteica de los pastos kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Hoechst), ryegras (*Lolium perenne*) y falsa poa (*Holcus lanatus*) en un hato lechero del oriente antioqueño; Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 55 p.

44. **Galvis R. D., Correa H. J., Ramírez N. F. y Soler W. 2003a.** Influencia de las alteraciones metabólicas sobre la actividad PEPCK, la generación de IGF-1 plasmático y la reactivación ovárica en vacas en la lactancia temprana. *Rev Col Cienc Pec* Vol. 16 (3): 228 – 236.
45. **Galvis R. D., Correa H. J. y Ramírez N. F. 2003b.** Interacciones entre el balance nutricional, los indicadores del metabolismo energético y proteico y las concentraciones plasmáticas de Insulina, e IGF-1 en vacas en lactancia temprana. *Rev Col Cienc Pec* Vol. 16 (3): 237 – 248.
46. **Godoy R. H., Parker D. S. and Armstrong D. G. 1982.** Rumen volatile fatty acids and blood constituents in sheep given either molasses or a mixture of sugars. *Proceedings of the Nutrition Society*, 42: 33A.
47. **González I., Sarria A., Bueno M., Abos M. 1989.** Circadian rhythms of cortisol and insulin in nutritional obesity in children. *An Esp Pediatr.* Feb;30(2):79 - 84.
48. **Gowen J. W. and Tobey E. R. 1931a.** Studies on milk secretion: The Influence Of Inanition. *J. Gen. Physiol.* 1931 15: 45-66.  
<http://www.jgp.org/cgi/reprint/15/1/45>
49. **Gowen J. W. and Tobey E. R. 1931b.** On The Mechanism Of Milk Secretion: The Influence Of Insulin And Phloridzin. *J. Gen. Physiol.* 1931 15: 67-85.  
<http://www.jgp.org/cgi/reprint/15/1/67>
50. **Griinari J. M., Mcguire M. A., Dwyer D. A., Bauman D. E., Barbano D. M. and House W. A. 1997.** The Role of Insulin in the Regulation of Milk Protein Synthesis in Dairy Cows. *J Dairy Sci* 80: 2361–2371.
51. **Hanigan M. D., Crompton L. A., Metcalf J. A. and France J. 2001.** Modelling mammary metabolism in the dairy cow to predict milk constituent yield, with emphasis on amino acid metabolism and milk protein production: model construction. *J. Theor. Biol.* 213: 223–239.

52. **Hanigan M. D., Crompton L. A., Metcalf J.A. and France J. 2002.** Modelling mammary metabolism in the dairy cow to predict milk constituent yield, with emphasis on amino acid metabolism and milk protein production: model evaluation. *J. Theor. Biol.* 2002, 217: 311- 330.
53. **Harris B. 1993.** The Importance of Fiber in Feeding Dairy Cattle. Florida Cooperative Extension Service: Circular 594. URL: <http://edis.ifas.ufl.edu/DS064>.
54. **Harris B. and Bachman K. C. 2003.** Nutritional and Management Factors Affecting Solids-Not-Fat, Acidity and Freezing Point of Milk. Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 5 p.
55. **Harris, P. M., Waghorn G. C. and Lee J. 1990.** Nutritional partitioning of growth for productive gain. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production.* 50: 81 – 90.
56. **Hernández O., Pérez J., Martínez P. A., Herrera J. G., Mendoza G. D, y Hernández A. 2000.** Pastoreo de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochts.) por borregos en crecimiento a diferentes asignaciones de forraje. *Agrociencia,* 34: 127-134.
57. **Horino M., Machlin L. J., Hertelendy F. and Kipnis D. M. 1968.** Effect of short-chain fatty acids on plasma insulin in ruminant and nonruminant species. *Endocrinology,* 83: 118.
58. **Hughes C. G and Gray I. K. 2005.** Chemical analysis in the New Zealand dairy industry. Food Science Section, New Zealand Dairy Research Institute. <http://www.nzic.org.nz/ChemProcesses/dairy/3I.pdf>
59. **Huntington G. B. 1997.** Starch Utilization by Ruminants: From Basics to the Bunk. *J. Anim. Sci.* 75:852–867.

60. **Huntington G. B. and Archibeque S. L. 1999.** Practical aspects of urea and ammonia metabolism in ruminants; Proceedings of the American Society of Animal Science. 11 p.
61. **Jenkins T. C. and McGuire M. A. 2006.** Major Advances in Nutrition: Impact on Milk Composition. *J. Dairy Sci.* 89:1302–1310.
62. **Johnston S. L., Kitson K. E., Tweedie J. W., Davis S. R. and Lee J. 2004.**  $\gamma$ -Glutamyl Transpeptidase Inhibition Suppresses Milk Protein Synthesis in Isolated Ovine Mammary Cells. *J. Dairy Sci.* 87:321–329.
63. **Jonker J. S., Kohn R. A. and Erdman R. A. 1998.** Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows; *Journal of Dairy Science.* 81: 2681 - 2692.
64. **Jonker J. S., Kohn R. A. and Erdman R. A. 1999.** Milk Urea Nitrogen Target Concentrations for Lactating Dairy Cows Fed According to National Research Council Recommendations. *Journal of Dairy Science.* 82: 1261 - 1273.
65. **Kaiser A., Piltz J. W., Hamilton J. F. and Havilah E. J. 2001.** Effect of time of day on the water soluble carbohydrate content of kikuyu grass. FAO, Electronic Conference on Tropical Silage. Roma, Italy. Pg 65.
66. **Kaneko J. J. 1997.** Carbohydrate metabolism and its diseases. In: Kaneko J. J., Harvey J. W. and Bruss M. L. (Editors). *Clinical biochemistry of domestic animals*, fifth edition. Academic Press, San Diego, Cal. Pp. 45 – 81.
67. **Kazmer, G. W., M. A. Barnes, R. M. Akers, and R. E. Pearson. 1986.** Effect of genetic selection for milk yield and increased milking frequency on plasma growth hormone and prolactin concentration in Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 63: 1220.

68. **Kennelly J. J. and Okine E. 1994.** From fiber to starch: the evolution of the cow. <http://www.afns.ualberta.ca/dairy/dp472-5p.htm>
69. **Kolver E. S. 2003.** Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62: 291–300.
70. **Lapierre, H., Berthiaume R., Thivierge M. C., Patton R. A. and Stevenson M. J. 2000.** Basic amino acid reseach leads to better recommendations. *Feedstuffs*. August 14. 11 – 19.
71. **Lapierre H., Berthiaume R., Raggio G., Thivierge M. C., Doepel L., Pacheco D., Dubreuil P. and Lobley G. E. 2005.** The route of absorbed nitrogen into milk protein. *Animal Science*. Vol. 80 11 - 22.
72. **Laredo M. A. y Mendoza P. E. 1982.** Valor nutritivo de pastos de zonas frías. I pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst). Anual y estacional. *Revista ICA (Bogotá)*, 17: 157 – 167.
73. **Lee M. R. F., Brooks A. E., Moorby J. M., Humphreys M. O., Theodorou M. K., MacRae J. C. and Scollan N. D. 2002.** *In vitro* investigation into the nutritive value of *Lolium perenne* bred for an elevated concentration of water-soluble carbohydrate and the added effect of sample processing: freeze-dried and ground vs. frozen and thawed. *Anim. Res.* 51: 269 –277.
74. **Leónard M. and Block E. 1997.** Effects on Nutrient and Hormonal Profile of Long-Term Infusions of Glucose or Insulin Plus Glucose in Cows Treated with Recombinant Bovine Somatotropin Before Peak Milk Yield. *J Dairy Sci* 80:127–143.
75. **Lewis D., Hill K. J. and Annison E. F. 1957.** Studies on the Portal Blood of Sheep. 1. Absorption of ammonia from the rumen of the sheep. *Biochem J.* 66 (4): 587 – 592.

76. **Licitra G., Hernandez T. M. and Van Soest P. J. 1996.** Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science Technology* 57: 347-358.
77. **Londoño E., Toro M. M., y Santa N. I. 2005.** Calidad de la leche cruda de los proveedores del oriente antioqueño. Monografía de grado, Especialización en Aseguramiento de la Calidad Microbiológica de los Alimentos. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. 45 p.
78. **Lyatuu E. T. and Eastridge M. L. 1999.** Nutritional Factors Affecting Milk Production, Milk Composition, Milk Urea Nitrogen, and Plasma Urea Nitrogen. The Ohio State University, Research and Reviews: Dairy. Special Circular 163-99. [http://ohioline.osu.edu/sc163/sc163\\_11.html](http://ohioline.osu.edu/sc163/sc163_11.html)
79. **Mackle T. R., Bryant A. M., Petch S. F., Hooper R. J. and Auldist M. J. 1999a.** Variation in the composition of milk protein from pasture-fed dairy cows in late lactation and the effect of grain and silage supplementation. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 42: 147-154.
80. **Mackle T. R., Dwyer D. A., Ingvarstsen K. L., Chouinard P. Y., Lynch J. M., Barbano D. M. and Bauman D. E. 1999b.** Effects of Insulin and Amino Acids on Milk Protein Concentration and Yield from Dairy Cows. *J Dairy Sci* 82:1512–1524.
81. **Mackle T. R., Dwyer D. A. and Bauman D. E. 2000.** Intramammary Infusion of Insulin or Long R3 Insulin-like Growth Factor-I did not Increase Milk Protein Yield in Dairy Cows. *J Dairy Sci* 83:1740–1749
82. **MacRae J. C., Bequette B. J. and Crompton L. A. 2000.** Synthesis of milk protein and opportunities for nutritional manipulation. In *Milk composition*. British Society of Animal Science Occasional Pub. No. 25, pp. 179-199.

83. **Madsen A. 1983a.** The molecular basis of animal production: metabolism in liver cells. In: Riis, P. M. Dynamic biochemistry of animal production. Elsevier, Netherlands. p. 53 – 74.
84. **Madsen A. 1983b.** The molecular basis of animal production: metabolism in skeletal muscle cells. In: P. M. Riis. Dynamic biochemistry of animal production. Elsevier Science Publishers, The Netherlands. Chapter 2: p 9 – 28.
85. **Mann J. and Stewart P. G. 2003.** Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) intake determined by alkanes administered in a xanthan gum suspension. South African Journal of Animal Science, 33 (1): 27 – 31.
86. **Manns J. G. and Boda J. M. 1967.** Insulin release by acetate, propionate, butyrate, and glucose in lambs and adult sheep. Am. J. Physiol. 212:747–755.
87. **Marais J. P. 2001.** Factors affecting the nutritive value of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) - a review. Tropical grasslands 35: 65 – 84.
88. **Marques P., Machado P. F., Coldebella A., Dagher L., Oliveira K., Mazza P. H. 2006.** Fatores não-nutricionais e concentração de nitrogênio uréico no leite de vacas da raça Holandesa. R. Bras. Zootec., 35 (3, Supl.): 1114-1121.
89. **Martínez O. T. y Vázquez M. 2002.** Efecto del nivel de suplementación sobre el pH ruminal, la digestibilidad de la dieta y el consumo en rumiantes en pastoreo. Trabajo de grado. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Carrera de Zootecnia. 135 p.
90. **McBride B. W., Berthiaume R. and Lapierre H. 1998.** Nutrient flow in the lactating cow. Can J Anim Sci 1998; 78 (Suppl.): 91 – 104.
91. **McGuire M. A., Griinari J. M., Dwyer D. A. and Bauman D. E. 1995.** Role of Insulin in the Regulation of Mammary Synthesis of Fat and Protein. J Dairy Sci 78:816-824.

92. **Mejía D. y Vargas E. A. 2004.** Efecto de diferentes regímenes de alimentación en vacas holstein lactantes sobre el flujo de proteína microbiana al duodeno. Trabajo de grado. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Carrera de Zootecnia. 31 p.
93. **Meeske R., Rothauge A., van der Merwe G. D. and Greyling J. F. 2006.** The effect of concentrate supplementation on the productivity of grazing Jersey cows on a pasture based system. South African Journal of Animal Science, 36 (2): 105 – 110.
94. **Meneses L. 2005.** Evaluación del contenido de proteína y la calidad higiénica de la leche, proveniente de hatos localizados en dos regiones lecheras de Antioquia. Informe de Pasantía de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 20 p.
95. **Mertens, D. R. 1985.** Factors influencing feed intake in lactating cows: from theory to application using neutral detergent fiber. In: Proceedings of Georgia Nutrition Conference. Pp. 1-18.
96. **Mertens D. R. 1987.** Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. J. Animal Sci. 64:1548-1558.
97. **Messman M. A., Weiss W. P., Erickson D. O. 1992.** Effects of nitrogen fertilization and maturity of bromegrass on nitrogen and amino acids utilization by cows. J Anim Sci; 70: 566.
98. **Metwalli A. A. M. and van Boekel M. A. J. S. 1996.** Effect of urea on heat coagulation of milk. Netherlands milk and dairy journal, 50 (3): 459-476.
99. **Mila A. y Corregor G. 2004.** Evolución de la composición botánica de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) recuperada mediante escarificación mecánica y fertilización con compost. Revista Corpoica 5 (1): 70 – 75.

100. **Miles N., Thurtell L. and Riekert S. 2000.** Quality of Kikuyu herbage from pastures in the Eastern Cape coastal belt of South Africa. *South African Journal of Animal Science* 2000, 30 (Suppl. 1): 85 – 86.
101. **Monsalve F. 2004.** Comparación de dos métodos para estimar la digestibilidad posruminal de la proteína cruda del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Trabajo de grado de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 18 p.
102. **Montoya N. F. y Pino I. D. 2002.** Efecto de la suplementación con diferentes niveles de papa sobre algunos parámetros productivos y metabólicos en vacas lactantes. Trabajo de grado de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 50 p.
103. **Montoya N. F., Pino I. D. y Correa H. J. 2004.** Evaluación de la suplementación con papa (*Solanum tuberosum*) durante la lactancia en vacas Holstein. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Vol. 17 241 - 249. <http://kogi.udea.edu.co/revista/17/17-3-4.pdf>
104. **Murphy J. J. and O'Mara F. 1993.** Nutritional manipulation of milk protein concentration and its impact on the dairy industry. *Livestock Production Science* 35: 117-134.
105. **Mustafa A. F., Qiao S. Y., Thacker P. A., Mckinnon J. J., Christensen D. A. and Chaplin R. K. 2000.** Assessment of the value of cannulated pigs for measuring intestinal protein digestibility of ruminal undegradable protein of canola meal; *Canadian Journal of Animal Science*. (80) 519 - 522.
106. **Mutsvangwa, T., Buchanan-Smith J. G., and McBride B. W. 1999.** Effects of in vitro addition of ammonia on the metabolism of <sup>15</sup>N-labelled amino acids in isolated sheep hepatocytes. *Can. J. Anim. Sci.* 79: 321 – 326.

107. **Naranjo H. 2002.** Evaluación nutricional del pasto kikuyu a diferentes edades de corte. *Despertar Lechero*, 20: 149 – 167.
108. **Nebel, R. L., and M. L. McGilliard. 1993.** Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. *J. Dairy sci.* 76: 3257 – 3268.
109. **NRC (National Research Council). 2001.** The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition; National Academy Press, Washington, D. C. 381 p.
110. **Nocek J. E. and Tamminga S. 1991.** Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 74:3598.
111. **Noguera R. R., Ramírez I. C. y Bolivar D. M. 2006.** Efecto de la inclusión de papa (*Solanum tuberosum*) en la cinética de fermentación in vitro del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Livestock Research for Rural Development* 18 (5).
112. **Oba M., Baldwin VI R. L., Owens S. L. and Bequette B. J. 2004.** Urea synthesis by ruminal epithelial and duodenal mucosal cells from growing sheep. *Journal of Dairy Science*. Vol. 87 1803-1805.
113. **Orozco F. H. 1992.** Valor fertilizante del estiércol líquido porcino (ELP) “porquinaza” en pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Hoechst). *Despertar Lechero*, 8: 46 – 56.
114. **Ørskov E. R. and McDonald I. 1979.** The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage; *Journal of Agriculture Science*. (92) 499 - 503.
115. **Osorio F. 1999.** Efecto de la dieta sobre la composición de la leche; En: *Memorias, I Seminario Internacional sobre avances en nutrición y alimentación animal*, Medellín, marzo 18 - 19.

116. **Osorio F. 2004.** Efecto del manejo alimentario sobre el sistema especializado de producción lechera. En: memorias Seminario Nacional de Lechería Especializada: Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad. Eventos y Asesorías Agropecuarias, Auditorio de la Salud, Hospital General de Medellín, Septiembre 1 y 2 141 - 152.
117. **Overton TR, Drackley JK, Otteman CJ, Beaulieu AD, Clark JH et al. 1999.** Substrate utilization for hepatic gluconeogenic is altered by increased glucose demand in ruminant. *Journal of Animal Science.* 77: 1940-1951.
118. **Parker D. S. 1984.** Metabolic limitations to milk production in the tropics. *Tropical Animal Production*, 9: 251 – 256.
119. **Pérez J. 2000.** Cooperativa COLANTA exportadora; Cooperativa COLANTA, Informe y balance 1999.
120. **Ramírez L. M., Laredo M. A., Anzola H. J. y Martínez O. 1983.** Estimación del consumo voluntario de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst) y raigras tetralite (*Lolium hybridum* Hausskn) por bovinos en pastoreo mediante el uso de dos marcadores externos. *Revista ICA (Bogotá)*, 18: 35 – 43.
121. **Rayburn E. B. and Fox D. G. 1993.** Variation in Neutral Detergent Fiber Intake of Holstein Cows; *Journal of Dairy Science* 76: 544-554
122. **Reeves M., Fulkerson W. J. and Kellaway R. C. 1996.** Forage quality of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*): the effect of time of defoliation and nitrogen fertilizer application and in comparison with perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Australian Journal of Agricultural Research* 47(8): 1349 – 1359.
123. **Reynolds, C. K., Harmon D. L., and Cecava M. J. 1994.** Absortion and delivery of nutrients for milk protein synthesis by portal drained viscera. *J. Dairy Sci.* 77: 2787 – 2808.

124. **Riss P. M. 1983.** Adaptations of metabolism to various conditions: nutritional and other environmental conditions. In: Riss P. M. (Editor). Dynamic biochemistry of animal production. Elsevier, Amsterdam, The N. Pp. 319 – 357.
125. **Rivera B., Vargas J. E., Arcila C. P., Márquez R., Pérez J. F., Toro G. y Martínez J. P. 1998.** Propuesta para la clasificación de los sistemas de producción de leche: el caso de la zona de influencia de Manizales. Documento preparado bajo el Convenio Universidad de Caldas, International Livestock Research Center, Centro Internacional de la Papa, Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina. <http://www.condesan.org/publicacion/bgris/colombia/colombia11.html>.
126. **Rodríguez D. 1999.** Caracterización de la respuesta a la fertilización en producción y calidad forrajera en los valles de Chiquinquirá y Simijaca (Estudio de caso). Trabajo de grado. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Carrera de Zootecnia. 105 p.
127. **Rose M. T., Weeks T. E. C. and Rowlinson P. 2005.** Correlation of blood and milk components with the milk yield response to bovine somatotropin in dairy cows. Domestic Animal Endocrinology, 28: 296 – 307.
128. **Rueda S. y Taborda L. 2003.** Estimación del flujo de proteína microbiana hacia el duodeno a partir de la concentración de alantoína en la orina de vacas lactantes en un hato lechero en Antioquia. Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 55 p.
129. **Rueda S., Taborda L., Correa H. J. 2006.** Relación entre el flujo de proteína microbiana hacia el duodeno y algunos parámetros metabólicos y productivos en vacas lactantes de un hato lechero del Oriente Antioqueño. Rev Col Cienc Pec, 19: 27 – 38.

130. **Salazar D., Peña F. y Gavilanes C. 1980.** Comportamiento de novillas holstein alimentadas con ensilaje, heno y pastoreo de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Hochst). Revista ICA (Bogotá), 15: 145 – 150.
131. **Saldarriaga C. y Soto S. 2004.** Efecto de dos edades de rebrote del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre el balance de nitrógeno en vacas Holstein de alta producción; Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 30 p.
132. **Sano H., Tano S., Takahashi H. and Terashima Y. 1995.** Dose Response of Plasma Insulin and Glucagon to Intravenous n-Butyrate Infusion in Sheep. J. Anim. Sci., 73: 3038–3043.
133. **Seymour W. M., Campbell D.R., Johnson Z. B. 2005.** Relationships between rumen volatile fatty acid concentrations and milk production in dairy cows: a literature study. Animal Feed Science and Technology, 119: 155–169.
134. **Smit H. J., Tas B. M., Taweel H. Z., Tamminga S. and Elgersma A. 2005.** Perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivar effects on grass productivity, nutritive quality and herbage intake under grazing. In: Smit H J. Perennial ryegrass for dairy cows: Effects of cultivar on herbage intake during grazing. Ph. D. Thesis, Wageningen University, the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation (PE&RC), Wageningen, The Netherlands. Ch 4. pp 53 – 68.
135. **Soto L., Laredo M. A., y Alarcón E. 1980.** Digestibilidad y consumo voluntario del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst) en ovinos bajo fertilización nitrógenada. Revista ICA, 15 (2): 79 – 90.
136. **Soto C. P. y Valencia A. 2004.** Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre la valoración nutricional y la degradación de la proteína del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Hochst). Trabajo de grado

de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 30 p.

137. **Soto C., Valencia A., Galvis R. D. y Correa H. J. 2005.** Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre el valor energético y proteico del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 18 (1): 17 - 26.
138. **Stallings C. C. 2002.** Effect of Diet on Milk Composition in Dairy Cattle American Soybean Association Oct. 28. C:\PORTATIL\Curso Ganado de Leche\CURSO\Glándula\Stallings\_milk\_composition\_10-2002.pdf
139. **Tas B M 2006** Nitrogen utilization of perennial ryegrass in dairy cows. In: Elgersma A., Dijkstra J. and Tamminga S. (eds.), Fresh Herbage for Dairy Cattle. Pp: 125-140. Retrieved March 16, 2007, from [http://library.wur.nl/frontis/perennial\\_ryegrass/07\\_tas.pdf](http://library.wur.nl/frontis/perennial_ryegrass/07_tas.pdf)
140. **Taweel H. Z., Tas B. M., Smit H. J., Elgersma A., Dijkstra J. and Tamminga. 2005.** Effects of feeding perennial ryegrass with an elevated concentration of water-soluble carbohydrates on intake, rumen function and performance of dairy cows. Animal Feed Science and Technology, 121: 243–256.
141. **Taweel K. Z. 2006.** Improving dry-matter intake of perennial-ryegrass pasture by dairy cows. In: Elgersma A., Dijkstra J. and Tamminga S. (eds.), Fresh Herbage for Dairy Cattle. Springer, Netherlands. Pp. 159-174.
142. **Theera R., Wensing T. and Geelen M. J. 1999.** Effect of fatty liver on hepatic gluconeogenesis in periparturient dairy cows. J.of Dairy Sci.; 82: 500-505.

143. **Torres I. y Carulla J. E.** 2003. Variaciones en la composición de la leche en la Sabana de Bogotá, valles de Ubaté y Chiquinquirá en los años 1997 a 1999. *Rev Col Cienc Pec* 16 (Suplemento): 69.
144. **Urbano D.** 1997. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de tres gramíneas tropicales. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 14: 129-139.
145. **Uribe H. A y Smulders J. P.** 2004. Estimación de parámetros y tendencias fenotípicas, ambientales y genéticas para características de producción de leche en bovinos overos colorados. *Arch. med. vet.*, 36 (2): 137-146.
146. **Van Soest P. J.** 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*; Cornell University Press. 476 p.
147. **Vaughan J. M., Bertrand J. A., Jenkins T. C. and Pinkerton B. W.** 2002. Effects of Feeding Time on Nitrogen Capture by Lactating Dairy Cows Grazing Rye Pasture. *J. Dairy Sci.* 85:1267–1272.
148. **Verdier-Metza I., Coulonb J-B. And Pradelc P.** 2001. Relationship between milk fat and protein contents and cheese yield. *Anim. Res.* 50: 365–371.
149. **Walker G. P., Dunshea F. R. and Doyle P. T.** 2004. Effects of nutrition and management on the production and composition of milk fat and protein: a review. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55 (10): 1009–1028.
150. **Weekes T. E. C., Richardson R. I. and Geddes N.** 1978. The effect of ammonia on gluconeogenesis by isolated sheep liver cells. *Proceedings of the Nutrition Society*, 38: 3A.

151. **Weiss W. P., Conrad H. R., and StPierre N. R. 1992.** A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Anim Feed Sci And Technol*; 39: 95-110.
152. **Welper R. D. and Freeman A. E. 1992.** Genetic Parameters for Yield Traits of Holsteins, Including Lactose and Somatic Cell Score. *J. Dairy Sci.* 1992 75: 1342-1348.
153. **Wu G. and Morris S. M. Jr. 1998.** Arginine metabolism: nitric oxide and beyond; *Biochemical Journal.* (336) 1-17.
154. **Yan T. and Agnew R. E. 2001.** The relationship between milk composition and volatile fatty acids in the rumen in cattle. *Proceedings Annual Conference, British Society of Animal Science*: 194
155. **Youngner V. B., Wright W. W. and Zimmerman E. 1971.** Kikuyugrass-Its management and control. *California Turfgrass Culture*, 21: 1 – 3.
156. **Zabala A. 2000.** Utilización de la concentración de nitrógeno ureico, grasa y proteína en leche como indicadores del balance energético y proteico en vacas lactantes. Informe de Pasantía de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 23 p.

## CAPITULO 2

### REVISIONES DE LITERATURA

#### 2.1. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión):

##### I. Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal<sup>2</sup>

Héctor Jairo Correa C<sup>1</sup>, Martha Lucia Pabón R<sup>2</sup> y Juan Evangelista Carulla F<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, hjcorreac@unal.edu.co; <sup>2</sup>Laboratorio de Nutrición Animal, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, mlpabonr@unal.edu.co; <sup>3</sup>Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá,

[jecarullaf@unal.edu.co](mailto:jecarullaf@unal.edu.co)

#### Resumen

*El pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.), no obstante ser la gramínea más utilizada en los sistemas de leche especializada en la zona andina de Colombia, presenta varios limitantes nutricionales que afectan tanto la producción como la calidad composicional de la leche. Entre los limitantes más importantes se destacan el alto contenido promedio de proteína cruda (PC) ( $20 \pm 3.26$  % de la materia seca, MS), de nitrógeno no proteico ( $> 90\%$  de la fracción soluble de la PC), potasio ( $3.69 \pm 0.77$  % de la MS) y fibra en detergente neutro ( $58.1 \pm 3.91$  % de la MS) así como el bajo contenido promedio de sodio ( $0.02 \pm 0.01$  % de la MS) y carbohidratos no estructurales ( $13.4 \pm 2.51$  % de la MS). El alto contenido de nitratos ( $5250.9 \pm 3153.7$  ppm) puede ser la causa de diversos trastornos reproductivos y sanitarios en los animales. Estas características ponen en riesgo la competitividad de los sistemas de producción de leche basados en dicha gramínea.*

**Palabras clave:** kikuyo, composición química, digestibilidad

---

<sup>2</sup> Correa HJ, Pabon ML y Carulla JE 2008 Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 20 (4), Article # 59 ISSN: 0121-3784.

### 2.1.1. Introducción.

Durante varias décadas el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst. Ex Chiov.), se ha constituido en la base de la alimentación de los sistemas de producción lechera especializada en Colombia (Carulla et al 2004, Consejo Regional de la Cadena Láctea de Antioquia 2001, Laredo y Mendoza 1982, Mila y Corredor 2004, Soto et al 1980). Esto se debe a que su hábito de crecimiento lo hace sumamente agresivo ante la invasión de otras forrajeras (Youngner et al 1971, Fukumoto y Lee 2003), a que es resistente al pisoteo (Miles et al 2000) y responde positivamente a la fertilización orgánica (Mila y Corredor 2004, Orozco 1992) y química (Rodríguez 1999, Urbano 1997). No obstante que esta gramínea se encuentra ampliamente distribuida en la región andina del país y es fácilmente reconocida por técnicos y productores, el conocimiento que existe sobre su calidad nutricional y valor alimenticio, es aún muy vago.

Los sistemas de producción de leche en Colombia respondieron por muchas décadas a las exigencias que tenían los consumidores nacionales en cuanto a la calidad de la leche y sus derivados. Fue la época dominada por el modelo económico de sustitución de importaciones (FEDEGAN 1999). El paso al modelo aperturista a finales de la década de los ochenta significó un cambio en la percepción de los consumidores y, por ende, en las exigencias del mercado no solamente sobre la calidad de la leche y sus derivados, si no, además, sobre los sistemas de producción en sí mismos, exigiendo que estos fueran más amigables con el ambiente y menos agresivos sobre los animales (FIL/ONUAA 2004). Además de lo anterior, en la actualidad los consumidores exigen que los productos provenientes de la industria láctea sean sanos y nutritivos buscando un mayor contenido de proteína verdadera (Dalgleish 1992) y un menor contenido de grasas saturadas (US FDA 2003). Pero, así mismo, buscan que estos productos aporten nutrientes esenciales para el mantenimiento y el mejoramiento de su salud (Bauman et al 2006, Huth et al 2006). Tal es el caso de los ácidos grasos linoléico conjugados  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 (Lawson 2001, MacRae et al 2005, Parodi 1999) y algunos aminoácidos y péptidos cuyos beneficios a la salud de los consumidores apenas comienzan a ser reconocidos (National Dairy Council 2006, Sukkar y Bounous 2004). Consecuente con lo anterior y a través de ajustes en los esquemas de pago de la leche a los productores, la industria láctea ha favorecido los componentes más valiosos de la leche, principalmente a la proteína (Mackle et al 1999, Pérez 2000, Rulquin et al 2004).

Este tipo de demandas, por otra parte, han tenido eco en la generación de normas que regulan la producción de leche en el país. Tal es el caso del Decreto 616 del 2006 (Ministerio de la Protección Social 2006) y la Resolución 0012 de 2007 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Sin embargo, en la búsqueda de mercados internacionales, se hace necesario realizar ajustes a estas normas de tal manera que se pueda cumplir con las exigencias de los países a los que van destinados los productos lácteos. Esto implica un cambio en los sistemas de producción de leche en el país.

Aunque en Colombia las condiciones del mercado de la leche han cambiado durante las últimas dos décadas (Holmann et al 2003), no ha pasado lo mismo con la forma en que han venido operando los sistemas de producción de leche especializada y este rezago les ha significado en los últimos años, pérdidas en su competitividad frente a un mercado cada vez más exigente. De mantener el *statu quo* en estos sistemas de producción, va a ser muy difícil que cumplan con los niveles mínimos de calidad que se exige actualmente y, menos aún, con las exigencias futuras. Lo anterior significa que es necesario ajustar los sistemas de producción de leche a las actuales condiciones del mercado, lo que implica reevaluar el manejo que tradicionalmente se le ha venido dando, entre otros componentes, a la alimentación y, dentro de esta, a la base forrajera – el pasto kikuyo.

Es por ello que el objetivo de este trabajo fue revisar la información existente sobre el valor nutricional y alimenticio del pasto kikuyo para la producción de leche en Colombia a la luz de los retos actuales y futuros que tienen que enfrentar los sistemas de producción de leche en el país.

### **2.1.2. Composición química.**

En la tabla 2.1.1 se presenta un resumen de los resultados de la composición química de muestras de pasto kikuyo recolectadas en varias regiones de Antioquia (Correa 2006a).

**Tabla 2.1.1.** Composición química del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Hoechst. Ex Chiov.) en muestras recolectadas en varias localidades del departamento de Antioquia.

	PC	EE	Cen	FDN	FDA	CNE
Porcentaje de la MS						
Promedio	20.5	3.63	10.6	58.1	30.3	13.4
Máximo	27.1	4.71	13.9	66.9	32.8	17.2
Mínimo	15.4	1.63	8.65	51.7	28.3	8.93
D. E.	3.26	0.82	1.71	3.91	1.20	2.51
C. V., %	15.9	22.6	16.1	6.73	3.95	18.7
n	39.0	27.0	27.0	36.0	19.0	23.0

<sup>1</sup> D. E. = Desviación estándar; PC = proteína cruda; EE = extractor etéreo; Cen = cenizas; FDN = fibra en detergente neutro; FDA = fibra en detergente ácido; CNE = carbohidratos no estructurales (CNE = 100 - (PC + EE + FDN + Cen) + PCIDN (Proteína Cruda Insoluble en Detergente Neutro), NRC 2001).

### 2.1.2.1. Proteína.

El contenido promedio de PC en este pasto (20.5%) es similar al reportado por otros autores en Antioquia (Osorio 1999, Naranjo 2002) pero más alto que el reportado por Apráez y Moncayo (2000) en el departamento de Nariño (11.4 a 15.8%) y más bajo que el hallado por León et al (2007) en el departamento de Cundinamarca (22.9%). Los promedios hallados en Antioquia y Cundinamarca son ligeramente más altos que el requerimiento para vacas Holstein de alta producción al inicio la lactancia (NRC 2001)<sup>3</sup> lo que indica que en general, el pasto kikuyo aporta más proteína que la requerida por los animales a lo largo del periodo productivo. El alto contenido de proteína en este pasto se debe a que normalmente es sometido a intensos programas de fertilización nitrogenada (Carulla 1999, Rodríguez 1999) y es pastoreado a edades más cortas que en el pasado (Laredo y Mendoza 1982).

El acceso a fertilizantes nitrogenados de bajo costo ha sido uno de los factores que más ha contribuido a la especialización de los sistemas de producción agropecuarios en el mundo (Hart et al 1997). La ganadería de leche en Colombia no ha escapado a esta tendencia, siendo una práctica común en los sistemas intensivos el uso de fertilizantes nitrogenados, particularmente la urea, luego de cada pastoreo (Soto et al 2005). Esto se

<sup>3</sup> El requerimiento de PC estimado para una vaca de 680 kg, al inicio de la lactancia, produciendo 40 litros de leche con 3.5% de grasa y 3.0% de proteína es de 20.3% (NRC, 2001: tabla 14-4).

debe a los efectos positivos que son visibles a los productores y que hace tan atractiva la aplicación de estos fertilizantes: la fertilización nitrogenada es la forma más generalizada de incrementar la biomasa forrajera y, en consecuencia, de incrementar la carga animal y la producción por hectárea (Urbano 1997). Pero, por otro lado, la fertilización nitrogenada permite el pastoreo a edades más tempranas con lo que la producción por animal se incrementa al consumir pastos de mayor digestibilidad (Caro y Correa 2006, Rodríguez 1999).

La fertilización nitrogenada, sin embargo, conlleva a modificaciones en la calidad nutricional de las pasturas, que no son visibles a los productores, pero que generan muchos efectos negativos a nivel productivo (Van Horn et al 1994), reproductivo (Butler 1998, Correa 2002), económico (Vandehaar 1998, Hanigan 2005) y ambiental (Knowlton 1998, Lapierre et al 2005) que ponen en riesgo la sostenibilidad y competitividad de los sistemas de producción basados en esta gramínea. Una de estas modificaciones es precisamente el incremento en el contenido de proteína cruda (Orozco 1992, Rodríguez 1999, Soto et al 1980, Urbano 1997) alcanzando ocasionalmente valores superiores al 25.0% de la MS (Montoya et al 2004, Osorio 1999).

Como se señaló anteriormente, en los sistemas de lechería especializada es una práctica común la aplicación de nitrógeno después de cada pastoreo. Soto et al (2005) encontraron, sin embargo, que esta práctica no es necesaria cuando se trata de conservar la calidad nutricional del pasto kikuyo. En su trabajo, estos autores dejaron de aplicar N durante cuatro cortes cada 30 días o dos cortes cada 60 días a parcelas de pasto kikuyo sin que observaran diferencias significativas en la calidad nutricional de este pasto, incluida la proteína, cuyo promedio permaneció en 19.04%. Los autores argumentaron que esto podría ser debido a la presencia de nutrientes remanentes en el suelo, que serían suficientes para conservar la composición química de este gramínea. Rodríguez (1999), por su parte, tampoco encontró diferencias en el contenido de PC entre praderas mezcladas con kikuyo y rye grass que fueron fertilizadas y aquellas que no lo eran ( $p>0.05$ ). En las primeras el contenido de PC fue  $18.9 \pm 3.4\%$  mientras que en las segundas fue  $17.8 \pm 2.6\%$ . Estos resultados sugieren la necesidad de revisar los programas de fertilización de las praderas, no solo en términos de la frecuencia de su aplicación, si no además, en las cantidades aplicadas y las fuentes de nutrientes. Esta es

la tendencia que han venido mostrando desde hace algunos años los países desarrollados, en los que el impacto ambiental que ha generado la sobrecarga de nutrientes en las praderas, debido al uso indiscriminado de fertilizantes, los ha obligado a revisar los programas de fertilización. Al respecto la tendencia es clara: reducción en los niveles de aplicación de nutrientes al suelo (Castillo 2004, Nielsen y Kristensen 2005, Peyraud 2000).

La edad a la cual son pastoreados los potreros de kikuyo, por su parte, también ha alterado la calidad nutricional de este pasto. Es bien sabido que en la medida en la que se incrementa la edad de rebrote, menor es la digestibilidad y, por ende, el valor nutricional de los pastos (Lyons et al 1997), incluyendo al kikuyo (Caro y Correa 2006, Fukumoto y Lee 2003, Kamstra et al 1966, Rodríguez 1999). Es por esta razón que el pastoreo a edades cada vez menores, es la alternativa que encuentran los productores para compensar las mayores demandas nutricionales y energéticas del ganado lechero, a medida que se ha incrementado su valor genético para la producción de leche.

#### **2.1.2.1.1. Contenido de aminoácidos.**

Parra (2000) evaluó el contenido de aminoácidos en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia a diferentes edades de corte (30, 40, 50 y 60 días) y que presentaban diferente contenido de PC (Tabla 2.1.2). En su trabajo se hizo evidente un incremento en la concentración de los aminoácidos a medida que se incrementó el contenido de PC en el pasto. El análisis del perfil de aminoácidos esenciales de esta gramínea, indica que la calidad de la proteína de este pasto es menor que el que se ha reportado para la proteína bacteriana que se produce en el rumen (Clark et al 1992). Así, los aminoácidos esenciales con menor concentración relativa en el pasto kikuyo son en su orden, lisina, metionina, isoleucina, treonina, leucina, arginina y valina. Esto los convertiría en los aminoácidos más limitantes si se considera que una fracción de la proteína de este pasto escapa a la degradación ruminal y es digerida en el tracto post-ruminal (Caro y Correa 2006, Monsalve 2004). La fenilalanina y la histidina son los únicos aminoácidos que superan los valores encontrados en la proteína bacteriana del rumen.

**Tabla 2.1.2.** Contenido de proteína cruda (PC) y de aminoácidos en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia a diferentes edades de corte<sup>1</sup>.

	<b>Edad de corte, días</b>			
	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>
	<b>PC, % de la MS</b>			
	<b>17.8</b>	<b>14.4</b>	<b>14.4</b>	<b>12.2</b>
	<b>Aminoácidos, % de la MS</b>			
<b>Ala</b>	1.26	0.91	0.87	0.77
<b>Arg</b>	0.83	0.60	0.54	0.50
<b>Asp</b>	2.44	2.20	2.50	1.80
<b>Cys</b>	0.20	0.16	0.16	0.14
<b>Glut</b>	1.84	1.34	1.30	1.17
<b>Gly</b>	0.78	0.59	0.54	0.50
<b>His</b>	0.39	0.30	0.31	0.25
<b>Ile</b>	0.75	0.55	0.51	0.47
<b>Leu</b>	1.27	0.91	0.78	0.78
<b>Lys</b>	0.90	0.67	0.61	0.57
<b>Met</b>	0.31	0.23	0.23	0.20
<b>Phe</b>	0.95	0.77	0.73	0.63
<b>Pro</b>	0.99	0.72	0.72	0.78
<b>Ser</b>	0.83	0.72	0.71	0.60
<b>Thr</b>	0.77	0.60	0.59	0.52
<b>Val</b>	1.07	0.84	0.86	0.71

<sup>1</sup>Datos tomados de Parra (2000)

El contenido de aminoácidos del pasto kikuyo parece ser muy similar al del rye grass, excepto en que el contenido de metionina y cisteína son 68 y 57%, más bajos (Reeves et al 1996). Dennison y Phillips (1983), al evaluar el contenido de aminoácidos de los productos de la digestión en ensayos *in vitro*, estimaron que, en el caso del pasto kikuyo, la histidina es el aminoácido más limitante, seguido de lisina y metionina. Esto contrasta con el hecho de que la histidina tenga una concentración superior a la de la proteína microbiana y como lo señalan Tedeschi et al (2001), en el caso de los forrajes, el perfil de aminoácidos de la proteína que escapa a la degradación ruminal es similar al de la proteína en el pasto. Estos autores compararon el perfil de aminoácidos de cinco residuos (forraje original, residuo en buffer de borato-fosfato (BPR), residuo de fibra en detergente neutro con (FDN+) y sin sulfito de sodio (FDN-) y residuo en fibra en

detergente ácido (FDA)) de ocho forrajes y seis leguminosas de origen tropical y de zona templada y no encontraron diferencias en la composición de aminoácidos en el residuo en BPR, en comparación a la composición de los forrajes originales. Ahora, dado que el residuo en BPR se asume que contiene la proteína que escapa a la degradación ruminal (Sniffen et al 1992), Tedeschi et al. (2001) sugieren que la composición de aminoácidos del forraje original puede ser utilizada como un indicador del perfil de aminoácidos de la proteína no degradada en rumen. De esta manera, teniendo en cuenta el bajo perfil de aminoácidos esenciales en el pasto kikuyo comparado con el de la proteína microbiana, no sería aventurado afirmar que es más provechoso para el animal hospedero que la proteína de este pasto se degradara en el rumen y se transformara en proteína microbiana, reduciendo el escape de la misma hacia el duodeno (Correa 2006a). Por el contrario, Marais (2001) sugiere reducir la degradación de las proteínas en el rumen y, en consecuencia, las pérdidas de aminoácidos seleccionando plantas con alto contenido de aminoácidos azufrados ya que estos, al formar puentes disulfuro, incrementan la estabilidad de las proteínas y reducen su degradabilidad.

#### **2.1.2.1.2. Fracciones de proteína.**

En la caracterización de la proteína de los alimentos para rumiantes se han utilizado tanto métodos *in vivo*, como métodos *in situ* e *in vitro* (Schwab et al 2003) apareciendo diversas fracciones, dependiendo del método empleado. Así, con el método *in situ* (Ørskov y McDonald 1979) se pueden discriminar hasta tres fracciones, en tanto que con el método *in vitro* adoptado por el modelo de Carbohidratos y Proteínas Netas de Cornell (Sniffen et al, 1992) se obtienen cinco fracciones.

##### **2.1.2.1.2.1. Método *in situ*.**

El método *in situ*, el más ampliamente utilizado para evaluar la cinética ruminal de las proteínas (Bach et al 1998, Michalet-Doreau y Nozière 1999, Schwab et al 2003), ha sido incluido en el modelo desarrollado por el Consejo Nacional de Investigaciones de los Estados Unidos para ganado lechero (NRC 2001) y, así mismo, ha sido adoptado como el método de elección en diversos países (Schwab et al 2003), incluido Colombia (Correa 2006a). Las tres fracciones de la proteína que son identificadas a través de este

método incluyen a la fracción soluble (fracción *a*), la fracción potencialmente degradable (fracción *b*) y la fracción no degradable en el rumen (fracción *c*).

#### 2.1.2.1.2.1.1. Fracción soluble (fracción *a*).

En el método *in situ*, la fracción *a* corresponde a la fracción proteica que rápidamente desaparece de la bolsa de nilón (NRC 2001). Se presume que esta fracción es rápida y completamente degradada en el rumen (Hedqvist 2004, NRC 2001, Schwab et al 2003) e incluye al nitrógeno no protéico (NNP) y una pequeña fracción de proteínas de alta solubilidad (NRC 2001, Schwab et al 2003). Las proteínas asociadas a partículas de alimento que logran escapar a través de los poros de las bolsas de nilón también son incluidas en esta fracción (Schwab et al 2003). Estas últimas, sin embargo, son el resultado de un error metodológico asociado al tamaño de la partícula y que, en última instancia, conducen a la sobreestimación de la fracción soluble (Emmanuele y Staples 1988). En promedio, el 31.2% de la PC del pasto kikuyo esta representado por la fracción *a* con una variación que oscila entre el 18.9 y el 42.9 % (Tabla 2.1.3).

**Tabla 2.1.3.** Fracciones de la proteína cruda de muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia estimadas por el método *in situ*.

	Fracciones de la PC		
	<i>a</i> <sup>1</sup>	<i>b</i>	<i>c</i>
<b>Promedio</b>	31.2	62.5	12.7
<b>Máximo</b>	42.9	72.2	19.5
<b>Mínimo</b>	18.9	44.9	7.07
<b>D. E.</b>	5.21	8.50	4.66
<b>C. V., %</b>	16.7	13.6	36.7

<sup>1</sup>a = fracción soluble; b = fracción potencialmente degradable; c = fracción no degradable; D. E. = Desviación Estándar; C. V = coeficiente de variación.

#### 2.1.2.1.2.1.1.1. Nitrógeno no protéico (NNP).

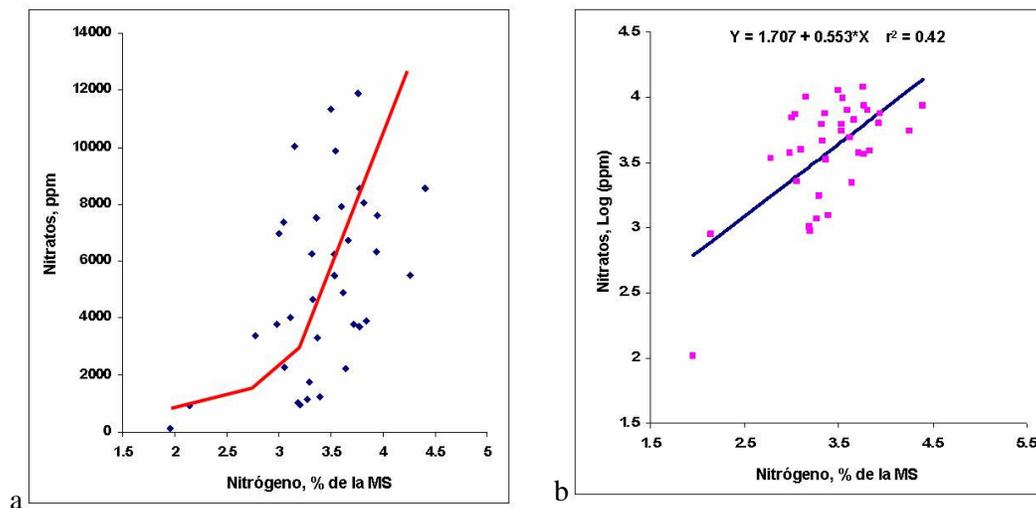
El NNP en los alimentos en general, esta constituido por compuestos nitrogenados de bajo peso molecular, tales como péptidos, aminoácidos libres, ácidos nucleicos, aminos, amidas y amonio (NRC 2001) y puede representar entre el 90 y el 100% de la fracción

soluble (Carulla 1999). Van Soest (1994), indica que en pastos frescos esta fracción esta fundamentalmente constituida por péptidos, nitratos y aminoácidos no esenciales, entre los que se destacan glutamina, asparagina y el ácido aminobutírico. Rodríguez (1999) encontró que el NNP en praderas de kikuyo y ryegrass (*Lolium perenne* L) comprendía entre el 82 y el 100% de la fracción soluble y que esta, a su vez, correspondía a cerca del 40% del N de la planta (ver Tabla 2.1.4). Otros autores, por el contrario, han reportado valores más bajos. Así, Messman et al (1994) encontraron que el NNP representó el 8.1 y el 12.2% de la PC en muestras de *Festuca arundinacea* Schreb y *Lolium perenne* L, respectivamente.

Los nitratos hacen parte del NNP, encontrándose en cantidades detectables en prácticamente todas las plantas. Minson (1990) indica que la concentración de nitratos en forrajes se incrementa rápidamente después de la fertilización nitrogenada disminuyendo a una tasa que es dependiente del nivel de N aplicado. La acumulación excesiva de este compuesto ocurre cuando su absorción excede la capacidad de utilización por las plantas para la síntesis de aminoácidos y otros compuestos nitrogenados (Strickland et al 1996). Este es el caso del pasto kikuyo (Marais 2001). Read y Fulkerson (2003) observaron que cuando el nivel de N en el pasto kikuyo supera el 3.5 de la MS (lo que equivale al 22% de PC como porcentaje de la MS), el contenido de nitratos se incrementa dramáticamente. Un comportamiento similar se pudo observar en muestras de pasto kikuyo evaluadas en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad Nacional, sede Medellín (figura 1a). Al hacer la transformar logarítmica de la concentración de nitratos y relacionarlo con el contenido de nitrógeno se observó una relación lineal estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) (figura 1b).

Niveles elevados de nitratos pueden poner en riesgo la salud de los animales, debido a su conversión en nitrito, un compuesto tóxico. Los rumiantes son particularmente susceptibles, ya que durante la reducción de nitrato a amonio por microorganismos en el rumen, aparece el nitrito como un intermediario. Bajo ciertas circunstancias, la tasa de formación de nitritos puede exceder la tasa de reducción de esos a amonio, resultando en el incremento en la concentración de nitritos (Gloser 2002, Marais et al 1988). Los nitritos absorbidos hacia el torrente sanguíneo reaccionan con la hemoglobina para formar metahemoglobina, impidiendo que el oxígeno se una a la hemoglobina, resultando en cianosis y, en casos muy severos, en la muerte de los animales (Marais

1997). Strickland et al (1996) señalan que cuando la concentración de nitratos supera las 5000 ppm, comienzan a aparecer problemas en los animales, tales como abortos al final de la gestación o el nacimiento de animales débiles. Así mismo, se puede reducir tanto la tasa de crecimiento de los animales como el nivel de producción de leche. Los problemas más graves, sin embargo, se pueden esperar cuando la concentración de nitratos supera las 10000 ppm. Los datos presentados en la figura 1a muestran que 18 de las 36 muestras de pasto kikuyo analizadas (50.0%) presentaron una concentración de nitratos superior a 5000 ppm y que en 3 de estas muestras (8.3%) la concentración superó las 10000 ppm. Dugmore et al (1986) indican que cuando el contenido de PC en pasto kikuyo supera el 20% de la MS, los niveles de nitratos asociados pueden ser potencialmente tóxicos para los animales. De acuerdo a la ecuación de la figura 1b, el contenido de nitratos supera las 5000 ppm cuando la concentración de PC es superior a 22.5%, un valor muy similar al sugerido por Dugmore et al (1986).



**Figura 2.1.1a.** Relación entre el contenido de N en el pasto kikuyo y el contenido de Nitratos. Contenido promedio de nitratos fue de  $5250.9 \pm 3153.7$  ppm

**Figura 2.1.1b.** Ecuación de regresión entre el contenido de N en el pasto kikuyo y el logaritmo del contenido de Nitratos.

Aunque no son muchos los casos de muerte de animales intoxicados con nitritos al ser alimentados con pasto kikuyo, las concentraciones subclínicas podrían tener un efecto

importante en el comportamiento productivo y reproductivo de los animales, no obstante que no se halla evaluado (Marais 2001).

#### **2.1.2.1.2.1.1.2. Proteínas de alta solubilidad.**

Las proteínas en las hojas de los vegetales se encuentran principalmente como proteínas citoplasmáticas y cloroplásticas. Las enzimas fotosintéticas asociadas a los cloroplastos son, a su vez, las más numerosas (Van Soest 1994). La proteína soluble más importante en las hojas de los vegetales es la ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa (E.C. 4.1.1.39) conocida comúnmente como RuBisCo (Taiz y Zeiger 2006). Dhingra et al (2004) indican que esta es la enzima más abundante del planeta y representa entre el 30 y el 50% de las proteínas solubles en los cloroplastos de las hojas de los vegetales. Aunque no hay reportes sobre el contenido de esta proteína en el pasto kikuyo, si los hay para otras gramíneas forrajeras. Así, Messman et al (1994) encontraron que esta enzima representó el 42% de las proteínas en *Lolium perenne* L y el 49% en *Festuca arundinacea* Schreb y en *Dactylis glomerata* L. Esta enzima esta constituida por dos subunidades con pesos moleculares distintos y aunque ambas subunidades son extensamente degradadas *in vitro*, la subunidad mayor es más susceptible a dicha degradación (Messman et al 1994).

#### **2.1.2.1.2.1.1.2. Fracción potencialmente degradable (fracción b).**

La extensión de la degradación ruminal de esta fracción depende tanto de la constante de cinética de degradación ruminal (*kd*) como de la constante de cinética de pasaje ruminal (*kp*) (NRC 2001). En el caso particular del pasto kikuyo, la estimación de esta fracción mediante el método *in situ* en muestras recolectadas en Antioquia ha arrojado valores que van desde 44.9 (Correa y Marín 2002) hasta 72.2% (Soto y Valencia 2004) de la PC (Tabla 2.1.3). Estas variaciones podrían estar asociadas al nivel de fertilización al que sometidas las praderas de kikuyo, ya que se ha reportado que a medida que se incrementa la fertilización con fuentes nitrogenadas, se presenta un incremento en la fracción *a* en detrimento de la fracción *b* (Rodríguez 1999). Otros autores, sin embargo, no encontraron diferencias en el porcentaje de esta fracción ni en el contenido de PC en el pasto kikuyo en función de la fertilización nitrogenada (Soto et al 2005).

### **2.1.2.1.2.1.3. Fracción no degradable (fracción *c*).**

La fracción *c* de la proteína corresponde a la fracción que no es degradada en el rumen (NRC 2001). El cálculo de esta fracción en el pasto kikuyo mediante método *in situ*, ha arrojado valores que oscilan entre el 7.1 y 19.5% de la PC en el pasto kikuyo (Tabla 2.1.3). El cálculo de la fracción *c* se realiza como la diferencia aritmética entre la PC total y la suma de las fracciones *a* y *b*. Se considera que esta fracción pasa intacta al intestino delgado (NRC 2001).

### **2.1.2.1.2.2. Método *in vitro*.**

Uno de los métodos más complejos y detallados para evaluar la cinética ruminal de las proteínas de los alimentos es el Sistema de Carbohidratos y Proteínas Netas de Cornell (SCPNC) (Sniffen et al 1992). Este sistema, basado en evaluaciones *in vitro*, permite describir cinco fracciones en las proteínas que son denominadas como fracción A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> y C.

#### **2.1.2.1.2.2.1. Fracción A.**

La fracción A en el SCPNC corresponde conceptualmente a la fracción A en el método *in situ* (Schwab et al 2003). Esta fracción es, sin embargo, estimada químicamente como la proporción de la PC que es soluble en una solución tampón de borato-fosfato, sin que se precipite con el ácido tricloro-acético o túngstico (Fox et al 2003, Licitra et al 1996, Sniffen et al 1992). Dicha fracción esta constituida principalmente por NNP (Licitra et al 1996, Sniffen et al 1992, Van Soest 1994). Rodríguez (1999), trabajando con muestras de pasto kikuyo y rye grass recolectadas en los Valles de Chiquinquirá (Boyacá) y Simijaca (Cundinamarca) (altiplano cundiboyacence) y utilizando las técnicas descritas por Licitra et al (1996) encontró una mayor concentración de esta fracción en las muestras provenientes de los potreros fertilizados (Tabla 2.1.4).

#### **2.1.2.1.2.2.2. Fracción B<sub>1</sub>.**

La fracción B<sub>1</sub> de las proteínas dentro del SCPNC se calcula como el porcentaje de la PC total que es soluble en la solución tampón de borato-fosfato, pero que se precipita en

la solución del ácido tricloro acético o túngstico (Fox et al 2003, Licitra et al 1996, Snnifen et al 1992). La Tabla 2.1.4 indica que esta fracción representa un porcentaje menor de la PC y que su concentración se reduce con la fertilización nitrogenada (Rodríguez 1999).

#### 2.1.2.1.2.2.3. Fracción B<sub>2</sub>.

La fracción B<sub>2</sub> de las proteínas es calculada como la diferencia entre la PC total del alimento y la suma de las demás fracciones (Snnifen et al 1992). Rodríguez (1999) estimó que la concentración de esta fracción en mezclas de pasto kikuyo y rye grass en el altiplano cundi-boyacence (Tabla 2.1.4) corresponde, en promedio, al 40% de la PC total.

**Tabla 2.1.4.** Contenido de proteína cruda y tres fracciones de la proteína en mezclas de pasto kikuyo y rye grass provenientes del altiplano cundi-boyacence fertilizadas y sin fertilizar<sup>1</sup>.

	Tratamientos			<i>p</i>
	SF <sup>2</sup>	F	EEM <sup>3</sup>	
PC, % MS	17.8	18.9	10.7	0.30
A, % PC	29.8	40.7	112	0.04
B <sub>1</sub> , % PC	7.41	1.24	67.2	0.05
B <sub>2</sub> , % PC	43.3	39.9	96.2	0.48
C, % PC	20.1	19.7	58.5	0.86

<sup>1</sup>Datos tomados de Rodríguez (1999)

<sup>2</sup> SF = sin fertilizar; F = fertilizadas

<sup>3</sup> Error Estándar de la Media

#### 2.1.2.1.2.2.4. Fracción B<sub>3</sub>.

Una porción de la proteína cruda de los forrajes se encuentra ligada a la fibra en detergente neutro (NIDN) y otra, más baja, a la fibra en detergente ácido (NIDA). En el SCPNC, la fracción B<sub>3</sub> se calcula como la diferencia entre el NIDN y el NIDA (Snnifen et al 1992), representando a la fracción con menor degradabilidad en el rumen dentro de las fracciones potencialmente degradables y, por lo tanto, una de las fracciones que tienen las mayores posibilidades de escapar a la degradación ruminal.

Los datos de la Tabla 2.1.4 indican que la NIDN en el pasto kikuyo corresponde a aproximadamente el 21.5% de la PC y que la diferencia entre esta fracción y el NIDA, que corresponde a la fracción B<sub>3</sub>, es el 2.3% de la PC total.

#### 2.1.2.1.2.2.5. Fracción C.

El NIDA es considerado insoluble y no degradable en el rumen y representa a la fracción C en el SCPNC (Sniffen et al 1992). Contiene proteínas asociadas a la lignina o a los taninos y, en el caso de alimentos que se someten a altas temperaturas, a la proteína que forma los productos de la reacción de Maillard (Sniffen et al 1992). En las pruebas de degradación *in situ*, corresponde a la fracción *c* (NRC 2001, Sniffen et al 1992).

El contenido de NIDA en las muestras de pasto kikuyo analizadas en Antioquia, representa en promedio el 7.0% de la PC (Tabla 2.1.5) contrastando con los valores reportados por Rodríguez (1999) en el altiplano cundiboyacence (Tabla 2.1.4). Como habría de esperarse, existe una alta correlación entre NIDA y la lignina. Esta es, sin embargo negativa ( $r = -0.92$ ) indicando, no necesariamente un menor contenido de NIDA a medida que se incrementa la lignina en este pasto, si no, más bien la dilución de la NIDA a medida que se incrementa no solo la lignina si no, en general, las fracciones fibrosas que hacen parte de la MS.

**Tabla 2.1.5.** Contenido de proteína cruda, nitrógeno insoluble en detergente neutro (NIDN), nitrógeno insoluble en detergente ácido (NIDA) y fracción B<sub>3</sub> en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia.

	PC	NIDN	NIDA	B <sub>3</sub>
	Porcentaje de la PC			
<b>Promedio</b>	20.5	21.5	7.00	14.2
<b>Máximo</b>	27.1	29.8	18.9	22.1
<b>Mínimo</b>	15.4	14.5	2.65	1.14
<b>C. V., %</b>	15.9	18.9	48.8	34.9
<b>n</b>	39	23	23	23

### 2.1.2.1.2.3. Proteína degradable y no degradable en rumen.

Como se señaló anteriormente, la fertilización nitrogenada no solo incrementa la proteína de los forrajes. También modifica la composición de esta fracción incrementando el nitrógeno no proteico y, por ende, la proteína degradable en el rumen (Carulla 1999, Rodríguez 1999). En la Tabla 2.1.6 se presenta un resumen de los valores estimados de la degradabilidad efectiva de la proteína en el rumen de 21 muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia.

En esta tabla se puede apreciar que, en promedio, el 55% de la PC se degrada en el rumen. Existe, sin embargo, una alta variabilidad en los parámetros de cinética ruminal de esta gramínea (Tabla 2.1.3) lo que implica que los datos tabulados deben ser utilizados con mucha reserva para la formulación de raciones y que, para mejorar la precisión en la formulación, es necesario hacer análisis directos mediante pruebas *in situ* o *in vitro*.

**Tabla 2.1.6.** Proteína degradable (PDR) y no degradable en rumen (PNDR) en muestras de pasto kikuyo en Antioquia.

<b>Alimento</b>	<b>PC</b>	<b>PDR</b>	<b>PNDR</b>
<b>Promedio</b>	19.0	54.6	45.4
<b>Máximo</b>	21.5	63.2	57.1
<b>Mínimo</b>	16.6	42.9	36.8
<b>C. V., %</b>	10.0	7.20	8.67

La importancia de la PDR reside en que su destino más útil es la síntesis de proteína microbiana (Klopfenstein 1996). Sin embargo, como se discutirá más adelante, la eficiencia con la que la PDR se utilice para este fin depende de la concentración de azúcares fermentables en el rumen (Bach et al 2005).

### 2.1.2.1.2.4. Digestibilidad posruminal de la proteína.

Muy pocos trabajos han reportado datos de digestibilidad posruminal de alguna fracción nutricional del pasto kikuyo no obstante la importancia que tiene este tipo de información. En la Sede de Medellín de la Universidad Nacional de Colombia se han adelantado tres trabajos para estimar la digestibilidad posruminal de la proteína cruda

(DPRPC) en este pasto. En el primer trabajo, Castañeda y Duque (2005) apelaron a la técnica de los Tres Pasos (Calsamiglia y Stern 1995) utilizando las muestras evaluadas por Soto et al (2005). Estas mismas muestras también fueron utilizadas por Monsalve (2004) para estimar la DPRPC, basado, en su trabajo, en el uso de bolsas móviles de nilón suministradas oralmente a cerdos en levante como modelo biológico (Mustafa et al 2000). En la Tabla 2.1.7 se presentan los resultados conjuntos de estos dos trabajos.

**Tabla 2.1.7.** Digestibilidad posruminal de la PC en el pasto kikuyo evaluado mediante la técnica de las bolsas móviles de nilón y la técnica de los tres pasos.

<b>Muestra<sup>1</sup></b>	<b>DPRPC (%)</b>	
	<b>TP<sup>2</sup></b>	<b>BM</b>
<b>Kikuyo 30SF</b>	52.5a	58.0
<b>Kikuyo 60SF</b>	56.2a	62.5
<b>Kikuyo 30CF</b>	43.4b	56.4
<b>Kikuyo 60CF</b>	45.4b	57.5
<b>Promedio</b>	49.4	58.5
<b><i>p</i></b>	0.014	0.54
<b>CME</b>	26.5	39.0
<b>C. V</b>	10.4	10.6

<sup>1</sup> 30SF = 30 días de rebrote sin fertilización nitrogenada; 60SF = 60 días de rebrote sin fertilización nitrogenada; 30CF = 30 días de rebrote con fertilización nitrogenada; 60SF = 60 días de rebrote con fertilización nitrogenada; <sup>2</sup> TP = Técnica de los tres pasos (Castañeda y Duque 2005); BM = Técnica de la bolsa móvil (Monsalve 2004).

En estos trabajos, las muestras del pasto kikuyo se recolectaron a los 30 ó 60 días de rebrote en parcelas que habían sido sometidas a fertilización con el equivalente a 0 ó 50 kg de N/ha/corte a partir de urea. Antes de la evaluación de la digestibilidad posruminal, las muestras fueron incubadas en el rumen durante 16 horas y luego, los residuos fueron sometidos a las pruebas de digestibilidad posruminal. En el caso de Castañeda y Duque (2005), los residuos fueron incubados en una solución de HCl / Pepsina durante una hora para, posteriormente, ser incubados en una solución de Pancreatina / Buffer durante 24 horas a 38°C.

En el caso de la evaluación adelantada por Monsalve (2004), los residuos de la incubación ruminal fueron empacados en bolsas de nilón de 1.5 x 2.5 cm, selladas al calor y posteriormente, introducidas oralmente y al azar en cuatro cerdos machos

castrados de 60 Kg de peso. Las bolsas fueron recuperadas en las heces, lavadas, secadas y evaluadas para estimar la DPRPC.

Como se puede apreciar en la Tabla 2.1.7, con la técnica de los tres pasos se observaron diferencias entre las muestras sin fertilizar y aquellas que fueron fertilizadas con nitrógeno ( $p < 0.05$ ) no obstante que en ninguna otra variable, excepto en el contenido de cenizas y EE, se observaron diferencias entre la edad de corte y el nivel de fertilización nitrogenada (Soto et al 2005).

Los resultados obtenidos por Monsalve (2004) son más coherentes con los otros resultados observados en estas mismas muestras del pasto kikuyo analizadas por Soto et al (2005) ya que estos últimos autores no encontraron diferencias en el contenido ni en la cinética de la degradación ruminal de este pasto, debidas a la edad de corte o al nivel de fertilización nitrogenada. Por tal razón, no habría de esperarse diferencias en la DPRPC. El promedio obtenido por este autor para esta variable (58.6%) fue muy similar a la hallada por Caro y Correa (2006) en un experimento llevado a cabo posteriormente. Estos últimos autores utilizaron dos vacas holstein canuladas en el duodeno para estimar la DPRPC en muestras de pasto kikuyo cosechadas a dos edades de rebrote y cuyo promedio fue 57.6%.

Los valores encontrados por estos últimos autores (Monsalve 2004, Caro y Correa 2006), fueron ligeramente más bajos que los sugeridos por el NRC (2001) para henos de gramíneas con contenidos de FDN similares a los hallados en las muestras de pasto kikuyo evaluadas en estos trabajos. Igualmente, estos valores son más bajos que el asumido por varios sistemas de valoración de la proteína para rumiantes (80%) (Van der Honing y Alderman 1988). Este dato de 80% para la DPRPC fue el que se utilizó en la publicación del NRC para ganado lechero de 1989 y para ganado de carne en 1996. El sistema nórdico (NKJ-NJF 1985) asumía un valor de 53% para forrajes en tanto que para los alimentos concentrados era de 70%. Vérité et al (1987), por su parte, asignaron valores dependiendo del tipo de alimento los que oscilaban entre 50 y 90%. En otra publicación francesa (Jarrige 1989) estos valores fueron mucho más variables oscilando entre 25 y 95%, dependiendo, así mismo, del alimento evaluado, mientras que el sistema inglés (ARC 1984) asumía el dato de 80%, similar al que utilizaba el NRC

(1989, 1996). Según Erasmus et al (1990) estos últimos datos son demasiado altos para forrajes, pero quizás más consistentes con lo que se pudiera esperar en concentrados.

La digestibilidad posruminal de la PC en los rye grasses (*Lolium perenne*) parece ser más alta que en el pasto kikuyo. Así lo muestran los resultados de Van Straalen et al (1993) quienes estimaron que la digestibilidad posruminal de la PNDR medida con bolsas móviles, fue del 84.3% para una digestibilidad total de la PC del 93%. Las muestras de rye grass evaluadas por estos autores, sin embargo, presentaron un menor contenido de FDN (51.3% de la MS) indicando que se trata de un pasto de mejor calidad que el kikuyo evaluado en este trabajo. Cone et al (2006), así mismo, encontraron que la digestibilidad posruminal de la PNDR en pasto rye grass, fue del 83% para una digestibilidad total de la PC de 90.8%. La DPRPC en el pasto kikuyo, por otro lado, parece ser más alta que en pastos tropicales tal y como lo muestran los resultados hallados por Mgheni et al (1996). Estos autores estimaron la digestibilidad intestinal de la PNDR de siete pastos tropicales mediante el sistema finlandés de evaluación de proteínas, encontrando que esta osciló entre 0% para *Panicum maximun* y 36.5% para *Chloris gayana*.

La digestibilidad promedio total de la PC del pasto kikuyo calculada a partir de la suma de la PDR y DPRPC, oscila entre 80 y 82% de la PC (Monsalve 2004, Caro y Correa 2006).

#### **2.1.2.2. Extracto etéreo.**

El EE en los forrajes está compuesto por triacilglicéridos en las semillas, y galactolípidos y fosfolípidos en las hojas (Van Soest 1994). El contenido de EE en el pasto kikuyo encontrado en las muestras recolectadas en Antioquia (Tabla 2.1.1) se encuentra dentro de los valores esperados para pastos tropicales (Van Soest 1994). En el caso particular del pasto kikuyo, Miles et al (2000) reportan valores que oscilan entre 0.56 y 5.81% de la MS.

El contenido de EE, sin embargo, no es un parámetro suficiente para establecer al valor nutricional de los alimentos para rumiantes, debido a la relación que se ha evidenciado entre el contenido de ácidos grasos saturados e insaturados en la leche y la carne bovina

y la salud de los consumidores (Bauman et al 1999). En el caso particular del ganado lechero, se ha establecido una relación directa entre su contenido de ácidos grasos saturados e insaturados en la leche y la cantidad de forraje consumido por las vacas (Dhiman et al 1999). Esto se debe, en buena medida, a la composición de ácidos grasos en los forrajes.

#### 2.1.2.2.1. Ácidos grasos saturados.

En general, el contenido de ácidos grasos saturados en los forrajes representa un porcentaje bajo del EE total (Bauchart et al 1984, Czerkawski 1967). De estos, los más abundantes son el ácido palmítico (C16:0) y el ácido esteárico (C18:0) (Bauchart et al 1984). El pasto kikuyo no parece ser la excepción, como lo muestran los datos obtenidos por Carulla (Comunicación personal) en muestras tomadas en la Sábana de Bogotá (Tabla 2.1.8). El mayor contenido de C16:0 en el pasto kikuyo en comparación con C18:0 concuerda con los datos reportados por Czerkawski (1967) y Elgersma et al (2003) para el pasto rye grass. Estos autores encontraron que una mayor proporción de los ácidos grasos saturados correspondió a C16:0 siendo más bajo el contenido de C18:0. Una tendencia similar fue reportada por Wyss et al (2006) en mezclas de gramíneas solas o de gramíneas con trébol rojo y por Clapham et al (2005) en trece gramíneas forrajeras diferentes.

**Tabla 2.1.8.** Contenido de ácidos grasos en muestras de pasto kikuyo tomadas en la Sábana de Bogotá<sup>1</sup>

Ácidos grasos, % del EE					
14:00	16:00	18:00	18:01	18:02	18:03
-	15.1	4.80	3.80	22.5	53.8

<sup>1</sup> Carulla (Comunicación personal)

#### 2.1.2.2.2. Ácidos grasos insaturados.

Los principales ácidos grasos insaturados presentes en el EE en las hojas de las gramíneas son el ácido linolénico (18:3) y ácido linoléico (18:2) (Dewhurst et al 2001, French et al 2000). Esta misma es la tendencia hallada en las muestras de pasto kikuyo analizadas por Carulla et al (Comunicación personal) (Tabla 2.1.8). Czerkawski (1967), Elgersma et al (2003), Wyss et al (2006) y Clapham et al (2005) también hallaron un

mayor contenido de C18:3 en las diferentes especies de gramíneas que fueron evaluadas.

El contenido de los ácidos grasos insaturados en las gramíneas forrajeras y los factores que lo afectan, se ha convertido en el eje central de muchas investigaciones en la nutrición de los rumiantes en los últimos años (Loor et al 2003, Ward et al 2003, White et al 2001). Esto se debe al hecho de que estos son los precursores de los ácidos grasos linoléico conjugados (AGLC)  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 que se encuentran en los productos de los rumiantes (Dewhurst et al 2001, French et al 2000, Lawson et al 2001). Así, al incrementar el contenido de estos ácidos grasos en los pasto y el consumo de los mismos por los animales, mayor va a ser el contenido de AGLC en la leche (Lawson et al 2001) y en la carne de los rumiantes (Palmquist et al 2004). Esta es un área de investigación que apenas comienza en el país y que, seguramente reorientará mucha de la investigación y de las recomendaciones para el manejo nutricional de ganado lechero en Colombia.

### **2.1.2.3. Fibra en detergente neutro.**

El residuo que resulta de someter una muestra de alimento a la digestión con una solución neutra (pH 7.0) de lauril sulfato de sodio y EDTA, es denominada la fibra en detergente neutro (FDN) y está conformada principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, presentando cantidades bajas de nitrógeno, minerales y cutina (Van Soest 1994). Aunque para algunos autores la determinación de la FDN es la forma más completa de medir el contenido de fibra total de los alimentos (Harris 1993), debido a que la mayor parte de las pectinas se solubilizan en el detergente neutro, se considera que este método subestima la fibra total en el caso de los forrajes con alto contenido de pectinas (Van Soest 1994). Así mismo, en el caso de alimentos que son sometidos a altas temperaturas, una fracción de las proteínas son retenidas en la FDN sobreestimando la fibra total. Por estas razones, la FDN debe ser concebida más como la porción menos digerible de los alimentos (Van Soest 1994) que como una entidad biológica.

El contenido de FDN en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia (Tabla 2.1.1) se encuentran dentro del rango reportado por Laredo y Mendoza (1982) en

Cundinamarca y por Apráez y Moncayo (2000) en el departamento de Nariño. Marais (2001) reporta, así mismo, contenidos de FD en pasto kikuyo similares a los mostrados en la Tabla 2.1.1. Miles et al (2000), por su parte, señalan que el contenido de FDN en este pasto se encuentra en un rango que va desde 42.3 hasta 84% de la MS. El pasto kikuyo presenta, sin embargo, valores más altos de FDN que los rye grasses (Lee et al 2002, Smit et al 2005, Taweel et al 2005). Gaitán y Pabón (2002), trabajando en un hato lechero de Antioquia, reportaron igualmente una menor concentración de FDN en pasto rye grass (46.4% de la MS) en comparación con el que encontraron en pasto kikuyo cosechados a la misma edad y sometidos al mismo manejo agronómico (52.5% de la MS).

Para Marais (2001) el alto contenido de FDN del pasto kikuyo es uno de los factores más limitantes para la producción de leche por su relación negativa con la digestibilidad de la MS y, por lo tanto, con la energía disponible.

#### **2.1.2.3.1. Hemicelulosa.**

La hemicelulosa constituye un grupo heterogéneo de polisacáridos cuya composición varía marcadamente entre especies vegetales. Esta es estimada como la diferencia entre la FDN y el residuo resultante de la digestión de la muestra en una solución ácida de detergentes cuaternarios, denominada fibra en detergente ácido (FDA) (Van Soest 1994). Durante este proceso, sin embargo, también se solubilizan algunas proteínas de la pared celular sobreestimando el contenido de hemicelulosa.

En la Tabla 2.1.9 se indica que, en promedio, el contenido de hemicelulosa en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia asciende a 26.2% de la MS variando en un rango que va entre 21.5 y 29.4% de la MS. Estos valores son más bajos que los estimados por Apráez y Moncayo (2000) en el departamento de Nariño, quienes reportaron valores que oscilan entre 30.9 y 35.7% de la MS. Kamstra et al (1966), por su parte, encontraron que el contenido de hemicelulosa del pasto kikuyo varió en función de la edad de rebrote, oscilando entre 29.6 y 39.2% de la MS. Estos autores estimaron, además que un porcentaje significativo de la hemicelulosa en el pasto kikuyo esta constituido por xilosa y arabinosa. La glucosa y la galactosa representan un porcentaje más bajo de la hemicelulosa en este pasto.

**Tabla 2.1.9.** Contenido de fibra en detergente neutro, celulosa, hemicelulosa y lignina en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia.

<b>Fracción química</b>	<b>FDN</b>	<b>Hemicelulosa</b>	<b>Celulosa</b>	<b>Lignina</b>
	% de la MS			
<b>Promedio</b>	58.1	26.2	26.9	5.88
<b>Máximo</b>	66.9	29.4	32.8	7.49
<b>Mínimo</b>	51.7	21.5	20.2	4.47
<b>C. V., %</b>	6.73	8.04	15.9	20.8
<b>n</b>	36	16	6	6

Soto et al (1980) estimaron que la digestibilidad de la hemicelulosa es más alta que el de la celulosa y que, además, se incrementa con la fertilización nitrogenada y con la edad de rebrote.

#### **2.1.2.3.2. Celulosa.**

Al contrario que en la hemicelulosa, la celulosa presenta un bajo contenido de pentosas estando constituida principalmente por glucosa en enlaces  $\beta$  1–3 y  $\beta$  1–4. Es estimada como la diferencia entre la FDA y la lignina en detergente ácido (LDA) (Van Soest 1994).

Como se puede apreciar en la Tabla 2.1.8, el contenido de celulosa encontrado en las muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia es muy similar al de la hemicelulosa, correspondiendo cada una de estas fracciones a cerca del 47% de la FDN. Resultados similares son reportados por Marais (2001) y Kamstra et al (1966). Laredo y Mendoza (1982) y Soto et al (1980), por el contrario, reportan un contenido más alto de hemicelulosa con relación a la celulosa en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Cundinamarca. Estos resultados coinciden con los hallados por Brand et al (1999) en Sudáfrica quienes reportan valores más altos de hemicelulosa en pasto kikuyo manejado bajo pastoreo continuo. En pastos tropicales tales como el *Pennisetum purpureum* Schum, el contenido de celulosa es invariablemente superior al de la hemicelulosa (Braga et al 2001). Correa et al (2004) trabajando con pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp) también encontraron que la hemicelulosa representa un porcentaje mucho menor de la FDN que la celulosa.

### **2.1.2.3.3. Lignina.**

La lignina es un polifenol con una estructura no definida, que no presenta secuencias repetidas y cuyo tamaño no está bien definido (Ralph 1996). Se considera que la lignina es el factor más limitante en la digestibilidad de los forrajes (Jung y Vogel 1986, Jung et al 1997, Van Soest 1994). La manera en que la lignina afecta la digestibilidad de otras fracciones no está completamente comprendida (Van Soest 1994), sin embargo, parece estar asociada a tipos de enlaces entre la fracción fibrosa y la lignina tales como enlaces cruzados mono y diferulatos, ciclodimeros de p-coumarato y posiblemente enlaces cruzados bencil éster y éter (Casler 2001, Casler y Jung 2006, Grabber et al 2004).

Existen diversos métodos para determinar el contenido de lignina (Kamstra et al 1966, Van Soest 1994, Hatfield y Fukushima 2005), cada uno de los cuales puede rendir cantidades diferentes. Así, normalmente la determinación mediante ácido sulfúrico al 72% (método Klason) rinde una mayor concentración que con el método del detergente ácido (Lignina en Detergente Ácido, LDA) de Van Soest (1963), siendo este último el más popular (Van Soest 1994).

El contenido de lignina hallado en las muestras de pasto kikuyo recolectadas es Antioquia utilizando el método LDA, oscila entre 4.5 y 7.5% de la MS (Tabla 2.1.9), un rango ligeramente más alto que el reporta Marais (2001) y que va desde 2.9 hasta 6% de la MS. Apraez y Moncayo (2000) reportaron valores entre 5.77 y 8.80% de lignina en muestras de kikuyo recolectadas en el departamento de Nariño. Kamstra et al (1966), por su parte, reportan un rango que oscila entre 3.4 y 5.9%. Estos últimos autores compararon el método LDA con el método Klason y encontraron que este último rinde hasta 4.2 veces más lignina.

Aunque ha sido reportado que el contenido de lignina en el pasto kikuyo se incrementa con la edad de rebrote (Kamstra et al 1966), trabajos más recientes indican que esta fracción no se modifica significativamente (Caro y Correa 2006, Soto et al 2005) o, por el contrario, se reduce con la edad de rebrote (Soto et al 1980). Esto podría deberse a que el hábito de crecimiento de esta forrajera favorece la relación hoja: tallo, y esta no se modifica substancialmente con la edad impidiendo, así, que la composición química

del pasto cambie marcadamente (Caro y Correa 2006, Zapata 2000). Esto explicaría, así mismo, la reducción en la concentración de la lignina en este pasto a medida que se incrementa la fertilización nitrogenada (Soto et al 1980).

En la Tabla 2.1.9 también se puede apreciar que la lignina representa aproximadamente el 10% de la FDN, un valor similar al hallado por Laredo y Mendoza (1982) en muestras de pasto kikuyo en la Sabana de Bogotá.

#### **2.1.2.4. Carbohidratos no estructurales.**

Los CNE son la energía de reserva para el rebrote de las plantas (Tejos, 1996) y se localizan preferentemente en las raíces y tallos basales de las gramíneas (Botrel y Gomide 1981). Sin embargo, además de cumplir con esta función de reserva, se ha demostrado que juegan un papel muy importante en la tolerancia de los pastos al congelamiento (Dionne et al 2001, Shahba et al 2003). El valor nutricional de estos carbohidratos reside en que son la fuente de energía de rápida disponibilidad para el crecimiento de los microorganismos ruminales (Lee et al 2002, Miller et al 1999) de tal manera, que su contenido está relacionado con la eficiencia en la utilización de la PDR para la síntesis de proteína microbiana (Marais 2001, Montoya et al 2004).

Los CNE están conformados por azúcares solubles e insolubles. Los azúcares solubles, a su vez, consisten principalmente en monosacáridos (glucosa y fructosa), disacáridos (sacarosa y maltosa) y polisacáridos como almidones y fructosanas (Smith 1973). Marais (2001) y Muscolo et al (2003) coinciden en señalar que en el pasto kikuyo los azúcares solubles consisten principalmente en sacarosa con pequeñas cantidades de glucosa y fructosa. Fulkerson et al (1999), por su parte, reportan que un poco más del 50% de los CNE en el pasto kikuyo están representados por almidones y el restante por azúcares solubles. Kaiser et al (2001) por el contrario, encontraron que cerca del 55% de los CNE en el pasto kikuyo correspondieron a los carbohidratos solubles, cuya concentración era más alta en las horas de la tarde.

En general, el contenido de CNE en el pasto kikuyo es inferior al reportado en otros pastos utilizados en la producción de leche como son los rye grasses (*Lolium perenne*) e, incluso, es inferior a los valores reportados en pastos tropicales. Así, Marais (2001)

reporta que la concentración de CNE en pasto kikuyo puede oscilar entre 2.74 y 11.3% de la MS mientras que Kaiser et al (2001) reportan valores que oscilan entre 8.7 y 12.4% de la MS. Miles et al (2000), por su parte, reportan valores más bajos que van desde 1.04 hasta 9.18% de la MS. Por el contrario, Watts (2005) encontró que en *Lolium perenne*, var. Blend 4-5, las concentraciones de CNE oscilaron entre 27.3 y 33.1% de la MS. Juárez et al (1999), por su parte, trabajando con pastos tropicales en la costa del Golfo de México encontraron que el contenido de CNE puede alcanzar valores de 15.4% en *Digitaria decumbens* y en *Andropogon gayanus*, hasta valores tan altos como el hallado en *Panicum maximum* var. Vencedor, que fue de 22.3% de la MS.

La Tabla 2.1.1 muestra que el promedio de CNE de esta gramínea en las muestras recolectadas en Antioquia es de 13.4% con un máximo de 17.2 y un mínimo de 8.93% de la MS. Estos valores son inferiores a las recomendaciones de CNE para ganado lechero y que oscilan entre 35 y 40% de la MS (Grant 1996, NRC 2001, Stokes 1997) lo que se constituye en una de las principales limitaciones nutricionales del pasto kikuyo (Kaiser et al 2001, Marais 2001, Miles et al 2000).

La relación entre los CNE y la PDR necesaria para un óptimo crecimiento microbiano se ha estimado en un rango entre 3.2 y 3.5:1.0 (Rueda et al 2006). Sin embargo, en el pasto kikuyo esta relación es muy baja (Tabla 2.1.10), con un promedio de 1.28 g/g.

**Tabla 2.1.10.** Relación CNE : PDR en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia.

	<b>PC</b>	<b>PDR</b>	<b>CNE</b>	<b>CNE : PDR</b>
	<b>Porcentaje de la MS</b>			
<b>Promedio</b>	19.1	10.6	13.4	1.28
<b>Máximo</b>	22.7	13.5	17.2	1.70
<b>Mínimo</b>	15.4	8.35	8.93	0.89
<b>C. V., %</b>	9.79	12.0	18.7	19.2

Esta baja relación entre los CNE y la PDR es lo que estaría explicando la menor síntesis de proteína microbiana estimada por Rueda et al (2006) y por Vargas y Mejía (2004) en vacas holstein alimentadas con pasto kikuyo.

La baja relación CNE : PDR se hace más dramática en la medida en que se intensifica la fertilización nitrogenada ya que, como se mencionó anteriormente, esta conduce al

incremento en el contenido de la fracción soluble de la PC y, por ende, de la PDR, pero, por otro lado, reduce la concentración de CNE (Binnie et al 2001, Reid y Strachan 1974, Tas 2006).

Así, y en consonancia con lo señalado por Marais (2001), se puede señalar que el deficiente balance entre proteína y energía en el pasto kikuyo, se constituye en una de las principales limitaciones de este gramínea para la producción de leche.

#### **2.1.2.5. Cenizas y macrominerales.**

El contenido de cenizas del pasto kikuyo presentado en la Tabla 2.1.1 se encuentra en el rango estimado a partir de los datos reportados por Brand et al (1999). Estos autores hallaron que la materia orgánica del pasto kikuyo oscila entre 75.4 y 88.9% de la MS. Por lo tanto, por diferencia, se puede calcular que el contenido de cenizas varía entre 11.1 y 24.6% de la MS, que es un rango mucho más amplio que el hallado en las muestras recolectadas en Antioquia.

El contenido de cenizas totales no solo es importante por su relación directa con la concentración de ciertos minerales en particular, si no, además, por su relación con el contenido de energía de los forrajes. Dado que los minerales no aportan energía, en la medida en que su concentración se incrementa, en esa medida se reduce la cantidad de energía disponible en los alimentos (NRC 2001).

En la Tabla 2.1.11 se muestra el contenido de algunos minerales en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia y suministrados por el Laboratorio de Bromatología de la Universidad Nacional, sede Medellín. En esta tabla se puede apreciar que bajo las condiciones de producción que predominan en Antioquia, el pasto kikuyo presenta contenidos promedio de P, Cu y Zn ligeramente más altos que los requerimientos para vacas holstein en producción mientras que muestra marcadas deficiencias en Ca y, particularmente, en Na. Al respecto, Marais (2001) señala que el pasto kikuyo tiene muy poca capacidad de absorber y transportar el Na hacia las hojas suministrando niveles limitantes de este mineral a los animales que lo consumen. Aunque el contenido promedio de S es similar a los requerimientos, la variación en los datos implica que un porcentaje importante de muestras pueden ser deficitarias en este elemento. Por el

contrario, los contenidos de Mg, Fe, Mn y K, son mucho más altos que los requerimientos. Es de señalar que los altos contenidos de K en esta gramínea se han resaltado como una causa potencial de hipomagnesemia (Correa 2006b, Dugmore 1998, Meeske et al 2006).

**Tabla 2.1.11.** Contenido de algunos minerales en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia y requerimientos para vacas Holstein en producción.

	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>S</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Na</b>
	% de la MS							ppm		
<b>Promedio</b>	0.46	0.32	0.30	3.69	0.20	193	108	13.9	59.5	0.02
<b>Máximo</b>	0.58	0.42	0.36	5.12	0.35	554	357	29.0	117	0.04
<b>Mínimo</b>	0.28	0.21	0.22	1.68	0.08	63.0	49.0	7.00	30.00	0.01
<b>D. E.</b>	0.08	0.05	0.04	0.77	0.07	140	85.1	5.00	25.70	0.01
<b>C. V., %</b>	18.1	15.5	12.5	20.9	36.5	72.9	78.8	36.3	43.2	40.2
<b>NRC 2001<sup>1</sup></b>	0.32	0.62	0.18	1.00	0.20	12.3	14.0	11.0	43.0	0.22

<sup>1</sup>Requerimientos para vacas holstein con 90 días en lactancia y produciendo 25 litros de leche según el NRC (2001) (Tabla 14-7, pg 266).

Los valores promedio mostrados en la Tabla 2.1.10 son muy similares a los reportados por Meeske et al (2006) y a los presentados por Dugmore (1998) en Sudáfrica para esta misma gramínea.

La edad de rebrote no parece modificar apreciablemente el contenido de algunos minerales en este pasto. Esto es lo que sugieren los datos hallados en cuatro macrominerales por Correa (2006b). Este autor evaluó el contenido de Ca, P, Mg y K en muestras de pasto kikuyo cosechadas a los 32 y a los 58 días de rebrote. En la Tabla 2.1.12 se muestran los resultados, en donde se aprecia que la edad de corte no afectó el contenido de estos minerales. El contenido de Ca y Mg fueron menores a los valores reportados por otros autores (Dugmore 1998, Laredo 1988, Miles et al 2000) para esta misma gramínea. El contenido de P y de K, por el contrario, fueron más altos que los reportados por estos mismos autores. El incremento en el contenido de estos dos minerales puede ser debido a la aplicación intensiva de fertilizantes que presentan altas concentraciones de estos minerales, pero menores concentraciones de Ca y Mg. Altos contenidos de P pueden afectar la absorción de Ca y Mg (Van Soest 1994, Underwood y Suttle 1999) requiriendo hacer las correcciones correspondientes a través de la suplementación mineral. Dugmore (1998) señala, además, que en la medida en que la relación  $K/(Ca + Mg)$  se incremente por encima de 2.2 (sobre una base iónica

equivalente), en esa medida se incrementa la posibilidad de presencia de hipocalcemia. En el trabajo de Correa (2006b) y teniendo en cuenta la ecuación propuesta por Dugmore (1998), se estimó que dicha relación asciende a 3.0 para el pasto recolectado a los 32 días y a 2.94 para el recolectado a los 58 días. Esto indica que el K es un mineral que se encuentra en altas proporciones en el pasto kikuyo, más allá de los requerimientos de los animales (NRC 2001) lo que hace que se constituyan en otro limitante nutricional del pasto kikuyo no solo por su efecto negativo sobre el metabolismo del Ca (Beede 2005, Goff et al 2005), si no también por que afecta la absorción ruminal del Mg siendo un factor de riesgo en la aparición de la hipomagnesemia (Corbellini 1998).

**Tabla 2.1.12.** Contenido de Cen, Ca, P, Mg y K del pasto kikuyo cosechado a 32 y 58 días de rebrote<sup>1</sup>.

<b>Fracción</b>	<b>Edad de corte, días</b>		<b>p</b>
	32	58	
<b>Cen</b>	13.1	12.8	0.54
<b>Ca</b>	0.29	0.26	0.18
<b>P</b>	0.50	0.44	0.13
<b>K</b>	4.12	3.96	0.30
<b>Mg</b>	0.25	0.26	0.15

<sup>1</sup> Tomado de Correa (2006b)

La aplicación de fertilizantes orgánicos también está implicada en la modificación del contenido de minerales en este pasto. Así, Orozco (1992) monitoreó durante dos años los cambios en la concentración de algunos minerales tanto en el suelo como en el follaje de pasto kikuyo en un hato lechero del norte de Antioquia, al que se le aplicó mensualmente 53 m<sup>3</sup>/ha de excretas porcinas líquidas, encontrando un incremento marcado en el contenido de P, K, Na, Mg y Cu pero una reducción en el contenido de Mn, Fe y Zn sin que se observara una modificación apreciable en el contenido de Ca. Estos cambios reflejaron en buena medida las modificaciones que se dieron en la concentración de estos minerales en el suelo ante la aplicación de este fertilizante orgánico.

### 2.1.2.5.1. Cinética de la liberación ruminal de macrominerales.

La información que existe sobre la liberación ruminal de minerales es muy escasa y lo es más aún, en el caso del pasto kikuyo. Recientemente Correa (2006b) estimó los parámetros de la cinética de la liberación ruminal de Ca, P, Mg y K en el pasto kikuyo utilizando la técnica *in situ*. En este trabajo fue evidente que el Ca es el mineral que se libera en menor proporción en el rumen debido, muy posiblemente, a que este mineral se encuentra principalmente asociado a las paredes celulares y puede ser ligado, así mismo, por el ácido oxálico (Marais 2001). Por la misma razón, el Ca mostró ser un mineral que es fácilmente quelatado por la fibra contenida en las muestras incubadas, tal y como había sido previamente descrito por Emanuele et al (1991) y por Čerešňáková et al (2005) en otras gramíneas. Esta es la razón por la que se encontraron valores negativos en la fracción *a* del Ca (Tabla 2.1.13).

Esto se aprecia más claramente en la figura 2 donde se observa que durante las primeras cuatro horas de incubación, se hallaron valores negativos en la liberación ruminal del Ca.

**Tabla 2.1.13.** Parámetros de la cinética de liberación ruminal del Ca, P, Mg y K en pasto kikuyo cosechado a los 32 y 58 días de rebrote<sup>1</sup>.

Parámetros	Macrominerales							
	Ca		P		Mg		K	
	32	58	32	58	32 d	58 d	32 d	58 d
<i>a</i> <sup>2</sup>	-1.87	-1.25	83.1	84.6	71.1	70.4	83.7	85.6
<i>b</i>	94.5	88.3	16.2	14.7	26.48	22.9	14.4	13.4
<i>kd</i>	0.14	0.14	0.05	0.02	0.07	0.10	0.77	0.81
<i>i</i> <sup>3</sup>	5.02	7.69	1.09	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

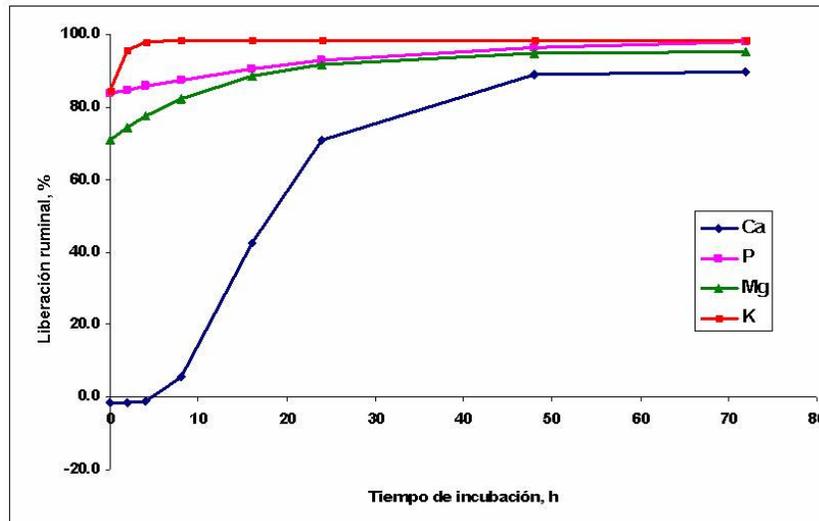
<sup>1</sup> Tomado de Correa (2006b)

<sup>2</sup> Igual que en la Tabla 2.1.3

<sup>3</sup> En la ecuación de Mitcherlich I (Kiviste et al 2002), corresponde al punto de inflexión.

Al contrario de lo hallado con este mineral, el porcentaje de liberación ruminal del P y del Mg, fue alto lo que se hizo evidente en el valor de la fracción *a* hallado para estos minerales (Tabla 2.1.14). Esto se debe a que el P y el Mg se encuentran principalmente en el citoplasma de las células vegetales haciendo parte de moléculas orgánicas de alta digestibilidad (Caro y Correa 2006). El K, por su parte, fue el mineral que presentó los valores más altos de liberación en el rumen debido muy posiblemente a que este mineral

no hace parte de moléculas orgánicas si no que se halla libre en el citoplasma en forma iónica (Marschner 1990), de tal manera que solo basta que se la membrana celular se rompa y permita el vertido del contenido celular para que el K sea, igualmente liberado al rumen.



**Figura 2.1.2.** Curvas de liberación ruminal promedio de Ca, P, Mg y K en muestras de pasto kikuyo. Adaptado de Correa (2006b).

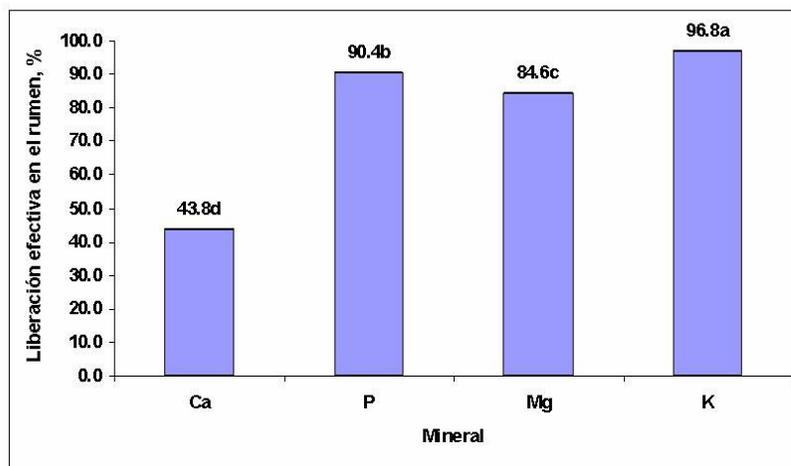
El hecho de que el K sea el mineral de mayor concentración en el pasto kikuyo y que, además, sea el que se libere en mayor proporción en el rumen, refuerza aún más la posibilidad de que afecte la absorción ruminal del Mg y desencadene una hipomagnesemia, más aún, cuando la concentración de Mg es baja, como en el caso de las muestras analizadas por Correa (2006b).

En la figura 3 se muestran los valores de liberación efectiva de estos macrominerales en el pasto kikuyo. No hubo diferencias en la liberación ruminal de estos minerales en función de la edad de corte pero sí entre los minerales ( $p < 0.0001$ ) siendo, en su orden,  $K > P > Mg > Ca$  (Correa 2006b).

Estos resultados sugieren aún más que los excesos de K pueden estar afectando la disponibilidad de Mg, pero sobre todo de Ca en los sistemas de producción bovina basados en pastos como el kikuyo (Correa 2006b) reforzando aún más la idea de que el K se constituye en otro de los limitantes nutricionales más importantes en este pasto para la producción de leche.

### 2.1.2.5.2. Liberación posruminal de macrominerales.

La liberación posruminal de estos cuatro macrominerales fue evaluada por Caro y Correa (2006). Estos autores, como se mencionó anteriormente, evaluaron el efecto de la edad de corte (32 y 58 días de rebrote) sobre la liberación ruminal y posruminal del Ca, P, Mg y K en pasto kikuyo. En la Tabla 2.1.14 se muestran los resultados de este trabajo en la que se puede observar que, excepto en el caso del Ca, la edad de corte afectó significativamente la liberación ruminal de estos minerales a las 24 horas de incubación.



**Figura 2.1.3.** Valores promedio de la liberación efectiva de Ca, P, Mg y K en pasto kikuyo cosechado a los 32 y 58 días de rebrote. Adaptado de Correa (2006b).

En general, sin embargo, el rumen se constituye en el sitio de mayor liberación de los minerales evaluados en dicho trabajo lo que coincide con los resultados reportados por Emanuele et al (1991) para los mismos cuatro minerales en cuatro gramíneas que fueron cosechadas entre 32 y 37 días de rebrote. Es de resaltar aquí, sin embargo, que el tiempo de incubación de las muestras en el rumen es más prolongado del planteado por Calsamiglia y Stern (1995) para estimar la digestibilidad posruminal de la PNDR y que es de tan solo 16 horas. El hecho de permanecer 8 horas más de incubación en el rumen significa necesariamente que una mayor proporción de todos los componentes

nutricionales, se van a degradar o liberar en el rumen y, por lo mismo, menor proporción va a quedar disponible para los procesos digestivos posruminales.

**Tabla 2.1.14.** Liberación ruminal *in situ* a las 24 h, liberación posruminal y liberación total del calcio (Ca), el fósforo (P), el magnesio (Mg) y el potasio (K) del pasto kikuyo cosechado a los 32 y a los 58 días de rebrote.

<b>Liberación ruminal <i>in situ</i> a las 24 h</b>					
	<b>Ca</b>	<b>P</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b><i>p</i><sup>1</sup></b>
32 días	76.4c	93.5b	91.2b	98.1a	0.0001
58 días	73.2c	90.8b	90.0b	99.00a	0.0001
Promedio	74.8	92.2	90.6	98.6	
<i>p</i>	0.159	0.009	0.053	0.0146	
C.V. %	3.69	1.72	2.24	0.54	
<b>Liberación posruminal</b>					
32 días	-118.2c	53.3ab	5.37b	93.3a	0.0005
58 días	-76.7b	60.8a	65.4a	87.6a	0.0001
Promedio	-97.5	57.1	35.4	90.4	
<i>p</i>	0.341	0.414	0.0496	0.0488	
C.V. %	-48.3	17.4	114	4.24	
<b>Liberación total</b>					
32 días	49.5b	97.0a	91.4a	99.8a	0.0001
58 días	52.5b	96.4a	96.2a	99.8a	0.0001
Promedio	50.9	96.7	93.8	99.8	
<i>p</i>	0.685	0.338	0.174	0.986	
C.V. %	7.51	0.72	4.38	0.04	

<sup>1</sup> Medias en la misma fila con letra distinta son estadísticamente diferentes.

La liberación posruminal varió marcadamente entre los minerales siendo más alta en K y más baja en Mg. En el caso del Ca, al contrario de lo observado en los demás minerales, se presentó un alto grado de fijación al residuo que fue incubado, mostrando valores negativos coincidiendo con lo reportado previamente por Emanuele et al (1991). Esto tendría su origen en el hecho de que los componentes de la fracción fibrosa tienen una alta capacidad de quelatar el Ca presente en la digesta cuando el pH tiende a ser alcalino como es el caso del intestino delgado e intestino grueso (Emanuele et al 1991).

Esta situación es de suma importancia ya que estaría limitando fuertemente la absorción intestinal del Ca lo que, sumado al efecto negativo que tienen las altas concentraciones de K sobre el metabolismo del Ca (Beede 2005, Corbellini 1998, Dugmore 1998, Goff et al 2005), reduciría aún más la absorción intestinal de este mineral. Es posible que en el largo plazo una situación crónica como esta desencadene en un estado de osteoporosis (NRC 2001).

La menor liberación ruminal efectiva aunada a la alta retención a su paso por el tracto posruminal determinó que la liberación total del Ca fuera menor a la observada en los demás minerales (Tabla 2.1.14). Estas características sumadas al hecho de que su concentración en el pasto kikuyo se ha reducido con el manejo de la fertilización que actualmente se aplica, hacen del Ca otro nutriente limitante para la producción de leche basada en el pasto kikuyo.

### **2.1.3. Conclusiones.**

La información presentada aquí indica que los limitantes nutricionales más relevantes en el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) cultivado en Colombia son el alto contenido de proteína cruda, de nitrógeno no proteico, potasio y fibra en detergente neutro y el bajo contenido de carbohidratos no estructurales, calcio y sodio. El alto contenido de K podría afectar la absorción del Mg y, por ende, incrementar la aparición de hipomagnesemia en vacas lactantes. Por otro lado, la alta proporción de ácidos grasos insaturados dentro del EE de esta gramínea, indica que la leche proveniente de hatos en los que el pasto kikuyo represente un porcentaje importante de la dieta, tendría una mayor proporción de ácidos linoléico conjugados.

### **Abstract**

*Kikuyu grass (Pennisetum clandestinum Hoechst Ex Chiov), nevertheless to be the more utilized forage on dairy cattle specialized herds the Colombian Andes, has some nutritional restrictions that affects both milk yield and composition. The most important nutritional restriction of kikuyu grass are the high crude protein (CP) ( $20 \pm 3.26$  % dry matter, DM), non protein nitrogen (> 90% soluble fraction of CP), potassium ( $3.69 \pm 0.77$  % DM) and neutral detergent fiber ( $58.1 \pm 3.91$  % DM) but low sodium ( $0.02$*

$\pm 0.01$  % DM) and non structural carbohydrates content ( $13.4 \pm 2.51$  % DM). High nitrates content ( $5250.9 \pm 3153.7$  ppm) can be the cause of several reproductive and healthy problems in the cows. These nutritional characteristics put on risk the competitiveness of dairy production systems based on this forage.

**Key words:** chemical composition, digestibility, kikuyu grass

### **Bibliografía.**

1. **Agricultural Research Council (ARC) 1984** The nutrient requirements of ruminant livestock Supply; 1. Report of the protein group of the ARC working Party. Agricultural Bureau, Fambam Royal, UK.
2. **Apráez E y Moncayo O A 2000** Caracterización agronómica y bromatológica de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) sometida a rehabilitación mediante labranza y fertilización orgánica y/o mineral; <http://www.virtualcentre.org/es/enl/keynote14.htm>
3. **Bach A, Stern M D, Merchen N R y Drackley J K 1998** Evaluation of selected mathematical approaches to the kinetics of protein degradation *in situ*; Journal of Animal Science. 76: 2885-2893 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/76/11/2885.pdf>
4. **Bach A, Calsamiglia S and Stern M D 2005** Nitrogen Metabolism in the Rumen. Journal of Dairy Science. Volume 88 (E. Suppl.): E9–E21. Retrieved October 3, 2006, from [http://jds.fass.org/cgi/reprint/88/e\\_suppl\\_1/E9.pdf](http://jds.fass.org/cgi/reprint/88/e_suppl_1/E9.pdf)
5. **Bauchart D, Verité R and Rémond B 1984** Long-chain fatty acid digestion in lactating cows fed fresh grass from spring to autumn; Canadian Journal of Animal Science. 64 (Suppl.): 330 – 331.
6. **Bauman D E, Baumgard L H, Corl B A and Griinari J M 1999** Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants; Proceedings of the American Society of

Animal Science. Indianapolis, Indiana. 15 p.  
<http://www.asas.org/jas/symposia/proceedings/0937.pdf>

7. **Bauman D E, Mather I H, Wall R J and Lock A L 2006** Major Advances Associated with the Biosynthesis of Milk. *Journal of Dairy Science*. Volume 89: 1235 - 1243. Retrieved November 3, 2006, from <http://jds.fass.org/cgi/reprint/89/4/1235.pdf>
8. **Beede D K 2005** Formulating diets with optimum cation-anion difference for lactating dairy cows. In: Florida Ruminant Nutrition Symposium. 22 p. Retrieved October 3, 2006, from <http://dairy.ifas.ufl.edu/files/rns/2005/Beede.pdf>
9. **Binnie R C, Mayne C S and Laidlaw A S 2001** The effects of rate and timing of application of fertilizer nitrogen in late summer on herbage mass and chemical composition of perennial ryegrass swards over the winter period in Northern Ireland; *Grass and Forage Science*. 56: 46-56.
10. **Braga A P, Ribeiro H U, Batista P, Batista P, Batista S, Lopes S H e Alves Z C 2001** Composição químico-bromatológica das silagens de capim-elefante cv. Cameron em cinco idades de corte; *Caatinga*, Mossoró-RN, 14 (1/2): 17-23. <http://www.ufersa.edu.br/caatinga/artigos/Caa1403.pdf>
11. **Botrel M A e Gomide J A 1981** Importancia do teor dos carboidratos dos meristemas apicais para rebrote do capim Jaragua (*Hyparrhenis rufa* [Ness] Stapf); *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. 10 (3): 411 - 426.
12. **Brand T S, Franck F and Coetzee J 1999** Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pasture for sheep. 1. Pasture quality and nutrient intake of ewes; *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 42: 459 - 465. [www.rsnz.org/publish/nzjar/1999/50.pdf](http://www.rsnz.org/publish/nzjar/1999/50.pdf)

13. **Butler W R 1998** Effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology; Journal of Dairy Science. 81: 2533 - 2539. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/81/9/2533>
14. **Calsamiglia S and Stern MD 1995** A three-step in vitro procedure for estimating intestinal digestion of protein in ruminants; Journal of Animal Science. 73: 1459-1465. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/73/5/1459>
15. **Caro F y Correa H J 2006** Digestibilidad posruminal aparente de la materia seca, la proteína cruda y cuatro macrominerales en el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a dos edades de rebrote. Livestock Research for Rural Development. Volume 18, Article # 10 Retrieved November 4, 2006, from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/10/caro18143.htm>
16. **Carulla J E 1999** Efectos de la fertilización nitrogenada sobre la proteína del forraje; En: Simposio Internacional sobre la Proteína en la Leche, Medellín. 7 p.
17. **Carulla J E, Cárdenas E, Sánchez N y Riveros C 2004** Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada de la zona andina colombiana; En: Eventos y Asesorías Agropecuarias EU (ed.), Seminario Nacional de Lechería Especializada: “Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad”. Medellín, septiembre 1 y 2: 21 – 38.
18. **Casler M D 2001** Breeding forage crops for increased nutritional value; Advances in Agronomy. 71: 51–107.
19. **Casler M D and Jung H J 2006** Relationships of fibre, lignin, and phenolics to in vitro fibre digestibility in three perennial grasses. United States Department of Agriculture, Agriculture Research service. Retrieved 30 January, 2007, from [http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?SEQ\\_NO\\_115=173895](http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?SEQ_NO_115=173895)
20. **Castañeda M y Duque M 2005** Estimación de la digestibilidad intestinal de la proteína del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sometido a dos niveles de

fertilización nitrogenada y a dos edades de corte. Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 20 p.

21. **Castillo A R 2004** Impacto ambiental de los sistemas intensivos de producción de leche en los países desarrollados, problemas, soluciones y posibles escenarios futuros. XXXII Jornadas Uruguayas de Buitría, Paysandú Uruguay, Jun 10-12. 3 p. Retrieved October 3, 2006, from <http://ucce.ucdavis.edu/files/filelibrary/1529/21215.pdf>
22. **Čerešňáková Z, Fl'ak P, Poláčíková M and Chrenková M 2005** *In sacco* NDF degradability and mineral release from selected forages in the rumen. Czech Journal of Animal Science. Volume 7: 320 - 328 Retrieved November 4, 2006, from <http://www.cazv.cz/attachments/4-Ceresnakova.pdf>
23. **Clapham W M, Foster J G, Neel J P and Fedders J M 2005** Fatty acid composition of traditional and novel forages. Journal of Agricultural and Food Chemistry. Volume 53, (26): 10068 - 10073.
24. **Clark H, Klusmeyer T H and Cameron M R 1992** Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows; Journal of Dairy Science. (75): 2304 - 2323. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/75/8/2304>
25. **Consejo Regional de la Cadena Láctea de Antioquia 2001** Acuerdo de competitividad de la cadena láctea de Antioquia; Medellín. 75 p: [www.agrocadenas.gov.co/documentos/documentos\\_iica/No%2020.pdf](http://www.agrocadenas.gov.co/documentos/documentos_iica/No%2020.pdf)
26. **Cone J W, Van Gelder AH, Mathijssen-Kamman A A and Hindle V A 2006** Post-ruminal digestibility of crude protein from grass and grass silages in cows. Animal Feed Science and Technology. Volume 128: 42–52.
27. **Corbellini C N 1998** Etiopatogenia e controle da hipocalcemia e hipomagnesemia em vacas leiteiras; Traduzido por González FHD. En: González F H D, Ospina H P e Barcellos J O J (eds) Anais do seminário

internacional sobre deficiências minearis em ruminantes; Editora da UFRGS, Porto Alegre, RS. Brasil. 28 p.  
<http://www6.ufrgs.br/bioquimica/extensao/defminrum.pdf>

28. **Correa H J 2002** El metabolismo del nitrógeno y su relación con las alteraciones reproductivas en vacas de alta producción; En: II Curso de Actualización en Reproducción Animal, Grupo de Investigación en Biotecnología Aplicada, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, 3 y 4 de octubre. 34 p.
29. **Correa H J, Ceron J M, Arroyave H, Henao Y y López A 2004** Pasto Maralfalfa: mitos y realidades. En: IV seminario internacional Competitividad en carne y leche. Cooperativa Colanta, Hotel Intercontinental de Medellín, Noviembre 10 y 11: 231 - 274.
30. **Correa H J 2006a** Posibles factores nutricionales, alimenticios y metabólicos que limitan el uso del nitrógeno en la síntesis de proteínas lácteas en hatos lecheros de Antioquia Livestock Research for Rural Development. Volume 18, Article #43 Retrieved junio 17, 2006, from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/3/corr18043.htm>
31. **Correa H J 2006b** Cinética de la liberación ruminal de macrominerales en pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a dos edades de rebrote. Livestock Research for Rural Development. Volume 18, Article # 31 Retrieved junio 17, 2006, from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/2/corr18031.htm>
32. **Correa L y Marín M 2002** Balance energético y proteico en vacas peri parturientas y la relación con su estado metabólico; Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 50 p.
33. **Czerkawski J W 1967** Effect of storage on the fatty acids of dried ryegrass; British Journal of Nutrition. 21: 599 - 599.

34. **Dalgleish D G 1992** Bovine milk protein properties and the manufacturing quality of milk; *Livestock Production Science*. 35: 75-93.
35. **Dennison C and Phillips A M 1983** Estimation of the duodenal amino acids supply in ruminants by amino acid analysis of the products of digestion *in vitro*; *South African Journal of Animal Science*. 13: 120 – 126.
36. **Dewhurst R J, Scollan N D, Youell S J, Tweed J K S and Humphreys M O 2001** Influence of species, cutting date and cutting interval on the fatty acid composition of grasses; *Grass and Forage Science*. 56: 68-74.
37. **Dhiman T R, Anand G R, Satter L D and Pariza M W 1999** Conjugated Linoleic Acid Content of milk from cows fed Different Diets; *Journal of Dairy Science*. 82: 2146-2156. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/82/10/2146.pdf>
38. **Dhingra A, Portis A R and Daniel H 2004** Enhanced translation of a chloroplast-expressed RbcS gene restores small subunit levels and photosynthesis in nuclear RbcS antisense plants. *Proceedings of National Academic Sciences U S A*. Volume 101 (16): 6315 – 6320. Retrieved noember 16, 2006, from <http://www.pubmedcentral.gov/articlerender.fcgi?tool=pubmed&pubmedid=15067115>
39. **Dionne J, Castonguay Y, Nadeau P and Desjardins Y 2001** Freezing Tolerance and Carbohydrate Changes during Cold Acclimation of Green-Type Annual Bluegrass (*Poa annua* L.) Ecotypes; *Crop Science*. 41:443–451. <http://crop.scijournals.org/cgi/reprint/41/2/443.pdf>
40. **Dugmore T J, van Ryssen J B J and Stielau W J 1986** Effect of fibre and nitrogen on the digestibility of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*); *South African Journal of Animal Science*. 16: 197.
41. **Elgersma A, Ellen G, van der Horst H, Muuse B G, Boer H and Tamminga S 2003** Comparison of the fatty acid composition of fresh and ensiled perennial

ryegrass (*Lolium perenne* L.), affected by cultivar and regrowth interval; *Animal Feed Science and Technology*. 108: 191–205.

42. **Emanuele S M, Staples C R and Wilcox C J 1991** Extent and site of mineral release from six forage species incubated in mobile dacron bags; *Journal of Animal Science*. 69: 801 – 810. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/69/2/801.pdf>
43. **Emmanuele S M and Staples C R 1988** Effect of forage particle size on *in situ* digestion kinetics; *Journal of Dairy Science*. 71: 1947-1954. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/71/7/1947.pdf>
44. **Erasmus L J, Botha P M Lebziem P and Meissner H 1990** Composition and intestinal duodenal digesta in cows digestibility of rumen fermented feeds and using bag techniques; *Journal of Dairy Science*. 73: 3494 - 3501. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/73/12/3494.pdf>
45. **Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN) 1999** La utopía de un modelo de desarrollo agropecuario; En: *La ganadería bovina en Colombia 1997 – 1998*: 45 – 64.
46. **Federación Internacional de Lechería y de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FIL/ONUAA) 2004** Guía de buenas prácticas en explotaciones lecheras. Roma, Italia. 38 p. Retrieved June 23, 2005, from <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/y5224s/y5224s00.pdf>
47. **Fox D G, Tylutki T P, Tedeschi L O, Van Amburgh M E, Chase L E, Pell A N, Overton T R, and Russell J B 2003** The Net Carbohydrate And Protein System for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. CNCPS version 5.0. Model Documentation; The Cornell University Nutrient Management Planning System. Department of Animal Science, Cornell University, Ithaca, New York. 292 p. <http://www.cncps.cornell.edu/download/CNCPSManual.pdf>
48. **French P, Stanton C, Lawless F, O’Riordan E G , Monahan F J , Caffrey P J, and Moloney A P 2000** Fatty acid composition, including conjugated

linoleic acid, of intramuscular fat from steers offered grazed grass, grass silage, or concentrate-based diets; *Journal of Animal Science*. 78: 2849–2855. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/78/11/2849.pdf>

49. **Fukumoto G K and Lee C N 2003** Kikuyugrass for Forage; College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii. LM-5. 4 pg. [www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/LM-5.pdf](http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/LM-5.pdf)
50. **Fulkerson W J, Slack K and Havilah E 1999** The effect of defoliation interval and height on growth and herbage quality of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*); *Tropical Grasslands*. 33: 138 - 145. [http://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol\\_33\\_1999/Vol\\_33\\_03\\_99\\_pp138\\_145.pdf](http://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol_33_1999/Vol_33_03_99_pp138_145.pdf)
51. **Gaitán S y Pabón J D 2003** Aplicación del modelo NRC 2001 en la caracterización energética y proteica de los pastos kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Hoechst), ryegras (*Lolium perenne*) y falsa poa (*Holcus lanatus*) en un hato lechero del oriente antioqueño; Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 55 p.
52. **Gloser V 2002** Seasonal changes of nitrogen storage compounds in a rhizomatous grass *Calamagrostis epigeios*; *Biologia Plantarum*. 45: 563-568.
53. **Goff J P, Sánchez J M, Horst R L 2005** Hypocalcemia: biological effects and strategies for prevention. Nutrition Conference, University of Tennessee, Department of Animal Science, UT Extension and University Professional and Personal Development. 6 p. Retrieved September 18, 2006, from [www.tennesseenutritionconference.org/pdf/Proceedings2005/JeffGoff.pdf](http://www.tennesseenutritionconference.org/pdf/Proceedings2005/JeffGoff.pdf)
54. **Grabber J H, Ralph J, Lapierre C and Barrière Y 2004** Genetic and molecular basis of grass cell-wall degradability. I. Lignin-cell wall matrix interactions. *Comptes Rendus Biologies*. Volume 327: 455–465. Retrieved

October 3, 2006, from [www.dfrc.wisc.edu/DFRCWebPDFs/2004-Grabber-CR-327-455.pdf](http://www.dfrc.wisc.edu/DFRCWebPDFs/2004-Grabber-CR-327-455.pdf)

55. **Hanigan M D 2005** Quantitative aspects of ruminant splanchnic metabolism as related to predicting animal performance. *Animal Science*. Volume 80: 23 - 32. Retrieved October 3, 2006, from [http://www.bsas.org.uk/Publications/Animal\\_Science/2005/Volume\\_80\\_Part\\_1/23/AS.pdf](http://www.bsas.org.uk/Publications/Animal_Science/2005/Volume_80_Part_1/23/AS.pdf)
  
56. **Harris B 1993** The Importance of Fiber in Feeding Dairy Cattle; Florida Cooperative Extension Service: Circular 594. <http://edis.ifas.ufl.edu/DS064>
  
57. **Hart J M, Marx E S, Christensen N W and Moore J A 1997** Nutrient management strategies; *Journal of Dairy Science*. 80: 2659 - 2666. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/80/10/2659?ck=nck>
  
58. **Hatfield R and Fukushima R S 2005** Can Lignin Be Accurately Measured? *Crop Science*. Volume 45: 832–839. Retrieved October 3, 2006, from <http://crop.scijournals.org/cgi/reprint/45/3/832.pdf>
  
59. **Hedqvist H 2004** Metabolism of soluble proteins by rumen microorganisms and the influence of condensed tannins on nitrogen solubility and degradation. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 40 p. Retrieved May 13, 2005, from [http://diss-epsilon.slu.se/archive/00000684/01/HH\\_kappa\\_final\\_version.pdf](http://diss-epsilon.slu.se/archive/00000684/01/HH_kappa_final_version.pdf)
  
60. **Holmann F, Rivas L, Carulla J, Giraldo L, Guzmán S, Martínez M, Rivera B, Medina A y Farrow A 2003** Evolución de los Sistemas de Producción de Leche en el Trópico Latinoamericano y su interrelación con los Mercados: Un Análisis del Caso Colombiano; CIAT, Cali. 53 p. [http://www.ciat.cgiar.org/tropoleche/articulos.pdf/ArtCol\\_Esp\\_May\\_2003.pdf](http://www.ciat.cgiar.org/tropoleche/articulos.pdf/ArtCol_Esp_May_2003.pdf)
  
61. **Huth P J, DiRienzo D B and Miller G D 2006** Major Scientific Advances with Dairy Foods in Nutrition and Health. *Journal of Dairy Science*. Volume 89:

1207-1221. Retrieved January 22, 2007, from <http://jds.fass.org/cgi/reprint/89/4/1207.pdf>

62. **Jarrige R 1989** Ruminant Nutrition: Recommended Allowances and Feed Tables; Institut National de la Recherche Agronomique, Libbey, Eurotext, Paris, France. 400 p.
63. **Juárez F I, Fox D G, Blake R W, and Pell A N 1999** Evaluation of tropical grasses for milk production by dual-purpose cows in tropical Mexico; Journal of Dairy Science. 82:2136–2145. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/82/10/2136.pdf>
64. **Jung H G and Vogel K P 1986** Influence of lignin on digestibility of forage cell wall material; Journal of Animal Science. 62:1703 - 1712. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/62/6/1703.pdf>
65. **Jung H G, Mertens D R and Payne A J 1997** Correlation of Acid Detergent Lignin and Klason Lignin with Digestibility of Forage Dry Matter and Neutral Detergent Fiber; Journal of Dairy Science. 80: 1622 - 1628. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/80/8/1622.pdf>
66. **Kaiser A G, Piltz J W, Hamilton J F and Havilah E J 2001** Effect of time of day on the water soluble carbohydrate content of kikuyu grass; FAO, Electronic Conference on Tropical Silage. Roma, Italy. Pg 65. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/gp/SILAGE/HTML/8P3.htm>
67. **Kamstra L D, Stanley R W and Ishizaki S M 1966** Seasonal and Growth Period Changes of Some Nutritive Components of Kikuyu Grass; The Journal of Range Management. 19: 288 - 291. <http://jrm.library.arizona.edu/data/1966/195/12kams.pdf>
68. **Kiviste A, Álvarez J G, Rojo A y Ruíz A D 2002** Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal; INIA. Madrid, España. 190 p

69. **Klopfenstein T 1996** Need for escape protein by grazing cattle; *Animal Feed Science and Technology*. 60: 191- 199.
70. **Knowlton K F 1998** Environmental implications of nutrition and feeding management; Department of Dairy Science, Virginia Tech. <http://www.dascvt.edu/nutritioncc/%20knowlton98.pdf>
71. **Lapierre H, Berthiaume R, Raggio G, Thivierge M C, Doepel L, Pacheco D, Dubreuil P and Lobley G E 2005** The route of absorbed nitrogen into milk protein. *Animal Science*. Volume 80: 11 - 22. Retrieved January 23, 2007, from [http://www.bsas.org.uk/Publications/Animal\\_Science/%3Fprint%3D1/Volume\\_80\\_Part\\_1/11/AS.pdf](http://www.bsas.org.uk/Publications/Animal_Science/%3Fprint%3D1/Volume_80_Part_1/11/AS.pdf)
72. **Laredo M A y Mendoza P E 1982** Valor nutritivo de pastos de zonas frías. I pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst). Anual y estacional; *Revista ICA (Bogotá)*, 17: 157 – 167.
73. **Laredo M A 1988** Tabla de contenido nutricional en pastos y forrajes de Colombia; Medellín: ICA – Colanta. 40 pg.
74. **Lawson R E, Moss A R and Givens D I 2001** The role of dairy products in supplying conjugated linoleic acid to man's diet: a review; *Nutrition Research Reviews*, 14: 153–172.
75. **Lee M R F, Brooks A E, J M Moorby, Humphreys M O, Theodorou M K, MacRae J C and Scollan N D 2002** *In vitro* investigation into the nutritive value of *Lolium perenne* bred for an elevated concentration of water-soluble carbohydrate and the added effect of sample processing: freeze-dried and ground vs. frozen and thawed; *Animal Research*. 51: 269 – 277. <http://www.edpsciences.org/articles/animres/pdf/2002/04/01.pdf?access=ok>
76. **León J, Mojica J E, Castro E, Cárdenas E, Pabón M L y Carulla J E 2007** Balance de nitrógeno y fósforo de vacas lecheras en pastoreo con diferentes ofertas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y suplementadas con ensilaje de

avena (*Avena sativa*). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Volume 20 (4): 615.

77. **Licitra G, Hernandez T M and Van Soest P J 1996** Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds; *Animal Feed Science and Technology*. 57: 347-358.
78. **Loor J J, Soriano F D, Lin X, Herbein J H and C E Polan 2003** Grazing allowance after the morning or afternoon milking for lactating cows fed a total mixed ration (TMR) enhances trans11-18:1 and cis9,trans11-18:2 (rumenic acid) in milk fat to different extents; *Animal Feed Science and Technology*. 109: 105–119.
79. **Lyons R K, Machen R, and Forbes T D A 1997** Why Range Forage Quality Changes; Texas Agricultural Extension Service, document B-6036. 8 p. <http://animalscience.tamu.edu/ansc/publications/beefpubs/B6036-rangeforage.pdf>
80. **Mackle T R, Bryant A M, Petch S F, Hooper R J and M J Auldish 1999** Variation in the composition of milk protein from pasture-fed dairy cows in late lactation and the effect of grain and silage supplementation; *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 42: 147-154. <http://www.rsnz.org/publish/nzjar/1999/18.pdf>
81. **MacRae J, O'Reilly L and Morgan P 2005** Desirable characteristics of animal products from a human health perspective. *Livestock Production Science*. Volume 94: 95–103. Retrieved October 3, 2006, from [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=IssueURL&\\_tockey=%23TOC%235110%232005%23999059998%23597772%23FLA%23&\\_auth=y&view=c&\\_acct=C000055778&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=1998314&md5=67f89194e02ad6827021e75b998e16e9](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=IssueURL&_tockey=%23TOC%235110%232005%23999059998%23597772%23FLA%23&_auth=y&view=c&_acct=C000055778&_version=1&_urlVersion=0&_userid=1998314&md5=67f89194e02ad6827021e75b998e16e9)

82. **Marais J P, Therion J J, Mackie R I, Kistner A, and Dennison C 1988** Effect of nitrate and its reduction products on the growth and activity of the rumen microbial population; *British Journal of Nutrition*. 59: 301-313
83. **Marais J P 1997** Nitrate and oxalates; In: D'Mello JPF (ed.) *Plant and fungal toxicants*. CRC Press, New Cork. pp. 205 – 218.
84. **Marais J P 2001** Factors affecting the nutritive value of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) - a review; *Tropical grasslands*. 35: 65 – 84. [http://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol\\_35\\_2001/Vol\\_35\\_02\\_01\\_pp65\\_84.pdf](http://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol_35_2001/Vol_35_02_01_pp65_84.pdf)
85. **Marschner H 1990** Functions of mineral nutrients: macronutrients; In: *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, San Diego, CA. Chapter 8: 195 – 267.
86. **Meeske R, Rothauge A, van der Merwe G D and Greyling J F 2006** The effect of concentrate supplementation on the productivity of grazing Jersey cows on a pasture based system. *South African Journal of Animal Science*. Volume 36 (2): 105 – 110. Retrieved February 14, 2007, from <http://www.sasas.co.za/publications/meesker36issue2.pdf?sID=>
87. **Messman M A, Weiss W P, Erickson D O 1992** Effects of nitrogen fertilization and maturity of brome grass on nitrogen and amino acids utilization by cows; *Journal of Animal Science*. 70: 566 - 575. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/70/2/566.pdf>
88. **Messman M A, Weiss W P and Koch M E 1994** Changes in total and individual proteins during drying, ensiling, and ruminal fermentation of forages; *Journal of Dairy Science*. 77: 492-500. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/77/2/492.pdf>
89. **Mgheni D M, Hvelplund T and Weisbjerg M R 1996** Rumen degradability of dry matter and protein in tropical grass and legume forages and their protein

values expressed in the AAT-PBV protein evaluation system; In: Ndikumana J. and de Leeuw P. (eds) Sustainable Feed Production and Utilization for smallholder Livestock Enterprises in Sub-Saharan Africa. Proceedings of the Second African Feed Resources Network (AFRNET), Harare, Zimbabwe, 6–10 December. Nairobi, Kenya: AFRNET (African Feed Resources Network).

90. **Michalet-Doreau B and Nozière P 1999** Intérêts et limites de l'utilisation de la technique des sachets pour l'étude de la digestion ruminale ; INRA Production Animale. 12 (3): 195-206.  
<http://www.inra.fr/internet/Produits/PA/an1999/num993/michal/bm993.htm>
91. **Mila A y Corredor G 2004** Evolución de la composición botánica de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) recuperada mediante escarificación mecánica y fertilización con compost; Revista Corpoica 5 (1): 70 – 75.
92. **Miles N, Thurtell L and Riekert S 2000** Quality of Kikuyu herbage from pastures in the Eastern Cape coastal belt of South Africa. South African Journal of Animal Science. 30 (Supplement 1): 85 – 86.
93. **Miller L A, Theodorou M K, MacRae J C, Evans R T, Adesogan A T, Humphreys M O, Scollan N D and Moorby J M 1999** Milk production and N partitioning responses in dairy cows offered perennial ryegrass selected for high water soluble carbohydrate concentrations. South African Journal of Animal Science. 29 (ISRP): 321-322.
94. **Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) 2007** Resolución 0012, Sistema de pago de la leche cruda al productor. Retrieved October 26, 2007, from [http://www.minagricultura.gov.co/archivos/resolucion\\_012\\_2007.pdf](http://www.minagricultura.gov.co/archivos/resolucion_012_2007.pdf)
95. **Ministerio de la Protección Social (MPS) 2006** Decreto 616 del 2006. 32 p. Retrieved October 26, 2007, from

[http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_agronet/2006103010449\\_decreto\\_616\\_28\\_02\\_06.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2006103010449_decreto_616_28_02_06.pdf)

96. **Minson D J 1990** Forage in ruminant nutrition; Academic Press, San Diego, Cal. 483 p.
97. **Monsalve F 2004** Comparación de dos métodos para estimar la digestibilidad posruminal de la proteína cruda del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Trabajo de grado de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 18 p.
98. **Montoya N F, Pino I D y Correa H J 2004** Evaluación de la suplementación con papa (*Solanum tuberosum*) durante la lactancia en vacas Holstein. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Volume 17: 241 - 249. Retrieved December 2, 2004, from <http://kogi.udea.edu.co/revista/17/17-3-4.pdf>
99. **Musco A, Panuccio MR and Sidari M 2003** Effects of salinity on growth, carbohydrate metabolism and nutritive properties of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum* Hochst); Plant Science. 164: 1103-1110.
100. **Mustafa A F, Qiao S Y, Thacker P A, Mckinnon J J, Christensen D A and Chaplin R K 2000** Assessment of the value of cannulated pigs for measuring intestinal protein digestibility of ruminal undegradable protein of canola meal; Canadian Journal of Animal Science. (80) 519 - 522.
101. **Naranjo H 2002** Evaluación nutricional del pasto kikuyo a diferentes edades de corte; Despertar Lechero (Colombia). 20: 149 – 167.
102. **National Dairy Council 2006** Emerging health benefits of dairy proteins. The Dairy Council Digest. Volume 77 (4): 19-24. Retrieved December 2, 2006, from <http://www.nationaldairycouncil.org/NationalDairyCouncil/Health/Digest/dcd77-4Page3.htm>

103. **National Research Council (NRC) 1989** Nutrient requirements of dairy cattle; 6th rev. ed. Update 1989. National Academic Press. Washington, DC.
104. **National Research Council (NRC) 1996** Nutrient requirements of beef cattle. Seventh revised edition; National Academy Press, Washington, D.C. 233 p
105. **National Research Council (NRC) 2001** The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition; National Academy Press, Washington, D. C. 381 p.
106. **Nielsen A H and Kristensen I S 2005** Nitrogen and phosphorus surpluses on Danish dairy and pig farms in relation to farm characteristics. Livestock Production Science. Volume 96: 97–107.
107. **1985** Protein evaluation for ruminants; NKJ-NJF Seminar No. 72. Copenhagen. Acta Agriculturae Scandinavia (Suppl. 25).
108. **Nordisk Kontaktorgan For Jordbrugsforskning/Nordiske Jordbrugsforskere Forening (NKJ-NJF) 1985** Introduction of the Nordic protein evaluation system for ruminants into practice and future research requirements. Proposals by the NKJ-NJF protein group. Acta Agriculturae Scandinavia 25 (Suppl.): 216 – 220.
109. **Orozco F H 1992** Valor fertilizante del estiércol líquido porcino (ELP) “porquinaza” en pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), Hoechst). Despertar Lechero (Colombia). 8: 46 – 56.
110. **Osorio F 1999** Efecto de la dieta sobre la composición de la leche; En: Memorias, I Seminario Internacional sobre avances en nutrición y alimentación animal, Medellín, marzo 18 - 19.
111. **Ørskov E R and McDonald I 1979** The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage; Journal of Agriculture Science. 92: 499 - 503.

112. **Palmquist D L, St-Pierre N, and McClure K E 2004** Tissue fatty acid profiles can be used to quantify endogenous rumenic acid synthesis in lambs. *Journal of Nutrition*. Volume 134: 2407–2414. Retrieved August 7, 2006, from <http://jn.nutrition.org/cgi/reprint/134/9/2407.pdf>
113. **Parodi P W 1999** Conjugated linoleic acid and other anticarcinogenic agents of bovine milk fat; *Journal of Dairy Science*. 82: 1339 – 1349. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/82/6/1339.pdf>
114. **Parra J E 2000** Evaluación de la proteína del pasto kikuyo a diferentes edades de crecimiento; Informe de Pasantía de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 24p.
115. **Pérez J 2000** Cooperativa COLANTA exportadora; Cooperativa COLANTA, Informe y balance 1999.
116. **Peyraud J L 2000** Fertilisation azotée des prairies et nutrition des vaches laitières. Conséquences sur les rejets d’azote ; *INRA Production Animale*. 13: 61-72.  
<http://www.inra.fr/internet/Produits/PA/an2000/num201/peyraud/jp201.htm>
117. **Ralph J 1996** Cell Wall Cross-linking in Grasses; Informational Conference with Dairy and Forage Industries, US Dairy Forage Research Center. 8 p.
118. **Read J W and Fulkerson W J 2003** Managing kikuyu for milk production; *Agfact P2.5.3*, third edition. State of New South Wales, NSW Agriculture. 4 p. <http://www.agric.nsw.gov.au/reader/past-management/p253.pdf?MIvalObj=12921&doctype=document&MItypeObj=application/pdf&name=/p253.pdf>

119. **Reeves M, Fulkerson WJ and Kellaway RC 1996** Forage quality of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*): the effect of time of defoliation and nitrogen fertiliser application and in comparison with perennial ryegrass (*Lolium perenne*); Australian Journal of Agricultural Research. 47(8): 1349 – 1359.
120. **Reid D and Strachan N H 1974** The effects of a wide range of nitrogen rates on some chemical constituents of herbage from perennial ryegrass swards with and without white clover; Journal of Agricultural Science, Cambridge. 83: 393-401.
121. **Rodríguez D 1999** Caracterización de la respuesta a la fertilización en producción y calidad forrajera en los valles de Chiquinquirá y Simijaca (Estudio de caso); Trabajo de grado. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Carrera de Zootecnia. 105 p.
122. **Rueda S, Taborda L, Correa H J 2006** Relación entre el flujo de proteína microbiana hacia el duodeno y algunos parámetros metabólicos y productivos en vacas lactantes de un hato lechero del Oriente Antioqueño. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Volume 19: 27 – 38. Retrieved September 19, 2006, from [http://rccp.udea.edu.co/v\\_anteriores/19-1/pdf/v19n1a04.pdf](http://rccp.udea.edu.co/v_anteriores/19-1/pdf/v19n1a04.pdf)
123. **Rulquin H, Rigout S, Lemosquet S and Bach A 2004** Infusion of glucose directs circulating amino acids to the mammary gland in well-fed dairy cows. Journal of Dairy Science. Volume 87: 340 -349. Retrieved June 14, 2005, from <http://jds.fass.org/cgi/reprint/87/2/340>
124. **Schwab C G, Tylutki T P, Ordway R S, Sheaffer C and Stern M D 2003** Characterization of Proteins in Feeds; Journal of Dairy Science. 86:(E. Suppl.): E88–E103. [http://jds.fass.org/cgi/reprint/86/13\\_suppl/E88.pdf](http://jds.fass.org/cgi/reprint/86/13_suppl/E88.pdf)
125. **Shahba M A, Qian Y L, Hughes H G, Koski A J and Christensen D 2003** Relationships of Soluble Carbohydrates and Freeze Tolerance in Saltgrass;

<http://crop.scijournals.org/cgi/reprint/43/6/2148.pdf>

126. **Smit H. J, Tas B M, Taweel H Z, Tamminga S and Elgersma A 2005** Perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivar effects on grass productivity, nutritive quality and herbage intake under grazing. In: Smit H J. Perennial ryegrass for dairy cows: Effects of cultivar on herbage intake during grazing. Ph. D. Thesis, Wageningen University, the C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation (PE&RC), Wageningen, The Netherlands. Ch 4. pp 53 – 68. Retrieved June 14, 2006, from <http://library.wur.nl/wda/dissertations/dis3735.pdf>
127. **Smith D 1973** Influence of drying and storage conditions on non-structural carbohydrates of herbage tissue; a review. *Journal of British Grassland Society*. 28 (3): 129- 134.
128. **Sniffen C J, O'Connor J D, Van Soest P J, Fox D G and Russell J B 1992** A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability; *Journal of Animal Science*. 70: 3562 - 3577. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/70/11/3562.pdf>
129. **Soto L, Laredo M A y Alarcón E 1980** Digestibilidad y consumo voluntario del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst) en ovinos bajo fertilización nitrógenada; *Revista ICA*, 15 (2): 79 – 90.
130. **Soto C P y Valencia A 2004** Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre la valoración nutricional y la degradación de la proteína del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Hochst). Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 30 p.
131. **Soto C, Valencia A, Galvis R D y Correa H J 2005** Efecto de la edad de corte y del nivel de fertilización nitrogenada sobre el valor energético y proteico del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). *Revista Colombiana de*

Ciencias Pecuarias. Volume 18 (1): 17 - 26. Retrieved December 10, 2005, from [http://rccp.udea.edu.co/v\\_anteriores/18-3/pdf/18-1-3.pdf](http://rccp.udea.edu.co/v_anteriores/18-3/pdf/18-1-3.pdf).

132. **Stokes S 1997** Balancing carbohydrates for optimal rumen function and animal health; Western Canadian Dairy Seminar; <http://www.wcds.afns.ualberta.ca/Proceedings/1997/ch06-97.htm>
133. **Strickland G, Selk G, Zhang H and Step DL 1996** Nitrate toxicity in livestock; Oklahoma Cooperative Extension. Fact Sheet F-2903. 8 p. <http://osueextra.okstate.edu/pdfs/F-2903web.pdf>
134. **Sukkar S G and Bounous G 2004** The role of whey protein in antioxidant defence. *Rivista Italiana di Nutrizione Parenterale ed Enterale*. Volume 22 (4): 193-200. Retrieved June 5, 2006, from <http://www.wichtig-publisher.com/ntm/subs%202004/vol.22no.4/04%20Sukkar.pdf>
135. **Taiz L and Zeiger E 2006** *Plant Physiology*. Ch 8. Photosynthesis: Carbon Reactions. Sinauer Associates, USA. 705p.
136. **Tas B M 2006** Nitrogen utilization of perennial ryegrass in dairy cows. In: Elgersma A., Dijkstra J. and Tamminga S. (eds.), *Fresh Herbage for Dairy Cattle*. Pp: 125-140. Retrieved March 16, 2007, from [http://library.wur.nl/frontis/perennial\\_ryegrass/07\\_tas.pdf](http://library.wur.nl/frontis/perennial_ryegrass/07_tas.pdf)
137. **Taweel H Z, Tas B M, Smit H J, Elgersma A, Dijkstra J and Tamminga S 2005** Effects of feeding perennial ryegrass with an elevated concentration of water-soluble carbohydrates on intake, rumen function and performance of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*. Volume 121: 243–256.
138. **Tedeschi L O, Pell A N, Fox D G, and Llames C R 2001** The amino acid profiles of the whole plant and of four plant residues from temperate and

tropical forages; Journal of Animal Science. 79: 525 – 532.  
<http://jas.fass.org/cgi/reprint/79/2/525.pdf>

139. **Tejos R 1996** Carbohidratos no estructurales totales en dos gramíneas nativas de sabanas bien drenadas; Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 4 (2): 134.
140. **Underwood E J and Suttle N F 1999** The mineral nutrition of livestock; 3rd Edition. CABI publishing, Wallingford, UK. 600 p.
141. **Urbano D 1997** Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de tres gramíneas tropicales; Revista de la Facultad de Agronomía. (LUZ). 14: 129-139.  
[http://www.revfacagronluz.org.ve/v14\\_1/v141z011.html](http://www.revfacagronluz.org.ve/v14_1/v141z011.html)
142. **US Food and Drug Administration (US FDA) 2003** Questions and answers about trans fat nutrition labeling. Retrieved June 22, 2006, from [www.cfsan.fda.gov/~dms/qatrans2.html](http://www.cfsan.fda.gov/~dms/qatrans2.html).
143. **Van der Honing Y and Alderman G 1988** Feed evaluation and nutritional requirements. III. 2. Ruminants; In: Livestock Feed Resources and Feed Evaluation in Europe (Eds. F. De Boer and H. Bikel). Livestock Production Science. 19: 217-278.
144. **Van Horn H H, Wilkie A C, Powers W J and Nordstedt R A 1994** Components of dairy manure management systems; Journal of Dairy Science. 77: 2008 - 2030. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/77/7/2008>
145. **Van Soest P J 1963** Use of detergents in the analysis of fibrous foods. II. A rapid method for the determination of fibre and lignin; Association of Official Agricultural Chemists. 46:829–835.
146. **Van Soest P J 1994** Nutritional ecology of the ruminant; Cornell University Press, Cornell University, Ithaca, New York. 476 p.

147. **Van Straalen W M, Dooper F M H, Antoniewicz A M, Kosmala I and Van Vuuren A M. 1993** Intestinal digestibility in dairy cows of protein from grass and clover measured with mobile nylon bag and other methods; Journal of Dairy Science. 76: 2970–2981. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/76/10/2970.pdf>
148. **Vandehaar M J 1998** Efficiency on nutrient use and relationship to profitability on dairy farms; Journal of Dairy Science. (81) 272 - 282. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/81/1/272>
149. **Vargas E A y Mejía D C 2004** Efecto de diferentes regímenes de alimentación en vacas holstein lactantes sobre el flujo de proteína microbiana al duodeno; Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 31 p.
150. **Verité R, Michalet-Doreau B, Chapoutof P, Peyraacz J L and Pomt C 1987** Revision du system des protéines digestibles dans l' intestin P.D.I ; Bulletin Tech C R Z V . Theix, Inst. Natl. Rech. Agroa., 79:19 - 34.
151. **Ward A T, Wittenberg K M, Froebe H M, Przybylski R and Malconlmsn L 2003** Fresh forage and solin supplementation on conjugated linoleic acid levels in plasma and milk; Journal of Dairy Science. 86: 1742-1750. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/86/5/1742.pdf>
152. **Watts K 2005** Water soluble carbohydrate content of forages in autumn. Poster abstract, proceedings: Countermeasures to Laminitis, Waltham Nutritional Symposium, Washington, DC. Retrieved September 2, 2007, from <http://safergrass.org/pdf/WalthamFallgrass.pdf>
153. **White S L, Bertrand J A, Wade M R, Washburn S P, Green Jr J T and Jenkins T C 2001** Comparison of fatty acid content of milk from jersey and

holstein cows consuming pasture or a total mixed ration; *Journal of Dairy Science*. 84: 2295–2301. <http://jds.fass.org/cgi/content/abstract/84/10/2295>

154. **Wyss U, Morel I and Collomb M 2006** Fatty acid content of three grass/clover mixtures. *Grass Science in Europe*. Volume 11: 348 – 350. Retrieved April 10, 2007, from [http://www.db-alp.admin.ch/de/publikationen/docs/pub\\_WyssU\\_2006\\_16192.pdf](http://www.db-alp.admin.ch/de/publikationen/docs/pub_WyssU_2006_16192.pdf)
155. **Youngner V B, Wright W W and Zimmerman E 1971** Kikuyugrass- Its management and control; *California Turfgrass Culture*, 21: 1 – 3. [http://ohric.ucdavis.edu/Newsltr/CTC/ctcv21\\_1.pdf](http://ohric.ucdavis.edu/Newsltr/CTC/ctcv21_1.pdf)
156. **Zapata F 2000** Kikuyo; *Especies Forrajeras Versión 1.0*. Colombia: Agrosoft Ltda.

## 2.2. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión):

### II. Contenido de energía, consumo, producción y eficiencia nutricional<sup>4</sup>

Héctor Jairo Correa C<sup>1</sup>, Martha Lucia Pabón R<sup>2</sup> y Juan Evangelista Carulla F<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, [hjcorreac@unal.edu.co](mailto:hjcorreac@unal.edu.co); <sup>2</sup>Laboratorio de Nutrición Animal, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, [mlpabonr@unal.edu.co](mailto:mlpabonr@unal.edu.co); <sup>3</sup>Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, [jecarullaf@unal.edu.co](mailto:jecarullaf@unal.edu.co)

#### Resumen

*No obstante que el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.), es la gramínea que más se utiliza en los sistemas de leche especializada en la zona andina de Colombia, presenta algunos limitantes nutricionales que afectan tanto la producción como la calidad composicional de la leche entre los que se destacan su bajo contenido de energía. El consumo de materia seca del pasto kikuyo no parece estar limitado por su alto contenido de fibra en detergente neutro (FDN), bajo contenido de materia seca (MS) y carbohidratos no estructurales reportándose valores que superan los 18.0 kg de MS/vaca/d con consumos de FDN equivalentes al 1.6% del peso vivo. El potencial para la producción de leche a partir de pasto kikuyo tiene un límite cercano a los 12 L/vaca/d, aunque algunos datos muestran que por su contenido de ENI, esta producción puede ascender hasta los 29 L/vaca/d. La suplementación alimenticia mejora el nivel de producción de leche sin que afecte significativamente el contenido de grasa y proteína en la leche, siendo esta última particularmente baja (menor al 3.0%). Esto último determina la baja eficiencia en el uso del nitrógeno consumido para la síntesis de proteínas lácteas en los sistemas especializados de producción de leche en el país que*

---

<sup>4</sup> Correa HJ, Pabon ML y Carulla JE 2008 Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): II. Contenido de energía, consumo, producción y eficiencia nutricional. *Livestock Research for Rural Development*, 20 (4), Article # 61 ISSN: 0121-3784.

*están basados en esta gramínea y cuyo promedio es del 17.4%. Por su contenido de ácidos linoléico y linolénico, el pasto kikuyo tiene el potencial de producir leche con mayor contenido de ácido linoléico conjugado que otras gramíneas, pudiendo superar los 20.0 mg/g de grasa.*

**Palabras clave:** composición de la leche, consumo de materia seca, contenido de energía, pasto kikuyo, rendimiento lechero

### **2.2.1. Introducción.**

La asignación del valor nutricional a los forrajes ha sido tan problemático como el concepto mismo. Desde que en 1809 Thaer y Einhof plantearon los Equivalentes de Heno como una medida para evaluar los alimentos de uso corriente en la producción animal (Blaxter y Graham 1955), han sido desarrolladas diversas propuestas para establecer el valor nutricional de los alimentos en general (France et al 2000), y de los forrajes en particular (Beever y Mould 2000, Mould 2002, Tarawali et al 1995). En el caso de estos últimos, su valor nutricional ha sido concebido de muy diversas maneras. Así, mientras que para algunos autores tiene que ver únicamente con la composición química, la digestibilidad y el consumo (Stokes y Prostko 1998, Undersander y Moore 2004), para otros este concepto involucra, además, la utilización del forraje por parte del animal (Ball et al 2001, Fahey y Hussein 1999, Van Soest 1994).

Aunque el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst. Ex Chiov.) ha sido la base de la alimentación de los sistemas de producción lechera especializada en Colombia durante varias décadas (Carulla et al 2004, Concejo Regional de la Cadena Láctea de Antioquia 2001, Laredo y Mendoza 1982, Mila y Corredor 2004) el conocimiento que se tiene sobre su valor nutricional para la producción de leche es aún muy vago entre técnicos y productores. Sin embargo, estos sistemas de producción animal enfrentan una serie de amenazas que ponen en riesgo la competitividad de los mismos y que, en buena medida, se hallan asociados con la calidad nutricional de esta gramínea. De allí la necesidad de establecer con claridad la información existente sobre la calidad nutricional del pasto kikuyo en el país. En un documento adjunto se discutió la composición química y la digestibilidad de esta gramínea (Correa et al 2008). En este segundo documento se analizaron otros aspectos relacionados con su calidad nutricional

como son el contenido de energía, el consumo de materia seca, el potencial que tiene esta gramínea para la producción de leche, el manejo del pastoreo y el efecto de la suplementación, así como la eficiencia en el uso del nitrógeno para la síntesis de proteínas lácteas.

### **2.2.2. Contenido de energía.**

El valor energético de los forrajes se considera como el primer factor limitante para la producción de leche en sistemas bajo pastoreo (Kolver 2003) y el pasto kikuyo no es la excepción. El valor energético de esta gramínea estimado a partir de muestras recolectadas en Antioquia, se muestra en la Tabla 2.2.1. Como se puede apreciar, el promedio en el contenido de energía neta de lactancia (ENL) fue de 1.15 Mcal/kg de MS. En general, el contenido energético del pasto kikuyo es menor al de los rye grasses como ha sido demostrado por varios autores. Así, Gaitán y Pabón (2003) encontraron que el contenido de ENL del pasto kikuyo es aproximadamente 20% más bajo que el del rye grass perenne (*Lolium perenne*) cuando son cultivados bajos las mismas condiciones. Los datos presentados por Meeske *et al* (2006) por su parte, indican que el contenido energético del rye grass perenne es entre 9.3 y 15% más alto que el del pasto kikuyo. En general, el contenido energético en los pastos utilizados para la alimentación de vacas lecheras en las zonas templadas, oscila entre 1.53 y 1.67 Mcal/kg MS de ENL (Clark and Kanneganti 1998) valores muy superiores a los hallados en el país aún con rye grasses.

Dugmore (1998) en Sudáfrica reportó que el contenido de EM del pasto kikuyo osciló entre 2.1 y 2.2 Mcal, valores más altos que el reportado por Gaitán y Pabón (2002) (1.91 MCal/kg de MS). Por su parte Read y Fulkerson (2003) en Australia encontraron que el contenido de EM del pasto kikuyo es más alto en las hojas alcanzando valores similares a los reportados por Dugmore (1998). Al evaluar el contenido de EM en los tallos, este valor se redujo a 1.76 Mcal.

**Tabla 2.2.1.** Contenido de energía neta de lactancia (ENI) en muestras de pasto kikuyo recolectadas en Antioquia.

	ENI, Mcal/kg de MS
<b>Promedio</b>	1.15
<b>Máximo</b>	1.40
<b>Mínimo</b>	0.99
<b>C. V. %</b>	12.7

Aunque es ampliamente reconocida la correlación negativa existente entre la FDA y la digestibilidad de la MS (Van Soest et al 1978, Schroeder 1994), la correlación negativa existente entre la FDN y la digestibilidad de la MS no es menos importante (Van Soest et al 1978) y es precisamente a partir de la estimación de la digestibilidad verdadera de la FDN que se calcula el aporte que esta fracción hace a la energía digestible de los alimentos para bovinos lecheros en la nueva propuesta del NRC (NRC 2001, Weiss et al 1992). Ya se había señalado previamente (Correa et al 2008) que el contenido de FDN del pasto kikuyo es quizá una de los factores más limitantes para la producción de leche debido a que esta fracción se encuentra correlacionada negativamente con la energía disponible.

Caro y Correa (2006) encontraron que la digestibilidad de la MS del pasto kikuyo se redujo al tiempo que se incrementó la concentración de FDN al avanzar la edad de corte. Al analizar la correlación entre la digestibilidad total de la MS con la concentración de FDN se encontró un valor negativo muy alto ( $r = -0.95$ ,  $p < 0.003$ ). Van Soest et al (1978) también reportaron correlaciones negativas entre la FDN y la digestibilidad *in vivo* de la MS en gramíneas cuyo valor más extremo fue -0.98. Sin embargo, estos autores también encontraron correlaciones positivas entre estas variables llegando a valores tan altos como +0.9. Los datos de Soto et al (1980) también muestran una correlación positiva entre la concentración de FDN en pasto kikuyo y la

digestibilidad *in vivo* de la MS de +0.88. Lo anterior indica que la FDN por si sola no es un parámetro lo suficientemente confiable para estimar la digestibilidad de la MS. La FDA tampoco lo es ya que en el trabajo de Van Soest et al (1978) también se reportaron correlaciones altas y positivas entre la FDA y la digestibilidad de la MS. Tal es el caso de *Bromus inermis* y de *Festuca arundinacea* en los que las correlaciones fueron de +0.37 y +0.99, respectivamente en dos de las evaluaciones reportadas. Laredo y Mendoza (1982) encontraron que el aporte que hace la FDA a la estimación de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y a la energía digestible del pasto kikuyo es mínima. Por el contrario, Rodríguez (1999) encontró que la FDA explicó el 75.7% de la DIVMS del pasto kikuyo aunque la FDN explicó un porcentaje más alto (81.1%). La pendiente en el caso de la FDA fue, sin embargo más alta (-1.57%) en comparación con la reportada para la FDN (-0.78%).

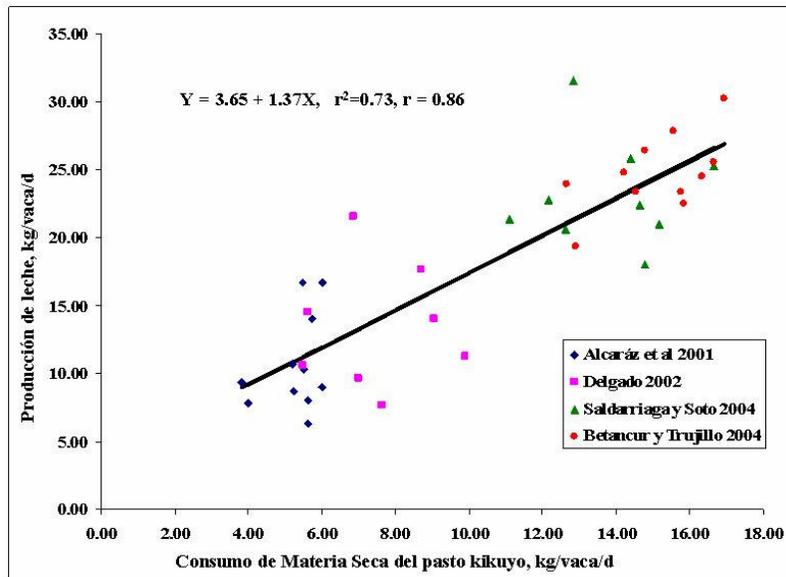
La lignina está inversamente relacionada con la digestibilidad de la materia seca y, por lo tanto, con la disponibilidad de energía de los forrajes (Ralph 1996, Van Soest 1994). La abundancia de lignina y la frecuencia de enlaces cruzados con arabinosilanos parecen ser los factores más importantes que determinan la digestibilidad de la MS (Casler 2001, Casler y Jung 2006, Grabber et al 2004, Ralph 1996). Con base en los datos de Caro y Correa (2006) se pudo establecer que la correlación entre la lignina y la digestibilidad de la MS es negativa aunque no muy alta ( $r = -0.25$ ). Soto et al (1980), por su parte, reportaron una correlación alta y negativa entre la digestibilidad *in vivo* de la MS del pasto kikuyo y la concentración de lignina ( $r = -0.948$ ). Estos autores, sin embargo, encontraron que la concentración de lignina se redujo con la edad de rebrote lo que explicó la correlación positiva entre la FDN y la digestibilidad *in vivo* de la MS, como se señaló previamente.

### **2.2.3. Consumo de materia seca (CMS).**

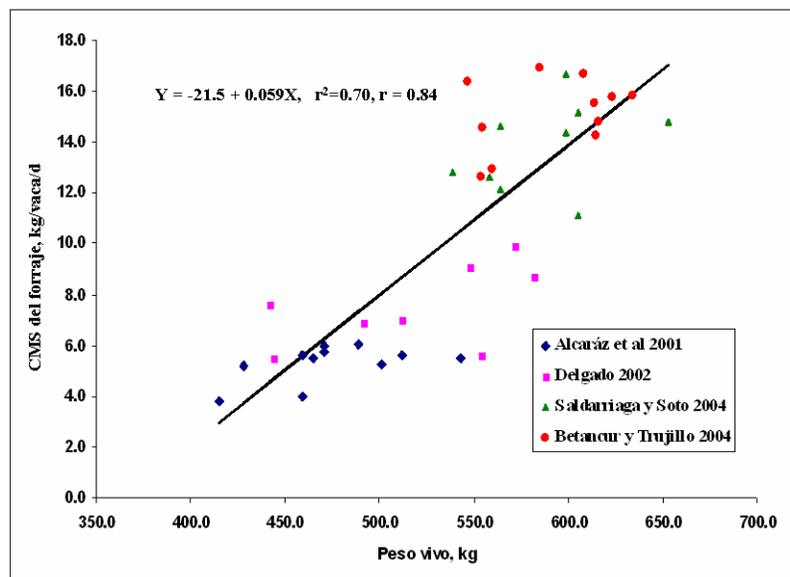
El CMS del pasto kikuyo parece estar limitado por algunas de sus características entre las que se destacan el bajo contenido de materia seca, el alto contenido de fibra, el bajo contenido de CNE (Brand et al 1999, Marais 2001) y la baja palatabilidad de esta gramínea producto de la presencia de nitratos y del bajo contenido de azúcares (Marais 2001, Miles et al 2000). Dugmore (1998), encontró que tanto la concentración de PC como de NNP en el pasto kikuyo, tienen un efecto negativo sobre el CMS. Según este

autor, esta reducción equivale a 0.62% y 1.1% por cada 1% de incremento en el contenido de PC y NNP, respectivamente. Los datos encontrados en Antioquia (Figura 2.2.1 y Tabla 2.2.2) y los reportados por Fulkerson et al (2006), sin embargo, muestran una faceta menos crítica en cuanto al CMS en animales consumiendo pasto kikuyo.

En la figura 1 se presenta la relación entre el CMS a partir del pasto kikuyo y la producción de leche hallada en cuatro trabajos realizados en Antioquia bajo condiciones de estabulación individual con suministro del pasto a libre voluntad (Alcaráz et al 2001, Betancur y Trujillo 2004, Delgado 2002, Saldarriaga y Soto 2004). En todos estos trabajos las vacas fueron suplementadas con alimentos comerciales así: de 3.6 kg de MS/vaca/día (Alcaráz et al 2001); entre 2.25 y 6.3 kg de MS/vaca/día (Delgado 2002); 6.15 kg de MS/vaca/día (Saldarriaga y Soto 2004) y entre 6.08 y 6.17 kg de MS/vaca/día (Betancur y Trujillo 2004). El CMS fue calculado por la diferencia entre el forraje ofrecido de manera individual y el rechazo cada 24 horas, Los datos mostrados en la figura 1 corresponden al CMS del pasto kikuyo. Como se puede apreciar en esta figura, existe una relación positiva entre el CMS a partir del pasto kikuyo y la producción de leche cuyo coeficiente de correlación fue alto ( $r = 0.86$ ), aunque un poco más bajo que el reportado por Dado y Allen (1994) ( $r = 0.91$ ). Así mismo, con base en la información recolectada en estos cuatro trabajos se pudo establecer una alta correlación entre el CMS y el peso vivo de los animales ( $r = 0.84$ ) indicando que las vacas más pesadas son, así mismo, las que presentan mayor capacidad de consumo de forraje y las que mayor capacidad de producción de leche tienen. La correlación hallada entre el peso vivo y la producción de leche fue, igualmente, alta ( $r = 0.73$ ). Esta relación corrobora el hecho de que el incremento en el peso vivo es una consecuencia del mejoramiento genético para producción de leche (Hansen 2000).



**Figura 2.2.1.** Relación entre el consumo de materia seca del pasto kikuyo y la producción de leche en vacas holstein en Antioquia.



**Figura 2.2.2.** Relación entre el peso vivo en vacas Holstein en Antioquia y el consumo de materia seca del pasto kikuyo.

La Tabla 2.2.2 indica que el CMS a partir del pasto kikuyo en las condiciones de producción de leche de Antioquia (Betancur y Trujillo 2004, Saldarriaga y Soto 2004), puede alcanzar valores tan altos como 16.9 kg/vaca/d. En el departamento de Cundinamarca se han estimado consumos mayores (18.2 kg/vaca/d) utilizando óxido de

cromo como marcador externo y fibra en detergente ácido indigerible como marcador interno (Mójica et al 2007). Otros autores, sin embargo, reportan valores más altos para este mismo pasto como es el caso de Fulkerson et al (2006) quienes reportaron un valor máximo de 19.4 kg/vaca/d. Cuando el CMS se expresa en gr/kg PV<sup>0.75</sup>, el valor máximo observado en Antioquia (144.5 gr/kg PV<sup>0.75</sup>) resulta ser muy superior al valor máximo revisado por Marais (2001) que fue de 63.1 gr/kg PV<sup>0.75</sup>. Incluso en novillas se han reportado consumos más altos que los revisados por este autor. Así, Salazar et al (1980) reportaron que el CMS del pasto kikuyo en novillas holstein fue equivalente a 114.3 gr/kg PV<sup>0.75</sup> en tanto que Ramírez et al (1983), utilizando igualmente novillas holstein, estimaron que este valor oscila entre 65.3 y 92.5 gr/kg PV<sup>0.75</sup>. Este último dato es muy cercano al hallado por Fushai (2006) en novillas holstein (94 gr/kg PV<sup>0.75</sup>) y al valor hallado por Mann y Stewart (2003) en novillos holstein de un año de edad (93 gr/kg PV<sup>0.75</sup>).

**Tabla 2.2.2.** Consumo de materia seca y de FDN de pasto kikuyo encontrado en Antioquia<sup>1</sup>.

	Consumo						
	MSk <sup>2</sup> Kg/d	FDNk Kg/d	FDNt Kg/d	MSk, g/kg PV <sup>0.75</sup>	MSk, % PV	FDNk, % PV	FDNt, % PV
Promedio <sup>3</sup>	10.49	7.99	9.39	121.43	2.47	1.36	1.59
Máximo	16.92	9.55	10.98	144.53	2.99	1.62	1.88
Mínimo	3.83	6.03	7.45	91.09	1.84	1.00	1.23
C. V. %	42.91	11.94	10.13	10.75	10.84	11.27	9.64

<sup>1</sup> Resumen de los datos obtenidos por Betancur y Trujillo (2004) y por Saldarriaga y Soto (2004).

<sup>2</sup> MSk = material seca consumida del kikuyo, FDNk = FDN consumido del kikuyo; FDN consumida total.

<sup>3</sup> n = 20

Aunque los valores reportados para el CMS a partir del pasto kikuyo en vacas lactantes en Antioquia son altos, es necesario tener en cuenta que estos se obtuvieron bajo estabulación y con suministro a libre voluntad. Aún así, estos resultados dan una idea del potencial de consumo que se puede alcanzar con esta gramínea en pastoreo si no existen restricciones para su consumo.

Bajo condiciones de pastoreo, sin embargo, el consumo voluntario de materia seca ha sido identificado como el componente más limitante para la producción de leche (Kolver 2003, Bargo 2002, Bargo et al 2003, Taweel 2006). Dado que la oferta forrajera

(OF) (cantidad diaria de pastura ofrecida por animal; kg MS/100 kg PV/d) presenta una relación estrecha con el CMS en pastoreo, este factor ha sido identificado como el más limitante para alcanzar altos CMS (Carulla et al 2004, Bargo et al 2003). Aún no es clara, sin embargo, cual debería ser la OF necesaria para maximizar el CMS (Bargo et al 2003). Un estudio reciente con pasto kikuyo realizado por la Universidad Nacional de Colombia en la Sabana de Bogotá, sugiere que esto se logra cuando la OF alcanza valores que oscilan entre 4.0 y 5.0 kg de MS/100 kg PV/d (Escobar y Carulla 2003). Este es un rango muy similar al propuesto por Leaver (1985).

Escobar y Carulla (2003) realizaron un trabajo en praderas de kikuyo y rye grass en el que demostraron que cuando la oferta forrajera pasa de 3 a 7 Kg MS/100 Kg PV, el CMS asciende desde 12.71 hasta 23.47 kg de MS/vaca/día con lo que la producción de leche por animal se incrementa. Es necesario sin embargo, tener en cuenta que en este trabajo el CMS se calculó como la diferencia entre el material ofrecido y el remanente luego del pastoreo (método agronómico). Hernández et al (2000), por su parte, también encontraron un incremento en la ganancia de peso en borregos en crecimiento alimentados con pasto kikuyo en pastoreo bajo varias asignaciones de forraje. Este incremento en la respuesta animal, sin embargo, pone en riesgo no solo la producción por hectárea (García y Rossi 2001) si no, además, la eficiencia en el uso de la pradera ya que normalmente se incrementan las pérdidas de forraje, que pueden ascender a más del 50% (Aristizábal y Londoño 2002) e incrementarse con la OF (Orozco et al 1997) hasta alcanzar valores cercanos al 65% del material disponible (Hernández et al 2000). Aristizábal y Londoño (2002) han propuesto el pastoreo con corte previo como una alternativa de manejo del potrero que reduce significativamente las pérdidas del forraje.

El contenido de FDN se ha asociado negativamente con el CMS debido a que esta fracción química está positivamente correlacionada con la densidad del forraje y con el llenado del rumen de tal manera que un mayor contenido de FDN significa un menor CMS (Harris 1993, Mertens, 1987; Belyea et al, 1996). Esto indica que existe un límite para el CMS que depende de la concentración de FDN de la dieta de vacas lecheras, el cual se ha estimado que oscila entre 1.1 y 1.2 % del peso vivo del animal (Mertens 1985). Basado en esta relación este autor sugirió que el CMS máximo se puede calcular con base en la concentración de FDN del forraje como  $1.2\%/FDN\%$ . Los resultados presentados por Fulkerson et al (2006) en pasto kikuyo y los datos mostrados en la

Tabla 2.2.2, sin embargo, ponen en cuestión dicho valor. Fulkerson et al (2006) encontraron que el consumo de FDN, como porcentaje del peso vivo, varía entre 1.6 y 2.2% para el pasto kikuyo y entre 1.5 y 1.6% para rye grass. Los valores hallados a partir de cuatro estudios con vacas holstein lactantes en Antioquia consumiendo pasto kikuyo (Alcaráz et al 2001, Delgado 2002, Betancur y Trujillo 2004, Saldarriaga y Soto 2004) indican que esta variable oscila entre 1.0 y 1.62 (Tabla 2.2.2), indicando, así mismo que el valor de 1.2% del peso vivo como límite para el consumo de FDN, no es correcto. Rayburn y Fox (1993) ya habían establecido con anterioridad que el consumo de FDN como porcentaje del peso vivo en vacas holstein, depende de los días en lactancia y del nivel de producción de leche corregida por su contenido de grasa, así como por el contenido de FDN en la ración demostrando, así mismo, que la estimación del CMS a partir del contenido de FDN como lo propuso de Mertens (1985), genera grandes errores.

Se ha sugerido que el bajo contenido de materia seca de los forrajes en condiciones de pastoreo también puede limitar el CMS (Cabrera et al 2004, Robison et al 1990) lo que podría ser importante en el caso del pasto kikuyo dado que el contenido de MS puede ser baja. Sierra y Zabala (2000) hallaron que el contenido de MS del pasto kikuyo oscila entre 13.5 y 14.5% mientras que Naranjo (2002) reportó un promedio cercano al 15% mostrando fluctuaciones durante el día que iban entre 11.7% a las 3:00 a.m. y 18.8% a las 6:00 p.m.

Salazar et al (1980) reportaron que el CMS del pasto kikuyo por novillas en crecimiento fue mayor cuando el pasto se suministró henificado (3.31 kg de MS/100 kg de peso vivo) que cuando este se suministró fresco (2.86 kg de MS/100 kg de peso vivo) o ensilado (2.7 kg de MS/100 kg de peso vivo). Romero et al (1980) por su parte, también encontraron que el CMS total durante los primeros 115 días de vida de terneras que consumían heno de pasto rye grass (*Lolium multiflorum* x *Lolium perenne*) fue mayor (185.5 kg) que el CMS del mismo pasto fresco (150.9 kg) arrojando, así mismo, mayores ganancias de peso. La adición de agua a los suplementos alimenticios y al ensilaje, sin embargo, no afecta el CMS (Robinson et al 1990). Cabrera et al (2004) encontraron que solamente el agua interna tiene la capacidad de reducir el CMS mientras que el agua adicionada externamente, no genera ningún efecto sobre dicha variable. Esto se debe, según los autores, a que el agua externa es deglutida antes que el

resto del bolo alimenticio y así, esta transita directamente hacia el omaso a través de la gotera reticulo-omasal, sin ingresar al rumen.

#### **2.2.4. Potencial para producción de leche.**

Ya fue señalado previamente que el CMS se ha considerado como el factor más limitante para la producción de leche en vacas bajo condiciones de pastoreo (Kolver 2003). Al respecto Carulla et al (2004) sugieren que el kikuyo puede ser capaz de sostener niveles de producción de leche entre 8 y 12 litros sin requerir suplementación adicional indicando que los limitantes nutricionales más importantes esta relacionados con el CMS y su contenido energético. Los datos mostrados en la Tabla 2.2.1, indican que el contenido promedio de energía de las muestras de pasto kikuyo evaluadas en Antioquia es suficiente para cubrir las demandas de ENI de una vaca con un peso promedio de 550 kg produciendo 11.23 litros de leche con 3.5% de grasa (NRC 2001). Este valor es ligeramente más bajo que el reportado por Reeves et al (1996) quienes indican que cuando el pasto kikuyo es bien manejado y es utilizado como único alimento se puede alcanzar una producción de leche que oscila entre 13 y 16 litros. Laredo y Mendoza (1982) también reportan que la capacidad máxima de producción de leche de este pasto es de 12 litros y que está se halla limitada fundamentalmente por su contenido de energía.

Los datos de la Tabla 2.2.1 también indican, sin embargo, que es posible obtener valores de ENI en pasto kikuyo superiores a 1.40 Mcal/kg de MS, valor que corresponde a las muestras recolectadas a los 32 días y que fueron analizadas por Caro y Correa (2006). Con este contenido de energía teóricamente sería factible obtener 29.0 litros de leche (NRC 2001). Este valor es similar al hallado por Kolver y Muller (1998) y al sugerido por McGilloway y Mayne (1996) como el límite superior para la producción en vacas alimentadas con pastos de alta calidad nutricional sin suplementación alimenticia. Este es un tema que debe ser evaluado, sin embargo, con más detenimiento por todas las implicaciones que tiene en cuanto al manejo que debería darse a dicha gramínea. Al respecto, Osorio (2004) sugiere la necesidad de replantear los supuestos en los que se basa la evaluación nutricional de los forrajes tropicales dado que los cálculos teóricos no concuerdan con los reportes de

producciones promedias de 23.0 litros/vaca/d en praderas de kikuyo en la zona de Chiquinquirá (Cundinamarca).

### **2.2.5. Sistemas de pastoreo y suplementación alimenticia.**

Los sistemas de lechería especializada responden por más del 50% de la producción de leche del país (Osorio 2004). Un porcentaje elevado de estos sistemas de producción están basados en el pastoreo rotacional con cerca eléctrica y la suplementación con alimentos comerciales (Arias et al 1990, Concejo Regional de la Cadena Láctea de Antioquia 2001, Osorio 2004, Rivera et al 1999). No obstante que en estos sistemas de producción la pastura es la base de la alimentación, generalmente el manejo del pastoreo se realiza sin sustentación técnica (Rodríguez 1999). Algo similar sucede con el uso de alimentos comerciales, lo que genera dificultades para mantener el balance de nutrientes de la ración diaria de los animales (Martínez y Vázquez 2002).

Bajo este sistema, el acceso de los animales a la pastura esta controlado mediante una cerca eléctrica móvil que es desplazada entre una y seis veces al día siendo más frecuente el desplazamiento de la cerca eléctrica dos veces diarias, luego de cada ordeño. El tamaño de la franja que es asignada en cada desplazamiento de la cerca, se calcula empíricamente considerando tanto el número de animales como la disponibilidad de la pradera. Aún así, es frecuente encontrar que el consumo de forraje sea alto en las primeras horas de cada pastoreo y que se reduzca a medida que se agote el pasto disponible en cada franja (Agudelo y Puerta 2004). Estos autores estudiaron el comportamiento en pastoreo de vacas holstein lactantes en un hato lechero de Antioquia y encontraron que el porcentaje de animales pastoreando fue alto entre las 3:00 y 5:00 p. m. (> a 70%), medio entre las 8:00 y 10:00 a. m. (entre 30 y 70%) y bajo entre las 11:00 y 12:00 m. (< a 20%), es decir, poco antes de entrar a la sala de ordeño. Un ritmo de pastoreo similar es descrito por Van Soest (1994) en ovejas durante los meses de verano.

Aunque el incremento en la oferta forrajera (kg de MS de material vivo en la pradera/100 kg de PV/día) favorece el CMS y la producción de leche por vaca (Carulla et al 2004, Bargo et al 2003), esta se halla limitada por la presión de pastoreo (kg de material residual/ha/día). Por otro lado, la carga animal (número de unidades

animales/ha/día) es uno de los factores más determinantes de la productividad en los sistemas especializados de producción lechera, medida esta como la producción de leche por hectárea/año, al afectar la capacidad que tienen estos hatos de alcanzar un determinado nivel de ingresos (García y Rossi 2001, Osorio 2004, Taweel 2006). La productividad, a su vez, determina el nivel de competitividad (Osorio 2004) de estos sistemas de producción. La capacidad de carga por sí sola, sin embargo, no explica la productividad de los hatos lecheros toda vez que en las fincas que presentan las mayores cargas, se encuentran en los extremos de desempeño productivo (4.2 Unidades Gran Ganado para las fincas de menos de 12 litros vaca/día y 4.3 Unidades Gran Ganado para las de más de 24 litros) (Osorio 2004). Estas diferencias son debidas, según este autor, tanto al número de vacas en ordeño por hectárea como al desempeño productivo de cada animal. Estos factores, a su vez, son responsables de la variabilidad en los niveles de productividad que es posible hallar dentro de los sistemas de producción lechera especializada (Consejo Regional de la Cadena Láctea de Antioquia 2001, Osorio 2004).

Osorio (2004) analizó la información productiva y reproductiva de 229 lecherías especializadas en varias regiones del país (Antioquia, Cundinamarca, Boyacá, Risaralda, Quindío, Caldas y Valle del Cauca) discriminando cinco clases de hatos de acuerdo al promedio de producción vaca/d, y reportando que una alta proporción de los hatos (33% del total) correspondieron al rango de 16.1 a 20 litros vaca/d.

La suplementación con alimentos comerciales es una práctica común en los sistemas de producción de lechería especializada representando un porcentaje importante de los costos de producción (FEDEGAN 2003, Osorio 2004). Aunque estos alimentos presentan un contenido energético superior al del pasto kikuyo, el costo de la energía que aportan es alto. Así, mientras que producir un kg de MS de pasto kikuyo en Colombia, cuesta aproximadamente U\$0.020, el precio promedio de los alimentos comerciales gira alrededor de los U\$0.30/kg de MS (Osorio 2004). El contenido promedio de ENI del pasto kikuyo, por otro lado, es 1.15 Mcal (Tabla 2.2.1), mientras que el de los alimentos comerciales es de 1.74 Mcal (Tablas 2.2.3, 2.2.4 y 2.2.5). De esta manera, se puede inferir que mientras que una Mcal de ENI proveniente del pasto kikuyo cuesta aproximadamente U\$0.017, la misma Mcal de ENI proveniente de los alimentos comerciales, cuesta U\$0.17, es decir, 10 veces más. Aún así, estos alimentos comerciales son frecuentemente utilizados de manera irracional lo que conlleva, no

solamente a encarecer los costos de producción (IICA 2004, Holmann et al 2003, Meeske et al 2006) si no, a generar la aparición de problemas metabólicos, nutricionales y alimenticios (Abreu y Petri 1998, Martínez y Vázquez 2002, Montoya et al 2004, Rueda et al 2006).

**Tabla 2.2.3.** Composición química y valor energético de los alimentos comerciales utilizados en la suplementación de vacas lactantes en Antioquia<sup>1</sup>

	Composición química				Valor energético <sup>2</sup>
	PC	FDN	CNE	EE	ENI1x
	Porcentaje de la MS				Mcal/kg de MS
<b>Promedio</b>	18.5	32.4	34.3	6.8	1.76
<b>Máximo</b>	22.8	40.6	48.7	8.5	1.91
<b>Mínimo</b>	14.6	21.8	27.4	4.3	1.47
<b>C. V., %</b>	19.82	25.62	24.63	23.15	9.92

<sup>1</sup>Gaitán y Pabón 2003, Galvis et al 2003, Montoya y Bernal 2003, Montoya et al 2004, Rueda et al 2006.

<sup>2</sup> El contenido energético se estimó con el modelo de Weiss et al (1992) para animales consumiendo a nivel de mantenimiento.

**Tabla 2.2.4.** Composición química y valor energético de los alimentos comerciales utilizados en la suplementación de vacas lactantes en Cundinamarca<sup>1</sup>

	Composición química			Valor energético <sup>2</sup>
	PC	FDA	EE	ENI1x
	Porcentaje de la MS			Mcal/kg de MS
<b>Promedio</b>	18.9	17.1	5.95	1.72
<b>Máximo</b>	40.8	47.7	7.82	1.89
<b>Mínimo</b>	10.8	8.68	0.16	0.81
<b>C. V., %</b>	28.8	66.1	32.6	14.5

<sup>1</sup> Abreu y Petri (1998)

<sup>2</sup> El contenido energético se estimó con el modelo de Adams (1994).

**Tabla 2.2.5.** Composición química parcial y valor energético de los alimentos comerciales utilizados en la suplementación de vacas lactantes en Boyacá<sup>1</sup>

	Composición química			Valor energético <sup>2</sup>
	PC	FDA	EE	ENI1x
	Porcentaje de la MS			Mcal/kg de MS
<b>Promedio</b>	16.63	19.6	5.29	1.70
<b>Máximo</b>	22.43	59.6	8.19	1.97
<b>Mínimo</b>	9.23	3.82	2.62	1.00
<b>C. V., %</b>	19.0	89.3	34.6	18.2

<sup>1</sup> Abreu y Petri (1998)

<sup>2</sup> El contenido energético se estimó con el modelo de Adams (1994).

Como se puede apreciar en las tablas anteriores (Tablas 2.2.3, 2.2.4 y 2.2.5), la composición química y el contenido energético de estos alimentos comerciales varía apreciablemente. En el caso de la energía, se puede apreciar que el contenido de ENI puede oscilar entre valores tan bajos como 0.81 (Tabla 2.2.4) hasta valores tan altos como 1.97 Mcal/kg de MS (Tabla 2.2.5). Algo similar sucede con las fracciones químicas indicando la alta heterogeneidad en la calidad nutricional de los alimentos comerciales comúnmente utilizados en la suplementación de las vacas lactantes en el país. El tipo de alimento comercial utilizado en los hatos de lechería especializada está asociado, al nivel de productividad del mismo. Así, en los hatos con menores productividades se utilizan los alimentos comerciales de menor calidad y, viceversa, en los hatos de mayor productividad, normalmente se tiende a utilizar los alimentos comerciales de mayor calidad (Osorio 2004).

La cantidad de suplementos suministrados a las vacas en producción varía entre 1.0 kg por cada 4.5 kg de leche en las vacas de menor nivel productivo hasta 1.0 kg por cada 3.9 kg de leche en las vacas de mayor nivel de producción (Osorio 2004). La respuesta más frecuente a la suplementación alimenticia es el incremento en la producción de leche siendo menos frecuente y más limitado el incremento en el contenido de proteína en la leche (Bargo et al 2003, Coulon et al 1998, Coulon et al 2001, Malossini et al 1995). Así lo demuestra el trabajo adelantado por Montoya et al (2004) quienes encontraron que la suplementación con 6.0 kg de papa fresca a vacas Holstein que pastoreaban pasto kikuyo y eran suplementadas con 4.0 kg/vaca/día de un alimento comercial, incrementó en 9.5% la producción de leche y redujo en 11.2% la concentración de nitrógeno ureico en la leche (NUL) sin que se afectara la concentración de proteína en la leche. Estos resultados sugieren una deficiencia energética en la ración diaria que no alcanzaba a ser suplida con el alimento comercial.

La manera como se suministra el alimento comercial en estos sistemas de producción también genera problemas, ya que estos normalmente se ofrecen durante los ordeños y en altas cantidades generando, por un lado asincronías en el suministro de los sustratos fermentables en el rumen (Agudelo y Puerta 2004, Montoya et al 2004), y por otro lado, el aumento abrupto en la cantidad de carbohidratos fermentables en el rumen (Martínez y Vázquez 2002). En el primer caso es de esperarse una baja eficiencia en la

síntesis de proteína microbiana, una alta producción de amonio ruminal y de urea en el hígado con el consecuente incremento en la concentración del NUL (Verbic 2002). Basados en esta hipótesis, Agudelo y Puerta (2004) compararon el suministro de un alimento comercial repartido dos veces (durante los dos ordeños) o cuatro veces al día (durante los ordeños y en los momentos de mayor consumo de forraje) sin que hallaran efecto del esquema de suministro del alimento comercial sobre la producción de leche o sobre el contenido de NUL. Los autores argumentaron que la ausencia de efecto fue debida al bajo contenido de CNE de los suplementos que no logró compensar las deficiencias presentadas por el pasto kikuyo. Posteriormente Mahecha et al (2006), basados en la misma hipótesis del experimento anterior, reemplazaron el 50% del alimento comercial con una mezcla de 95% de maíz amarillo y 5% de melaza y lo suministraron en dos o cuatro porciones diarias (de manera similar al experimento anterior). Sin embargo, al igual que en dicho caso, tampoco hubo efecto de los tratamientos sobre las variables evaluadas indicando que la deficiencia en CNE del pasto kikuyo no es factible de corregir con este tipo de suplementos alimenticios o que la cantidad que es necesario suministrar es mayor a la que normalmente se utiliza. Así, Montoya et al (2004) suministraron 6.0 ó 12.0 kg/vaca/día de papa fresca adicional al alimento comercial durante los momentos de mayor consumo de forraje en pastoreo y, como se señaló anteriormente, se incrementó la producción de leche y se redujo la concentración de NUL lo que indica que el suministro adicional de una fuente de CNE durante el pastoreo puede generar respuestas productivas en el uso del N en vacas consumiendo pasto kikuyo.

El suministro de altas cantidades de alimentos comerciales durante los ordeños pueden disminuir el pH en el rumen desembocando en acidosis ruminal (Martínez y Vázquez 2002). Estos autores evaluaron cuatro niveles de suplementación con un alimento comercial (0.0, 0.5, 1.0 y 1.5% del Peso vivo) en dos porciones diarias (8:00 a.m y 5:00 p.m.) a ovinos machos castrados que eran alimentados con pasto kikuyo, encontrando una reducción marcada en el pH ruminal en función del nivel de suplementación alimenticia luego del suministro del alimento a las 8:00 a.m. La reducción en el pH luego del suministro del alimento a la 17:00 p.m. fue mayor que la de las 8:00 pero sin que hubiese diferencias entre tratamientos lo que es explicado por la acumulación de productos de la fermentación ruminal a lo largo del día. Estos resultados sugieren la existencia de acidosis ruminal frecuente en vacas lactantes en los sistemas de

producción lechera especializada lo que explica la baja relación en la concentración de grasa y proteína reportada por varios autores (Londoño et al 2005, Meneces 2005, Montoya et al 2004).

Los sistemas de producción lechera especializada en Colombia se caracterizan por que la producción es continua a lo largo del año mostrando una ligera estacionalidad (FEDEGAN 1999). Este esquema de producción, sin embargo, genera graves dificultades tanto en el manejo de las pasturas como en los suplementos comerciales, además de los problemas sanitarios y reproductivos en los que desembocan (García y Rossi 2001). En cuanto al manejo de las pasturas, es difícil utilizar racionalmente los fertilizantes con la finalidad de manipular tanto la oferta como la calidad de los pastos, debido a que normalmente se tienen animales en diferentes estados productivos y fisiológicos compartiendo los mismos potreros. Por la misma razón, la elección de los alimentos comerciales o la formulación de los suplementos alimenticios se dificulta al no contar con grupos homogéneos de vacas dentro de un mismo hato y, aunque se conformen grupos de producción, el grado de heterogeneidad es mayor que en esquemas de producción estacionales como los que predominan en Nueva Zelanda (Beetz 1998, Mccal et al 1999, Macmillan y Kirton 1997). Al respecto, García y Rossi (2001) sugieren que para producir más a partir del pasto es necesario no sólo aumentar la carga si no, además, modificar sustancialmente el sistema de producción en aspectos tales como la época de parición y el tipo de vaca.

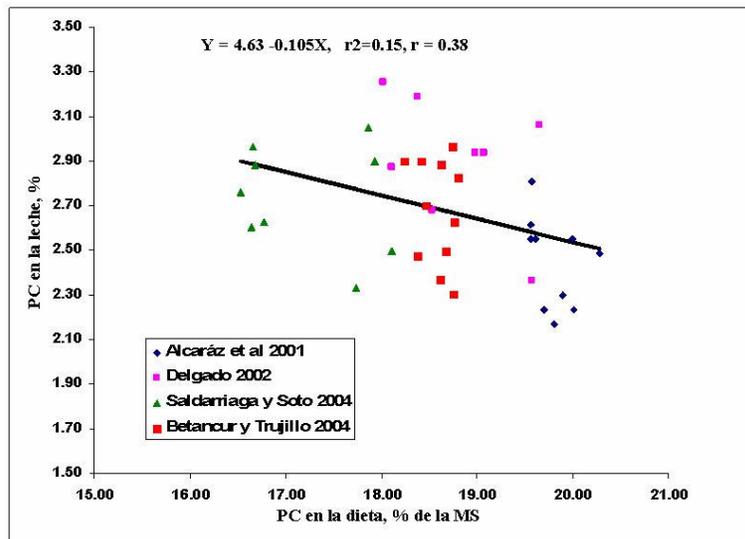
#### **2.2.6. Calidad de la leche.**

De los componentes de la leche, el contenido de proteína, es quizá el factor más determinante en la competitividad de estos sistemas de producción y sobre el que mayor énfasis se ha puesto en los últimos años dentro de los esquemas de pago de la leche al productor (Jenkins y McGuire 2006, Pérez 2000, Rulquin et al 2004). En general, sin embargo, el contenido de proteína en la leche obtenida en los sistemas de producción de lechería especializada en Colombia es muy bajo, lo que pone en riesgo su competitividad frente a los mercados nacionales e internacionales (Correa 2006).

Dos trabajos de caracterización de la calidad de la leche proveniente de las zonas de mayor producción de leche en Antioquia, arrojaron un promedio de  $2.97 \pm 0.11\%$

(Londoño et al 2005) y  $3.13 \pm 0.14\%$  (Meneses 2005) en el contenido de PC. En estos trabajos, sin embargo, no se discriminó el manejo nutricional de los hatos en los que se tomaron las muestras de leche. No obstante esto, se puede presumir que un porcentaje alto de estos hatos se basan en el uso de pasto kikuyo como la base de la alimentación. Los datos hallados por Alcaráz et al (2001), Betancur y Trujillo (2004), Delgado (2002) y Saldarriaga y Soto (2004) indican que el contenido de proteína en la leche en sistemas de alimentación basados en pasto kikuyo es muy bajo y que, además, en la medida en que se incrementa el porcentaje de proteína en la dieta, aparentemente el contenido de proteína en la leche se reduce (figura 3). El promedio en el contenido de proteína cruda en la leche en estos estudios fue de  $2.7 \pm 0.23\%$ , que es un valor más bajo que el promedio hallado por Londoño et al (2005) y Meneses (2005) y que el promedio reportado Jonker et al (1998) en hatos lecheros de los Estados Unidos que fue de  $3.03 \pm 0.43\%$ .

La información presentada en la figura 4 es necesario tomarla con precaución debido a que la alta variabilidad presentada en los datos y el bajo coeficiente de determinación sugieren que otros factores diferentes al contenido de PC en el forraje son responsables del contenido de PC en la leche.



**Figura 2.2.3.** Relación entre el contenido de PC en la dieta y la PC en la leche en dietas basadas en pasto kikuyo en Antioquia.

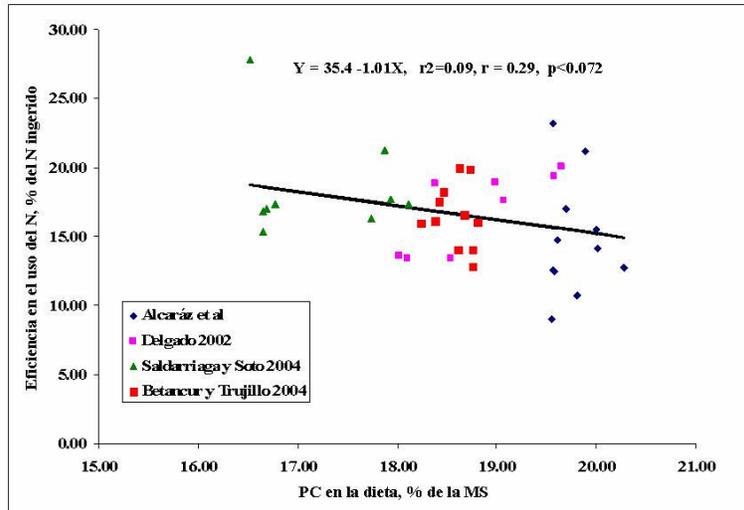
El contenido de grasa en la leche producida en los sistemas especializados en Colombia, aunque está menos caracterizado que el de la proteína, es igualmente bajo. En su trabajo, Meneses (2005) reportó que el contenido de grasa en la leche proveniente de 42 hatos ubicados en el altiplano norte de Antioquia fue de  $3.37 \pm 0.27\%$ , que es un valor mucho más bajo que el mínimo establecido en la Resolución 0012 (MADR 2007) para la leche producida en esta región (3.5%). Rico et al (2007), por su parte, reportaron un promedio de  $3.54 \pm 0.14\%$  para el contenido de grasa en la leche proveniente de 17 fincas localizadas en diferentes municipios de la Sabana de Bogotá, el cual es más alto que el mínimo exigido por la Resolución 0012 para esta región (3.45%) (MADR 2007). En principio, este mayor contenido de grasa representa una ventaja competitiva para la leche producida en esta región; sin embargo, su mayor valor reside en la posibilidad de caracterizar el contenido de ácido linoléico conjugado (ALC) en esta grasa y generar un mercado diferencial para los hatos cuya concentración en estos compuestos en la leche, sea alto.

Los estudios sobre el contenido de ALC en la leche proveniente de los sistemas de lechería especializada en el país, sin embargo, apenas comienzan. El primer trabajo realizado sobre este tema (Rico et al 2007) señala que el contenido promedio de ácido ruménico (cis-9, trans-11), el principal ALC en la leche, es de 13.54 mg/g de grasa oscilando entre 6.38 y 19.32 mg/g de grasa, variación que depende del nivel de consumo de forraje fresco y del tipo de suplementación que reciben los animales. El tipo de pradera y la edad de la misma afectan el contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) y ALC en la leche como lo muestran los datos de Aguilar et al (2007). Trabajando en la Sabana de Bogotá, estos autores evaluaron el efecto del consumo de pasto kikuyo a dos edades de rebrote (50 y 70 días) y pasto rye grass con 45 días de rebrote y encontraron que el contenido de AGPI fue superior en las praderas de kikuyo y que el contenido de ALC fue mayor en las praderas de kikuyo de 50 días (21.0 mg/g de grasa) seguidas por las de 70 días (13.2 mg/g de grasa) siendo menores en las de rye grass (6.5 mg/g de grasa) lo que estaría asociado al alto contenido de ácidos linoléico y linolénico en el pasto kikuyo (Carulla Comunicación personal), los principales precursores del ALC.

### **2.2.7. Eficiencia en el uso del N.**

En promedio, la eficiencia en el uso del N entre los animales domésticos es muy baja: solo entre el 5 y el 30% del N consumido se transforma en proteínas para el consumo humano correspondiendo los valores más bajos para los sistemas de producción con rumiantes (Kohn et al 2005). Así, mientras que en bovinos la eficiencia promedio para convertir el nitrógeno consumido en carne o leche es de 7.7%, en el caso de los cerdos y las aves de engorde este valor asciende a 20.5 y 33.8% (Van der Hoek 1998). Datos más precisos, sin embargo, muestran un panorama menos desolador. Es así como en cerdos en crecimiento la retención del N puede representar más del 70% del N consumido (Fent et al 2001) e incluso llegar hasta el 85% (Batterham et al 1990) mientras que en el caso de aves en postura puede superar el 55% del N consumido (Ángeles y Gómez 2005) en tanto que aves de engorde puede alcanzar un poco más del 60% del N consumido (Petri et al 2004).

En terneros en crecimiento, la eficiencia del uso del N en la deposición de tejidos no supera el 30% del N consumido (Gerrits et al 1998) en tanto que en vacas lactantes puede alcanzar valores de hasta el 44% (Lapierre et al 2005). Bajo los sistemas de producción lecheros especializados en Colombia, sin embargo, esta eficiencia es muy baja y al igual que con la concentración de la proteína en la leche, existe una aparente relación inversa entre el contenido de proteína cruda en dietas basadas en pasto kikuyo con la eficiencia en la utilización del nitrógeno ingerido para la síntesis de proteínas lácteas (EFIC). Esta aparente relación se aprecia en la figura 4 donde se observa que esta EFIC oscila entre valores tan bajos como 8.96% (Alcaráz et al 2001) hasta valores tan altos como 27.82% (Saldarriaga y Soto 2004). El promedio de los datos analizados, sin embargo, es de  $17.41 \pm 3.18\%$  el cual es mucho más bajo que los valores reportados para hatos lecheros en zonas templadas. Así, Jonker et al (1998) reportan que el rango de EFIC en los Estados Unidos varía entre 21.1 y 38%. Por su parte Lapierre et al (2005) reportan un rango para esta variable que va entre 22 y 44%.



**Figura 2.2.4.** Relación entre el contenido de PC en la dieta y la eficiencia en el uso del N ingerido para la síntesis de PC en la leche en dietas basadas en pasto kikuyo en Antioquia.

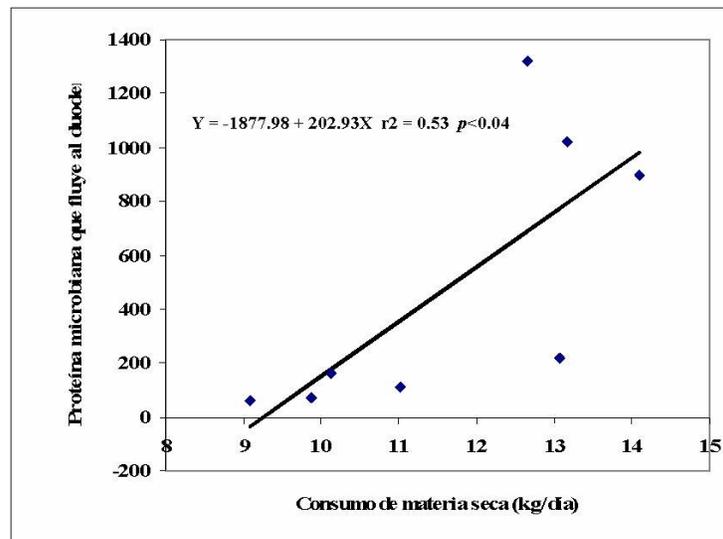
Al igual que en el caso de la figura 3, es necesario tomar con precaución la información presentada en la figura 4 debido a la alta variabilidad en los datos y al bajo coeficiente de determinación que sugieren que hay otros factores diferentes al contenido de PC en la dieta que estaría afectando la eficiencia en el uso del N para la síntesis de proteínas lácteas.

Los datos reportados en Antioquia son ligeramente más altos que los hallados por León et al (2007) en la Sabana de Bogotá quienes reportaron EFIC de 15.1 a 16.6% en vacas pastoreando praderas de kikuyo y suplementadas con un alimento comercial y avena ensilada (*Avena sativa*).

Para un análisis más adecuado, la EFIC en el uso del N en rumiantes debe ser analizada a dos niveles. En un primer nivel está la eficiencia en el uso del N consumido para cubrir las demandas en la síntesis de proteínas microbianas en el rumen y, en un segundo nivel, se encuentra la eficiencia en el uso de los aminoácidos absorbidos en el intestino para cubrir las demandas metabólicas del animal (Hanigan y Cyriac 2006). El componente más limitante en la EFIC parece ser la baja utilización de la PDR en la síntesis de proteína microbiana en el rumen (Castillo et al 2001) la cual, a su vez, está limitada por la disponibilidad de sustratos energéticos (Dijkstra et al 1998, Verbic 2002).

La baja eficiencia en la utilización en la PDR se ve reflejada en un menor flujo de proteína microbiana hacia el duodeno, concomitante con el incremento en la concentración de amonio en el rumen (Pérez et al 1996), así como en un incremento en la concentración de urea en la sangre y en la leche (Hall 1998). La suplementación energética a dietas basadas en pasto kikuyo ha demostrado tener un efecto positivo en el manejo del nitrógeno. Así, Montoya et al (2004) reportaron una disminución significativa en la concentración de urea en la leche ante la suplementación de 6.0 kg de papa fresca a vacas holstein con más de cinco semanas de lactancia. Rosero et al (2006) también encontraron un efecto positivo ante la inclusión de papa sobre la fermentación *in vitro* del pasto kikuyo. Estos autores utilizaron la técnica de gases y hallaron que ante la inclusión creciente del tubérculo se incrementó el volumen de gas producido alcanzando un nivel óptimo con la inclusión del 30% de papa.

Rueda et al (2006) por su parte, reportaron que la proteína microbiana que fluye al duodeno en vacas lactantes consumiendo pasto kikuyo y suplementadas con un alimento comercial se incrementó en función del consumo de materia seca total (figura 5). A su vez, la proteína microbiana que fluyó al duodeno se relacionó positivamente con el contenido de PC en la leche. Los resultados de estos autores, sin embargo, mostraron una alta variabilidad lo que sugiere que la síntesis de proteína microbiana en el rumen puede ser manipulada y, con ello, la eficiencia en el uso del N de la dieta.



**Figura 2.2.5.** Flujo de proteína microbiana hacia el duodeno en función del consumo de materia seca en vacas holstein lactantes consumiendo pasto kikuyo (Tomado de Rueda et al 2006).

La fermentación ruminal del N consumido y su uso ineficiente en la síntesis de proteínas microbianas, generan un sesgo en la comparación de las eficiencias en el uso del N entre rumiantes y no rumiantes. En estos últimos un porcentaje muy importante del N consumido es absorbido como aminoácidos en tanto que en el caso de los rumiantes un porcentaje alto del nitrógeno de la dieta es transformado en amonio (N-NH<sub>3</sub>) en el rumen y como tal, es absorbido, representando un porcentaje tan alto como el 80% del N consumido (Mutsvangwa et al 1999) siendo comunes los valores cercanos al 50% (Lapierre et al 2005, Reynolds et al 1994). Esta cantidad tan alta de N-NH<sub>3</sub> absorbido no solamente no es útil para el metabolismo nitrogenado del animal si no que, además, durante su transformación en urea, utiliza aminoácidos (Annison y Bryden 1999, Correa y Cuéllar 2004, Mutsvangwa et al 1999) haciendo menos eficiente el uso metabólico de los aminoácidos absorbidos en el intestino. Por ello cuando la eficiencia en el uso del N para la síntesis de proteínas lácteas se calcula a partir de la proteína metabolizable (PM) y no a partir del N consumido, dicha eficiencia arroja valores altos y comparables con los no rumiantes. Así, VanWieringen et al (2005) estimaron que la eficiencia en el uso de la PM para la síntesis de proteínas lácteas oscila entre 58.2 y 60.2%. En el informe del NRC para ganado lechero (NRC 2001), por su parte, se estima esta eficiencia en 67%. Estos valores, sin embargo, son más altos que los estimados a partir de los datos de Mejía y Vargas (2004). Estos autores calcularon la proteína microbiana digerida en el duodeno así como la PNDR en dietas basadas en pasto kikuyo. La digestibilidad de la PNDR del pasto kikuyo y de los suplementos alimenticios suministrados a las vacas experimentales se estimaron a partir de los datos obtenidos por Caro y Correa (2006) y por Monsalve (2004). De esta manera la PM se estimó como la suma de la proteína microbiana y la PNDR que son digeridas en el intestino. Los resultados de estas estimaciones se presentan en la Tabla 2.2.6 en donde se puede apreciar que aunque la eficiencia calculada a partir de la PM corresponde a más del doble de la eficiencia calculada a partir de la PC consumida total, esta es menor que los valores reportados por VanWieringen et al (2005) y el valor establecido por el NRC (2001).

**Tabla 2.2.6.** Estimación de la eficiencia en el uso del nitrógeno para la síntesis de proteínas lácteas a partir de la proteína consumida total (PCt) y de la proteína metabolizable (PM)<sup>1</sup>.

	<b>PCI<sup>2</sup>/PCt</b>	<b>PCI/PM</b>
<b>Promedio</b>	21.59	48.19
<b>Máximo</b>	26.72	70.79
<b>Mínimo</b>	15.97	31.44
<b>C.V., %</b>	15.40	22.34

<sup>1</sup> Los cálculos se realizaron con base en los datos reportados por Mejía y Vargas (2004), Caro y Correa (2006) y por Monsalve (2004).

<sup>2</sup> PCI = proteína cruda de la leche (N\*6.38), PCt = proteína cruda ingerida total (N\*6.25), PM = proteína metabolizable (Proteína microbiana + proteína no degradable en rumen digeridas en el intestino)

La diferencia observada entre la eficiencia calculada a partir de la PM y la PC consumida total podría corresponder a la ineficiencia en la utilización de la PDR para la síntesis de proteína microbiana, confirmando de esta manera, el efecto negativo que tiene dicho proceso en la economía del N en rumiantes. De allí que muchos investigadores concentren sus esfuerzos para mejorar este parámetro a través del incremento en la síntesis de la proteína microbiana en el rumen (Castillo et al 2001, Dewhurst et al 2000, Karsli y Russell 2001).

La eficiencia en la síntesis de proteína microbiana en el rumen usualmente es definida como los gramos de proteína microbiana sintetizada por cada 100 gr de materia orgánica fermentable (MOF) (Karsli y Russell 2001). En una revisión sobre este tema, Karsli y Russell (2001) establecieron que el promedio en la eficiencia en la síntesis de proteína microbiana en el rumen con dietas basadas en forrajes es de 13.0 gr, variando entre 7.5 y 24.3 gr. Cuando analizaron los trabajos basados en dietas mezcladas de forrajes y concentrados, el promedio ascendió a 17.6 gr con un rango que osciló entre 9.1 y 27.9 gr; y el promedio descendió a 13.2 gr en dietas basadas en alimentos concentrados variando desde 7.0 hasta 23 gr/100 gr de MOF. Entre los diferentes factores que afectan la eficiencia en la síntesis de la proteína microbiana en el rumen, esos autores destacan la relación N : carbohidratos en la dieta, la cual, como fue ha señalado previamente

(Correa et al 2008a), es desequilibrada en el pasto kikuyo debido tanto por el exceso de PDR como por la deficiencia en CNE.

### **2.2.8. Conclusiones.**

El contenido de energía del pasto kikuyo, se constituye en uno de los principales limitantes para la producción de leche en Colombia. Aunque la información reportada en muchos trabajos sugiere que el bajo CMS del pasto kikuyo es otra de las limitantes para la producción de leche, datos hallados en Colombia y en otros países muestran que el CMS de esta gramínea puede más alto de lo esperado. Así mismo, los datos revisados en este trabajo demuestran que el consumo de MS asociado a la concentración de FDN es mucho más alto que el 1.2% del peso vivo sugerido previamente.

Aunque en general se ha estimado que la producción de leche a partir de pasto kikuyo tiene un límite cercano a los 12 L/vaca/d, algunos datos muestran que por su contenido de ENI, esta producción puede ascender hasta los 29 L/vaca/d. La leche obtenida a partir del pasto kikuyo, sin embargo, presenta bajos contenidos de proteína cruda. El contenido de ácidos grasos linoléico conjugados en la leche obtenida a partir del pasto kikuyo es un tema que apenas comienza a ser explorado en el país que podría significar un nuevo frente de investigación que le daría un valor agregado a los sistemas de producción de leche basados en el pasto kikuyo.

En general, la eficiencia en el uso del N para la síntesis de proteínas lácteas en sistemas basados en el pasto kikuyo es menor a la reportada en otras condiciones de producción y su origen parece residir en el alto contenido de PDR y el bajo contenido de CNE de esta gramínea.

### **Abstract**

*Nevertheless kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) is the more utilized forage on dairy cattle specialized herds in the colombian Andes, has some nutritional restrictions that affects both milk yield and composition. The energy content is the most important nutritional restriction. The kikuyu dry matter intake (DMI) is not constrained by its high neutral detergent fiber (NDF), low dry matter (DM) and non-structural carbohydrates content, being reported kikuyu DMI higher 18.0 kg DM/cow/d*

and equivalent intakes of NDF higher to 1.6% of live weight. The mean potential to milk yield of kikuyu grass is near to 12.0 L/cow/d, although by its energy content, some reports suggest that this potential can be until 29.0 L/cow/d. The feed supplementation improve milk yield without improve its lipid and protein content, being the protein content very low (less to 3.0%). This is an important constraint to the nitrogen efficiency utilization to synthesis of milk proteins in the dairy cattle specialized herds in the Colombia based on kikuyu grass whose average is 17.4%. The high linoleic and linolenic acid content of kikuyu grass has the potential to produce milk with higher content of conjugated linoleic acid, being able to overcome 20.0 mg/g lipids.

**Key words:** dry matter intake, energy content, kikuyu grass, milk composition, milk yield

#### **Bibliografía.**

1. **Abreu A y Petri H A 1998** Uso del MUN (Nitrógeno ureico en leche) para diagnosticar balance proteína - energía en la dieta de vacas lecheras Holstein en pastoreo en el altiplano cundiboyacense; Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 134 p.
2. **Aguilar O X, Moreno B, Cárdenas E, Pabon M L y Carulla J E 2007** Composición de la leche en vacas en pastoreo de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) o rye grass (*Lolium spp*) con diferentes edades de rebrote. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Volume 20 (4): 619.
3. **Agudelo M A y Puerta H M 2004** Efecto del esquema de suministro de un suplemento alimenticio comercial sobre algunos parámetros metabólicos y productivos en vacas lactantes. Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 33p.

4. **Alcaráz C, Alviar D, Correa H 2001** Eficiencia en el uso de nitrógeno en vacas lactantes en un hato lechero del oriente antioqueño; Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 14 (Suplemento): 34.
  
5. **Ángeles M y Gómez S 2005** Efecto del nivel de lisina digestible y del perfil ideal de aminoácidos sobre el requerimiento de lisina en gallinas Hy-Line W-36 al final del primer periodo de postura. Veterinaria México. Volume 36 (3): 279 – 294.
  
6. **Annison E F, Bryden W L 1999** Perspectives on ruminant nutrition and metabolism. II. Metabolism in ruminant tissues; Nutritional Research Reviews. (12) 147 - 177. [http://docstore.ingenta.com/cgi-bin/ds\\_deliver/1/u/d/ISIS/25341838.1/cabi/nrr/1999/00000012/00000001/art00007/4066FB87F136856F1137523545ABB0882E4FB1D07B.pdf?link=http://www.ingentaconnect.com/error/delivery&format=pdf](http://docstore.ingenta.com/cgi-bin/ds_deliver/1/u/d/ISIS/25341838.1/cabi/nrr/1999/00000012/00000001/art00007/4066FB87F136856F1137523545ABB0882E4FB1D07B.pdf?link=http://www.ingentaconnect.com/error/delivery&format=pdf)
  
7. **Arias J H, Belalcázar A y Hurtado R 1990** Sistemas de producción bovina en Colombia; Coyuntura Agropecuaria. 6 (4): 84 – 120.
  
8. **Aristizábal J y Londoño W 2002** Modelo de pastoreo de hatos lecheros; En: IV seminario internacional Competitividad en carne y leche. Cooperativa Colanta, Medellín, Noviembre 10 y 11: 119 - 129.
  
9. **Ball D M, Collins M, Lacefield G D, Martin N P, Mertens D A, Olson K E, Putnam D H, Undersander D J and Wolf M W 2001** Understanding Forage Quality. American Farm Bureau Federation Publication 1-01, Park Ridge, IL. 21p. <http://alfalfa.ucdavis.edu/-files/pdf/UnderstandingForageQuality.pdf>
  
10. **Bargo F 2002** Feeding systems combining pasture with concentrate and total mixed rations for high producing dairy cows; Ph D Thesis. The Pennsylvania State University. 311p. <http://etda.libraries.psu.edu/theses/approved/WorldWideFiles/ETD-135/THESIS.pdf>

11. **Bargo F, Muller L D, Kolver E S and Delahoy J E 2003** Invited Review: Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture; Journal of Dairy Science. 86:1–42. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/86/1/1.pdf>
12. **Batterham E S, Andersen L M, Baignent D R and White E 1990** Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: effect of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention; British Journal of Nutrition. 64:81-94.  
[http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FBJN%2FBJN70\\_03%2FS0007114593001679a.pdf&code=7d4de955696020cba467b20ce538f628](http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FBJN%2FBJN70_03%2FS0007114593001679a.pdf&code=7d4de955696020cba467b20ce538f628)
13. **Beever D E and Mould F L 2000** Forage Evaluation for Efficient Ruminant Livestock Production; In: Givens D. I., Owen E., Axford R. F. E. and Omed H. M. (eds.). Forage Evaluation in Ruminant Nutrition. CAB International: 15 – 42
14. **Belyea R L, Steevens B, Garner G, Whittier J and Sewell H 1996** Using NDF and ADF To Balance Diets; Missouri University Extension: G3161. <http://muextension.missouri.edu/explore/agguides/dairy/g03161.htm>
15. **Betancur J F y Trujillo L G 2004** Balance de nitrógeno en vacas lecheras de alta producción alimentadas con pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y dos niveles de suplementación de proteína no degradable en el rumen. Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 30p.
16. **Beetz A 1998** Grass-based and seasonal dairying; Livestock production guide. ATTRA - National Sustainable Agriculture Information Service, Fayetteville, AR. 6 p. <http://attra.ncat.org/attra-pub/PDF/grassbase.pdf>
17. **Blaxter K L and Graham N M 1955** Methods of assessing the energy values of foods for ruminant animals; Proceedings of the Nutrition Society. 14 (2): 131-139.

18. **Brand TS, Franck F and Coetzee J 1999** Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pasture for sheep. 1. Pasture quality and nutrient intake of ewes; New Zealand Journal of Agricultural Research. 42: 459-465.
19. **Cabrera J I, Delagarde R, Faverdin P, Peyraud J L 2004** Dry matter intake and eating rate of grass by dairy cows is restricted by internal, but not external water. Animal Feed Science and Technology. Volume 114: 59–74.
20. **Caro F y Correa H J 2006** Digestibilidad posruminal aparente de la materia seca, la proteína cruda y cuatro macrominerales en el pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a dos edades de rebrote. Livestock Research for Rural Development. Volume 18, Article # 10 Retrieved November 4, 2006, from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/10/caro18143.htm>
21. **Carulla J E (Comunicación personal)** jecarullaf@unal.edu.co
22. **Carulla J E, Cárdenas E, Sánchez N y Riveros C 2004** Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada de la zona andina colombiana; En: Eventos y Asesorías Agropecuarias EU (ed.), Seminario Nacional de Lechería Especializada: “Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad”. Medellín, septiembre 1 y 2: 21 – 38.
23. **Casler M D 2001** Breeding forage crops for increased nutritional value; Advances in Agronomy. 71: 51–107.
24. **Casler M D and Jung H J 2006** Relationships of fibre, lignin, and phenolics to in vitro fibre digestibility in three perennial grasses. United States Department of Agriculture, Agriculture Research service. Retrieved 30 January, 2007, from [http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?SEQ\\_NO\\_115=173895](http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?SEQ_NO_115=173895)
25. **Castillo A R, Kebreab E, Beaver D E, Barbi J H, Sutton J D, Kirby H C and J France 2001** The effect of energy supplementation on nitrogen utilization in

lactating dairy cows fed grass silage diets; Journal of Animal Science. 2001. 79:240–246. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/79/1/240.pdf>

26. **Clark D A and Kanneganti V R 1998** Grazing management systems for dairy cattle; In: Cherney J H and Cherney D J R (eds). Grass for Dairy Cattle: 311 – 334. CAB Internacional, New York, NY.
27. **Consejo Regional de la Cadena Láctea de Antioquia 2001** Acuerdo de competitividad de la cadena láctea de Antioquia; Medellín. 75 p: [www.agrocadenas.gov.co/documentos/documentos\\_iica/No%2020.pdf](http://www.agrocadenas.gov.co/documentos/documentos_iica/No%2020.pdf)
28. **Correa H J, Carulla J E y Pabón M 2008a** Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I. Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. Livestock Research for Rural Development. 20 (4), Article # 61 ISSN: 0121-3784.
29. **Coulon J B, Hurtaud C, Remond B and Verite R 1998** Factors contributing to variation in the proportion of casein in cow's milk true protein: a review of recent INRA experiments; Journal of Dairy Research, 65: 375 – 387.
30. **Coulon J B, Dupont D, Pochet S Pradel P and Duployer H 2001** Effect of genetic potential and level of feeding on milk protein composition; Journal of Dairy Research, 68: 569 – 577.
31. **Correa H J y Cuellar A 2004** Aspectos claves del ciclo de la urea con relación al metabolismo energético y proteico en vacas lactantes. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Volume 17: 29 - 38. Retrieved June 12, 2004, from <http://kogi.udea.edu.co/revista/17/17-1-4.pdf>
32. **Correa H J 2006** Posibles factores nutricionales, alimenticios y metabólicos que limitan el uso del nitrógeno en la síntesis de proteínas lácteas en hatos lecheros de Antioquia. Livestock Research for Rural Development. Volume 18, Article #

43 Retrieved June 17, 2006, from  
<http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/3/corr18043.htm>

33. **Correa H J, Carulla J E y Pabón M 2008** Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I. Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. *Livestock Research for Rural Development*. 20 (4), Article # 61 ISSN: 0121-3784.
34. **Dado R G and Allen M S 1994** Variation in and relationships among feeding, chewing and drinking variables for lactating dairy cows; *Journal of Dairy Science*. 77: 132 - 144. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/77/1/132.pdf>
35. **Delgado G F 2002** Estudio comparativo del balance de nitrógeno en vacas lactantes de dos grupos genéticos; Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 67p.
36. **Dewhurst R J, Scollan N D, Youell S J, Tweed J K S and Humphreys M O 2001** Influence of species, cutting date and cutting interval on the fatty acid composition of grasses; *Grass and Forage Science*. 56: 68-74.
37. **Dijkstra J, France J and Davies D 1998** Different mathematical approaches to estimating microbial protein supply in ruminants; *Journal of Dairy Science*. (81) 3370 – 3384. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/81/12/3370.pdf>
38. **Dugmore T J 1998** Energy and mineral content of kikuyu. In: Bartholomew PE (Ed.), *Proceedings of a Kikuyu Technology Day*, KwaZulu-Natal Department of Agriculture, Directorate of Technology Development and Training: 16 – 18.
39. **Escobar A y Carulla J 2003** Efecto de la oferta de forraje sobre los parámetros productivos y composicionales de la leche en la sabana de Bogotá; *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 16(Suplemento): 74.

40. **Fahey Jr G C and Hussein H S 1999** Forty Years of Forage Quality Research: Accomplishments and Impact from an Animal Nutrition Perspective; Crop Science. 39: 4–12.

e

41. **Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN) 1999** La utopía de un modelo de desarrollo agropecuario; En: La ganadería bovina en Colombia 1997 – 1998: 45 – 64.

42. **Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN) 2003** Índice de costos ganaderos: Diciembre 2002 – Marzo 2003; Carta FEDEGAN, 79: 17 - 32. [http://portal.fedegan.org.co:7782/pls/portal/docs/PAGE/FNG\\_PORTLETS/PUBLICACIONES/CARTAAFEDEGAN/EDICIONESANTERIORES/EDICION79/CANASTA%2079.PDF](http://portal.fedegan.org.co:7782/pls/portal/docs/PAGE/FNG_PORTLETS/PUBLICACIONES/CARTAAFEDEGAN/EDICIONESANTERIORES/EDICION79/CANASTA%2079.PDF)

43. **Fent R W, Carter S D, Rincker M J and Park J S 2001** Energy and Nitrogen Balance of Pigs Fed Four Corn Grains; Animal Science Research Report. Oklahoma Agricultural Experiment Station, Division of Agricultural Science and Natural Resources, Oklahoma State University. Paper 39. <http://www.ansi.okstate.edu/research/2001rr/39/39.htm>

44. **France J, Theodorou M K, Lowman R S and Beaver D E 2000** Feed evaluation for animal production; In: Theodorou, M. K. and J France (Editors). Feeding systems and feed evaluation models. CABI publishing: 1-9.

45. **Fulkerson W J, Nandra K S, Clark C F and Barchia I 2006** Effect of cereal-based concentrates on productivity of Holstein–Friesian cows grazing short-rotation ryegrass (*Lolium multiflorum*) or kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pastures. Livestock Science. Volume 103 (1-2): 85-94.

46. **Fushai F M 2006** Estimates of intake and digestibility using n-alkanes in yearling Holstein-Friesian and Hereford heifers grazing on kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pasture. Animal Feed Science and Technology. Volumen 128: 331–336.

47. **Gaitán S y Pabón J D 2003** Aplicación del modelo NRC 2001 en la caracterización energética y proteica de los pastos kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Hoechst), ryegras (*Lolium perenne*) y falsa poa (*Holcus lanatus*) en un hato lechero del oriente antioqueño; Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 55 p.
48. **Galvis R D, Correa H J y Ramírez N 2003** Interacciones entre el balance nutricional, los indicadores del metabolismo energético y proteico y las concentraciones plasmáticas de Insulina, e IGF-1 en vacas en lactancia temprana; Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 16 (3): 237 – 248. <http://kogi.udea.edu.co/revista/16/16-3-3.pdf>
49. **García S C y Rossi J L 2001** ¿Quién le pone el “techo” al sistema pastoril, el pasto o nosotros?; Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 9p. [http://www.agro.uba.ar/catedras/p\\_lechera/techo.pdf](http://www.agro.uba.ar/catedras/p_lechera/techo.pdf)
50. **Gerrits W J J, Schrama J W and Tamminga S 1998** The marginal efficiency of utilization of all ileal digestible indispensable amino acids for protein gain is lower than 30% in preruminant calves between 80 and 240 kg live weight; The Journal of Nutrition. 128 (10): 1774-1785. <http://jn.nutrition.org/cgi/content/full/128/10/1774>
51. **Grabber J H, Ralph J, Lapierre C and Barrière Y 2004** Genetic and molecular basis of grass cell-wall degradability. I. Lignin–cell wall matrix interactions. Comptes Rendus Biologies. Volume 327: 455–465. Retrieved October 3, 2006, from [www.dfrc.wisc.edu/DFRCWebPDFs/2004-Grabber-CR-327-455.pdf](http://www.dfrc.wisc.edu/DFRCWebPDFs/2004-Grabber-CR-327-455.pdf)
52. **Hanigan M D and Cyriac J 2006** Current Status of Amino Acid Requirement Models for Lactating Dairy Cows. Proceedings of Tri-State Dairy Nutrition Conference: 133 – 146 Retrieved March 2, 2007, from <http://tristatedairy.osu.edu/Hanigan.pdf>

53. **Hansen L B 2000** Consequences of selection for milk yield from a geneticist's viewpoint; Journal of Dairy Science. 83:1145-1150. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/83/5/1145.pdf>
54. **Harris B 1993** The Importance of Fiber in Feeding Dairy Cattle; Florida Cooperative Extension Service: Circular 594. <http://edis.ifas.ufl.edu/DS064>
55. **Hernández O, Pérez J, Martínez P A, Herrera J G, Mendoza G D y Hernández A 2000** Pastoreo de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochts.) por borregos en crecimiento a diferentes asignaciones de forraje; Agrociencia. 34: 127-134. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/302/30234202.pdf>
56. **Holmann F, Rivas L, Carulla J, Giraldo L, Guzmán S, Martínez M, Rivera B, Medina A y Farrow A 2003** Evolución de los Sistemas de Producción de Leche en el Trópico Latinoamericano y su interrelación con los Mercados: Un Análisis del Caso Colombiano; CIAT, Cali. 53 p. [http://www.ciat.cgiar.org/tropoleche/articulos.pdf/ArtCol\\_Esp\\_May\\_2003.pdf](http://www.ciat.cgiar.org/tropoleche/articulos.pdf/ArtCol_Esp_May_2003.pdf)
57. **Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) 2004** Estudio comparativo de dos sistemas de producción de leche: pastoreo y confinamiento. Managua, Nicaragua. 62p. [http://www.iica.int.ni/Estudios\\_PDF/Sist\\_Prod\\_Leche.pdf](http://www.iica.int.ni/Estudios_PDF/Sist_Prod_Leche.pdf)
58. **Jenkins T C and McGuire M A 2006.** Major Advances in Nutrition: Impact on Milk Composition. Journal of Dairy Science. Volume 89:1302–1310. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/89/4/1302.pdf>
59. **Jonker J S, Kohn R A and Erdman R A 1998** Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows; Journal of Dairy Science. 81: 2681 - 2692. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/81/10/2681.pdf>

60. **Karsli M A and Russell J R 2001** Effects of Some Dietary Factors on Ruminal Microbial Protein Synthesis; Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 25: 681-686. <http://journals.tubitak.gov.tr/veterinary/issues/vet-01-25-5/vet-25-5-7-0002-14.pdf>
61. **Kolver E S and Muller L D 1998** Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration; Journal of Dairy Science. 81: 1403–1411.
62. **Kolver E S 2003** Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems; Proceedings of the Nutrition Society. 62: 291–300.
63. **Kohn R A, Dinneen M M and Russek-Cohen E 2005** Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats. Journal of Animal Science. Volume 83:879-889. Retrieved June 3, 2006, from <http://jas.fass.org/cgi/reprint/83/4/879.pdf>
64. **Lapierre H, Berthiaume R, Raggio G, Thivierge M C, Doepel L, Pacheco D, Dubreuil P and Lobley G E 2005** The route of absorbed nitrogen into milk protein. Animal Science. Volume 80: 11 - 22. Retrieved January 23, 2007, from [http://www.bsas.org.uk/Publications/Animal\\_Science/%3Fprint%3D1/Volume\\_80\\_Part\\_1/11/AS.pdf](http://www.bsas.org.uk/Publications/Animal_Science/%3Fprint%3D1/Volume_80_Part_1/11/AS.pdf)
65. **Laredo M A y Mendoza P E 1982** Valor nutritivo de pastos de zonas frías. I pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst). Anual y estacional; Revista ICA (Bogotá), 17: 157 – 167.
66. **Leaver J D 1985** Milk production from grazed temperate grassland; Journal of Dairy Research. 52: 313–344.
67. **León J, Mojica J E, Castro E, Cárdenas E, Pabón M L y Carulla J E 2007** Balance de nitrógeno y fósforo de vacas lecheras en pastoreo con diferentes ofertas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y suplementadas con ensilaje de

avena (*Avena sativa*). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Volume 20 (4): 615.

68. **Londoño E, Toro M M, y Santa N I 2005** Calidad de la leche cruda de los proveedores del oriente antioqueño. Monografía de grado, Especialización en Aseguramiento de la Calidad Microbiológica de los Alimentos. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. 45 p.
69. **Mahecha L, Correa H J, Restrepo L F y Camargo O 2006** Efecto de la suplementación energética sobre la producción y la calidad de la leche en vacas holstein. Posgrados en Ciencias de la Producción Animal, Universidad de Antioquia, Medellín. 16 p.
70. **Malossini F, Bovolenta S, Piras C and Ventura W 1995** Effect of concentrate supplementation on herbage intake and milk yield of dairy cows grazing an alpine pasture; Livestock Production Science. 43: 119 – 128.
71. **Mann J and Stewart P G 2003** Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) intake determined by alkanes administered in a xanthan gum suspension: South African Journal of Animal Science. 33 (1): 27 – 31.
72. **Marais J P 2001** Factors affecting the nutritive value of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) - a review; Tropical grasslands. 35: 65 – 84. [http://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol\\_35\\_2001/Vol\\_35\\_02\\_01\\_pp65\\_84.pdf](http://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol_35_2001/Vol_35_02_01_pp65_84.pdf)
73. **Martínez O T y Vázquez M 2002** Efecto del nivel de suplementación sobre el pH ruminal, la digestibilidad de la dieta y el consumo en rumiantes en pastoreo. Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 135 p.
74. **Mccall D G, Clark D A, Stachurski L J, Penno J W, Bryant A M, and Ridler B J 1999** Optimized Dairy Grazing Systems in the Northeast United

States and New Zealand. I. Model Description and Evaluation; *Journal of Dairy Science*. 82:1795–1807. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/82/8/1795.pdf>

75. **McGilloway D A and Mayne C S 1996** The importance of grass availability for the high genetic merit dairy cow; In: Garnsworthy PC, Wiseman J and Haresign W (eds.), *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham University Press: 135–169.
76. **Macmillan K L and Kirton A H 1997** Impact of Exporting Dependence on Livestock Production Systems, Industry Structure, and Research; *Journal of Animal Science*. 75:522–532. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/75/2/522.pdf>
77. **Meeske R, Rothauge A, van der Merwe G D and Greyling J F 2006** The effect of concentrate supplementation on the productivity of grazing Jersey cows on a pasture based system. *South African Journal of Animal Science*. Volume 36 (2): 105 – 110. Retrieved February 14, 2007, from <http://www.sasas.co.za/publications/meesker36issue2.pdf?sID=>
78. **Mejia D y Vargas E 2004** Efecto de diferentes regímenes de alimentación en vacas Holstein lactantes sobre el flujo de proteína microbiana al duodeno. Trabajo de grado de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 31 p.
79. **Meneses L 2005** Evaluación del contenido de proteína y la calidad higiénica de la leche, proveniente de hatos localizados en dos regiones lecheras de Antioquia. Informe de Pasantía de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 20 p
80. **Mertens D R 1985** Factors influencing feed intake in lactating cows: from theory to application using neutral detergent fiber; In: *Proceedings of Georgia Nutrition Conference*: 1-18.

81. **Mertens D R 1987** Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function; Journal of Animal Science. 64:1548-1558. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/64/5/1548.pdf>
82. **Mila A y Corredor G 2004** Evolución de la composición botánica de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) recuperada mediante escarificación mecánica y fertilización con compost; Revista Corpoica 5 (1): 70 – 75.
83. **Miles N, Thurtell L and Riekert S 2000** Quality of Kikuyu herbage from pastures in the Eastern Cape coastal belt of South Africa. South African Journal of Animal Science. 30 (Supplement 1): 85 – 86.
84. **Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) 2007** Resolución 0012, Sistema de pago de la leche cruda al productor. Retrieved October 26, 2007, from [http://www.minagricultura.gov.co/archivos/resolucion\\_012\\_2007.pdf](http://www.minagricultura.gov.co/archivos/resolucion_012_2007.pdf)
85. **Mojica J E, Castro E, León J, Cárdenas E, Pabón M L y Carulla J E 2007** Producción y composición de la leche en vacas en pastoreo con diferentes ofertas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Volume 20 (4): 635.
86. **Monsalve F 2004** Comparación de dos métodos para estimar la digestibilidad posruminal de la proteína cruda del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Trabajo de grado de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 18 p.
87. **Montoya S y Bernal L C 2003** Balance energético y proteico en vacas al inicio de la lactancia y su relación con el estado metabólico; Trabajo de grado de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 85 p.

88. **Montoya N F, Pino I D y Correa H J 2004** Evaluación de la suplementación con papa (*Solanum tuberosum*) durante la lactancia en vacas Holstein. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Volume 17: 241 - 249. Retrieved December 2, 2004, from <http://kogi.udea.edu.co/revista/17/17-3-4.pdf>
89. **Mould F L 2002** 21st Century Feeds – 19th Century Techniques; In: T. Smith and V. Mlambo (eds.) Responding to the Increasing Global Demand for Animal Products. Proceedings of an International Conference, Merida, Mexico. 12-15 November 2002. British Society of Animal Science: 35 -37. <http://bsas.org.uk/downloads/mexico/016.pdf>
90. **Mutsvangwa T, Buchanan-Smith J G and McBride B W 1999** Effects of *in vitro* addition of ammonia on the metabolism of <sup>15</sup>N-labelled amino acids in isolated sheep hepatocytes; Canadian Journal of Animal Science. 79: 321 – 326.
91. **Naranjo H 2002** Evaluación nutricional del pasto kikuyu a diferentes edades de corte; Despertar Lechero (Colombia). 20: 149 – 167.
92. **National Research Council (NRC) 2001** The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition; National Academy Press, Washington, D. C. 381 p.
93. **Orozco Z, Martínez P A, Hernández A, Pérez J y García C 1997** Comportamiento de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) pastoreada por borregos recibiendo diferente nivel de ofrecimiento de alfalfa. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 5(Supl. 1): 66-68. <http://www.avpa.ula.ve/congresos/ALPA97/PF23.pdf>
94. **Osorio F 2004** Efecto del manejo alimentario sobre el sistema especializado de producción lechera. En: memorias Seminario Nacional de Lechería Especializada: Bases Nutricionales y su Impacto en la Productividad. Eventos y Asesorías Agropecuarias, Auditorio de la Salud, Hospital General de Medellín, Septiembre 1 y 2: 141 - 152.

95. **Pérez J F, Balcells J, Guada J A and Castrillo C 1996** Determination of rumen microbial-nitrogen production in sheep: a comparison of urinary purine excretion with methods using  $^{15}\text{N}$  and purine bases as markers of microbial-nitrogen entering the duodenum; *British Journal of Nutrition*. 75: 699-709. [http://www.journals.cambridge.org/download.php?file=%2FBJN%2FBJN75\\_05%2FS0007114596000748a.pdf&code=6d0768060774cfc09a5cdd4ecca8b84c](http://www.journals.cambridge.org/download.php?file=%2FBJN%2FBJN75_05%2FS0007114596000748a.pdf&code=6d0768060774cfc09a5cdd4ecca8b84c)
96. **Pérez J 2000** Cooperativa COLANTA exportadora; Cooperativa COLANTA, Informe y balance 1999.
97. **Petri A, Wijtten P J A, Lemme A and Langhout D J 2004** Optimizing broiler nutrition with the ideal protein concept. AFMA FORUM, South Africa. Retrieved January 30, 2006, from [http://www.afma.co.za/AFMA\\_Template/feedpaper11.html](http://www.afma.co.za/AFMA_Template/feedpaper11.html)
98. **Ralph J 1996** Cell Wall Cross-linking in Grasses; Informational Conference with Dairy and Forage Industries, US Dairy Forage Research Center. 8 p.
99. **Ramírez L M, Laredo M A, Anzola H J y Martínez O 1983** Estimación del consumo voluntario de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst) y raigras tetralite (*Lolium hybridum* Hausskn) por bovinos en pastoreo mediante el uso de dos marcadores externos: *Revista ICA* (Bogotá), 18: 35 – 43.
100. **Rayburn E B and Fox D G 1993** Variation in Neutral Detergent Fiber Intake of Holstein Cows; *Journal of Dairy Science*. 76: 544-554. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/76/2/544.pdf>
101. **Read J W and Fulkerson W J 2003** Managing kikuyu for milk production; *Agfact P2.5.3*, third edition. State of New South Wales, NSW Agriculture. 4 p. <http://www.agric.nsw.gov.au/reader/past-management/p253.pdf?MIvalObj=12921&doctype=document&MItypeObj=application/pdf&name=/p253.pdf>

102. **Reeves M, Fulkerson WJ and Kellaway RC 1996** Forage quality of kikuyu (*Pennisetum clandestinum*): the effect of time of defoliation and nitrogen fertiliser application and in comparison with perennial ryegrass (*Lolium perenne*); Australian Journal of Agricultural Research. 47(8): 1349 - 1359
103. **Reynolds C K, Harmon D L, Cecava M J 1994** Absorption and delivery of nutrients for milk protein synthesis by portal drained viscera; Journal of Dairy Science. 77: 2787 – 2808. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/77/9/2787.pdf>
104. **Rico J E, Moreno B, Pabón M L, Carulla J 2007** Composición de la grasa láctea en la sabana de Bogotá con énfasis en ácido ruménico - CLA cis-9, trans-11. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Volume 20, (1): 30 – 39. Retrieved July 12, 2007, from [http://rccp.udea.edu.co/v\\_anteriores/20-1/pdf/v20n1a04.pdf](http://rccp.udea.edu.co/v_anteriores/20-1/pdf/v20n1a04.pdf)
105. **Rivera B, Vargas J E, Arcila C P, Márquez R, Pérez J F, Toro G y Martínez J P 1999** Propuesta para la clasificación de los sistemas de producción de leche: el caso de la zona de influencia de Manizales; Departamento de Sistemas de Producción - Universidad de Caldas. <http://www.condesan.org/publicacion/bgris/colombia/colombia11.html>
106. **Robinson P H, Burgess P L and McQueen R E 1990** Influence of Moisture Content of Mixed Rations on Feed Intake and Milk Production of Dairy Cows; Journal of Dairy Science. 73:2916 – 2921. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/73/10/2916.pdf?ck=nck>
107. **Rodríguez D 1999** Caracterización de la respuesta a la fertilización en producción y calidad forrajera en los valles de Chiquinquirá y Simijaca (Estudio de caso); Trabajo de grado. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Carrera de Zootecnia. 105 p.
108. **Romero O, Peña F y Urbina N 1980** Cría de terneras con forraje verde o heno de pasto manawa (*Lolium multiflorum* x *Lolium perenne*) a voluntad; Revista ICA (Colombia), 15 (4): 193 – 202.

109. **Rosero J R, Ramírez I C y Bolivar D 2006** Efecto de la inclusión de papa (*Solanum tuberosum*) en la cinética de fermentación *in vitro* del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Livestock Research for Rural Development. Volume 18 (5), Article 62. Retrieved March 1, 2007, from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/5/nogu18062.htm>
110. **Rueda S, Taborda L, Correa H J 2006** Relación entre el flujo de proteína microbiana hacia el duodeno y algunos parámetros metabólicos y productivos en vacas lactantes de un hato lechero del Oriente Antioqueño. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Volume 19: 27 – 38. Retrieved September 19, 2006, from [http://rccp.udea.edu.co/v\\_anteriores/19-1/pdf/v19n1a04.pdf](http://rccp.udea.edu.co/v_anteriores/19-1/pdf/v19n1a04.pdf)
111. **Rulquin H, Rigout S, Lemosquet S, and Bach A 2004** Infusion of glucose directs circulating amino acids to the mammary gland in well-fed dairy cows. Journal of Dairy Science. Volume 87 340 -349. Retrieved October 10, 2005, from <http://jds.fass.org/cgi/reprint/87/2/340>
112. **Salazar D, Peña F y Gavilanes C 1980** Comportamiento de novillas holstein alimentadas con ensilaje, heno y pastoreo de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*, Hochst): Revista ICA (Bogotá), 15: 145 – 150.
113. **Saldarriaga C y Soto S 2004** Efecto de dos edades de rebrote del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre el balance de nitrógeno en vacas holstein de alta producción; Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 30p.
114. **Schroeder J W 1994** Interpreting Forage Analysis; North Dakota State University, NDSU Extension Service. Document AS-1080. <http://www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/hay/r1080w.htm>

115. **Sierra J C y Zabala A 2000** Comparación de la digestibilidad y de la energía digestible de dos pastos de clima frío a dos edades de corte; Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 87p.
116. **Soto L, Laredo M A y Alarcón E 1980** Digestibilidad y consumo voluntario del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst) en ovinos bajo fertilización nitrógenada; Revista ICA, 15 (2): 79 – 90.
117. **Stokes S R and Prostko E P 1998** Understanding Forage Quality Analysis. Texas Agricultural Extension Service. [http://animalscience.tamu.edu/main/academics/dairy/L5198\\_understandingforagequality.pdf](http://animalscience.tamu.edu/main/academics/dairy/L5198_understandingforagequality.pdf)
118. **Tarawali S A, Tarawali G, Larbi A and Hanson J 1995** Methods for the Evaluation of Forage Legumes, Grasses and Fodder Trees for Use as Livestock Feed; International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya. 43p. <http://www.ilri.org/html/trainingMat/Forage.pdf>
119. **Taweel K Z 2006** Improving dry-matter intake of perennial-ryegrass pasture by dairy cows. In: Elgersma A, Dijkstra J and Tamminga S (eds), Fresh Herbage for Dairy Cattle. Springer, Netherlands: 159-174.
120. **Undersander D and Moore J E 2004** Relative forage quality (RFQ) - Indexing legumes and grasses for forage quality. In: Proceedings, National Alfalfa Symposium, 13-15 December. [http://alfalfa.ucdavis.edu/symposium/2004/proceedings/Dan\\_Undersander\\_California%20alfalfa%20symposium1.pdf](http://alfalfa.ucdavis.edu/symposium/2004/proceedings/Dan_Undersander_California%20alfalfa%20symposium1.pdf)
121. **Van der Hoek K W 1998** Nitrogen efficiency in global animal production; Environmental pollution. 102: 127-132.

122. **Van Soest P J, Mertens D R and Deinum B 1978** Preharvest factors influencing quality of conserved forage; *Journal of Animal Science*. 47:712–720. <http://www.animal-science.org/cgi/reprint/47/3/712.pdf>
123. **Van Soest P J 1994** Nutritional ecology of the ruminant; Cornell University Press. 476 p.
124. **VanWieringen L M, Harrison J H, Nennich T, Davidson D L, Morgan L, Chen S, Bueler M, and Hoisington F 2005** Manure management effects on grass production, nutritive content, and soil nitrogen for a grass silage-based dairy farm. *Journal of Environment Quality*. Volume 34:164–173. Retrieved September 14, 2007, from <http://jeq.scijournals.org/cgi/reprint/34/1/164.pdf>
125. **Verbic J 2002** Factors affecting microbial protein synthesis in the rumen with emphasis on diets containing forages; *Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein*. (29) 1- 6. <http://www.gumpenstein.at/publikationen/tzt2002/verbic.pdf>
126. **Weiss W P, Conrad H R, and StPierre N R 1992** A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates; *Animal Feed Science and Technology*. 39: 95-110.

## 2.3. El papel de la insulina en la regulación de la síntesis de proteínas lácteas en bovinos<sup>5</sup>

Héctor J. Correa C<sup>1</sup>. y Nancy Echeverry<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, hjcorreac@unal.edu.co; <sup>2</sup>Zootecnista, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

### Resumen

*No obstante la importancia nutricional e industrial de las proteínas lácteas, aún no están completamente comprendidos los mecanismos que controlan su síntesis y concentración. Entre las distintas hormonas que regulan el metabolismo de la glándula mamaria, la insulina ha recibido mayor atención debido a su estrecha relación con el metabolismo energético y proteico de los animales y debido al marcado efecto que ha mostrado tener sobre la producción y concentración de proteínas lácteas. Existen al menos tres mecanismos a través de los cuales esta hormona parece contribuir al incremento en la síntesis y concentración de proteínas lácteas, los cuales son revisados en este documento: distribución de nutrientes hacia la glándula mamaria, regulación en la expresión de genes de caseínas e incremento en la tasa de iniciación de la síntesis de las proteínas a nivel postranscripcional.*

**Palabras clave: control hormonal, glándula mamaria, homeorresis**

### 2.3.1. Introducción.

Las proteínas lácteas además de ser una excelente fuente de aminoácidos esenciales (National Dairy Council 2006) y de compuestos bioactivos (National Dairy Council 2006, Sukkar y Bounous 2004), son el pilar de la industria quesera (Verdier-Metza et al 2001) y se han constituido en uno de los componentes sobre los que las principales empresas lácteas del país pagan bonificaciones a los productores (Pérez 2000).

---

<sup>5</sup> Correa C Héctor y Echeverri R Nancy P 2009 El papel de la insulina en la regulación de la síntesis de proteínas lácteas en bovinos Rev Colomb Cienc Pec; 22:597-606. ISSN: 0120-0690.

A pesar de su importancia, aún no están totalmente comprendidos los mecanismos que controlan la síntesis y la concentración de las proteínas lácteas (Bequette et al 2001, Hanigan et al 2002, Johnston et al 2004, Mackle et al 2000, Molento et al 2002). Aunque se han identificado varias hormonas y factores de crecimiento que afectan el funcionamiento de la glándula mamaria (Akers 2000, Bauman 2000, Tucker 2000) y la síntesis de proteínas en la leche (Vonderhaar y Ziska 1989), la insulina ha recibido mayor atención debido a su estrecha relación con el metabolismo energético y proteico de los animales (Bauman y Currie 1980, Bauman 2000, Riis 1983, Kaneko 1997) y debido al marcado efecto que ha mostrado tener sobre la producción y concentración de proteínas lácteas (Bequette et al 2002, Griinari et al 1997, McGuire et al 1995, Mackle et al 1999, Mackle et al 2000). Aún no son claros, sin embargo, los mecanismos a través de los cuales esta hormona regula la síntesis y secreción de las proteínas de la leche.

El objetivo de este documento es revisar los posibles mecanismos mediante los cuales la insulina afecta la concentración de proteína en la leche bovina.

### **2.3.2. Estructura, síntesis, secreción y metabolismo de la insulina.**

Aunque Banting y Best descubrieron la insulina en 1921, solo hasta 1955 se pudo establecer su estructura química (Ryle et al 1955). Esta hormona está compuesta por 51 aminoácidos distribuidos en dos cadenas, la cadena A con 21 aminoácidos y la B con 30 aminoácidos, las cuales están unidas por dos enlaces disulfuro (Brange y Langkjoer 1993, Hua et al 2002, Morimoto 2000).

La insulina es sintetizada en las células  $\beta$  de los islotes de Langerhans del páncreas de mamíferos en varias etapas (Morimoto 2000, Wang 1997). La primera consiste en la producción de pre-proinsulina, el producto inmediato del mRNA, el cual está constituido por un péptido señal, un péptido conector (péptido C) y las dos cadenas peptídicas. La pre-proinsulina es empacada en gránulos secretores y es procesada durante su transporte a través del retículo endoplasmático hacia el aparato de Golgi. El procesamiento que sufre la pre-proinsulina consiste en la separación del péptido señal a través de una peptidasa, resultando en la formación de la proinsulina. Por la acción de dos peptidasas que poseen actividad de tripsina y carboxipeptidasa B, el péptido C es separado de la proinsulina quedando, finalmente, las cadenas A y B unidas (Freychet

1990, Kaneko 1997, Morimoto 2000). La insulina puede existir como monómero o como dímero pero en presencia de Zn, se pueden unir tres dímeros para formar un hexámero. Sin embargo, la insulina circula principalmente como monómero (Freychet 1990).

La insulina permanece almacenada en gránulos secretores en cantidades equimolares con el péptido C y ambos son secretados a la sangre (Morimoto 2000). Estos gránulos se constituyen en la unidad morfológica y funcional del almacenamiento y la secreción de la insulina, y su número depende de la relación entre la síntesis y la secreción de insulina (Freychet 1990). En condiciones normales, la secreción de esta hormona presenta un comportamiento bifásico en el que se observa un incremento inmediato luego de la acción del secretagogo, alcanzando un máximo pocos minutos después para luego disminuir no obstante que el estímulo persista; en una segunda fase se presenta un nuevo incremento en la secreción de insulina alcanzando el valor máximo más lentamente que la primera fase, luego de lo cual, vuelve a disminuir la secreción. Este comportamiento parece responder, durante la primera fase, a la liberación de la insulina almacenada en los gránulos y, durante la segunda fase, a la liberación de la insulina recién sintetizada (Freychet 1990, Landgraf et al 1971).

La insulina es secretada como monómero a la sangre portal y a su paso por el hígado no solamente ejerce su acción hormonal si no que, además, es sometida a procesos de degradación de tal manera que la concentración de insulina en la sangre portal es normalmente más alta que en la sangre periférica. Mientras que en el hígado se degrada cerca del 50% de la insulina, en los riñones se degrada cerca del 40% y el resto se degrada en otros tejidos (Freychet 1990).

### **2.3.3. Regulación de la síntesis y secreción de insulina.**

La síntesis y secreción de insulina depende de la concentración de varios metabolitos en la sangre incluidos la glucosa, fructosa, manosa, aminoácidos, cuerpos cetónicos, ácidos grasos, algunos neurotransmisores y hormonas (Basset 1978, Epstein et al 1992, Freychet 1990, Godoy et al 1982, Horino et al 1968, Kaneko 1997, Liang y Matschinsky 1994, Manns y Boda 1967, Morimoto 2000, Riis 1983). En condiciones *in vitro*, Landgraf et al (1971) demostraron que la galactosa y la glucosamina son potentes

secretagogos de la insulina mientras que Manns y Boda (1967), trabajando con ovejas adultas, establecieron que el butirato y el propionato estimulan la secreción de insulina con una intensidad similar o superior a la glucosa. En general se considera, sin embargo, que la glucosa es el regulador más importante de la síntesis y la secreción de insulina *in vivo* (Epstein et al 1992, Freychet 1990, Poitout et al 2006). La regulación de la secreción de insulina en el corto plazo, tal y como se presenta luego de una comida, ocurre básicamente a nivel de la exocitosis mientras que el mantenimiento del almacenamiento intracelular en cantidades apropiadas en el largo plazo, subyace en la regulación transcripcional y post-transcripcional de la síntesis de la insulina (Poitout et al 2006).

La regulación de la síntesis de la insulina por la glucosa (u otros secretagogos) se lleva a cabo en diferentes niveles que, según Morimoto (2000), incluyen la concentración del mRNA de insulina, la vida media del mRNA, la iniciación en la traducción del mRNA de la preproinsulina, la translocación de la cadena de preproinsulina naciente y la elongación de la cadena naciente de preproinsulina. Poitout et al (2006) por su parte, afirman que la expresión del gene de la insulina es regulada por la glucosa en todos los pasos, incluyendo la transcripción, el splicing del pre-mRNA y la estabilidad del mRNA.

Parece ser que el metabolismo de la glucosa a nivel mitocondrial en las células  $\beta$  del páncreas, más que la presencia de la glucosa en sí misma, es esencial para la síntesis (Freychet 1990) y secreción de la insulina (Ashcroft 1980, Freychet 1990, McDonald y Rorsman 2006). Esto explicaría que una gran variedad de metabolitos sean capaces de estimular la síntesis y secreción de esta hormona (Morimoto 2000). Landgraf et al (1971), trabajando en condiciones *in vitro*, sin embargo, reportaron que la secreción de insulina se puede realizar sin necesidad de que la glucosa sea metabolizada y postularon la existencia de un glucoreceptor de amplia especificidad involucrado en el mecanismo de liberación de la insulina. Más recientemente Rutter et al (2000) sugirieron que la glucosa actúa sobre sus células diana ya sea uniéndose a receptores ubicados en la membrana celular o a través de su metabolismo.

La estructura del gene de la insulina y los factores claves de la transcripción fueron recientemente revisados por Poitout et al (2006). Según estos autores, el gene de la insulina en los mamíferos posee una región altamente conservada constituida por cerca

de 340 pb inmediatamente corriente arriba del sitio de iniciación de la transcripción y, por lo tanto, es considerada como el promotor de la insulina, el cual le confiere al gene tanto la especificidad de su expresión en diferentes tejidos así como los sitios para su regulación metabólica.

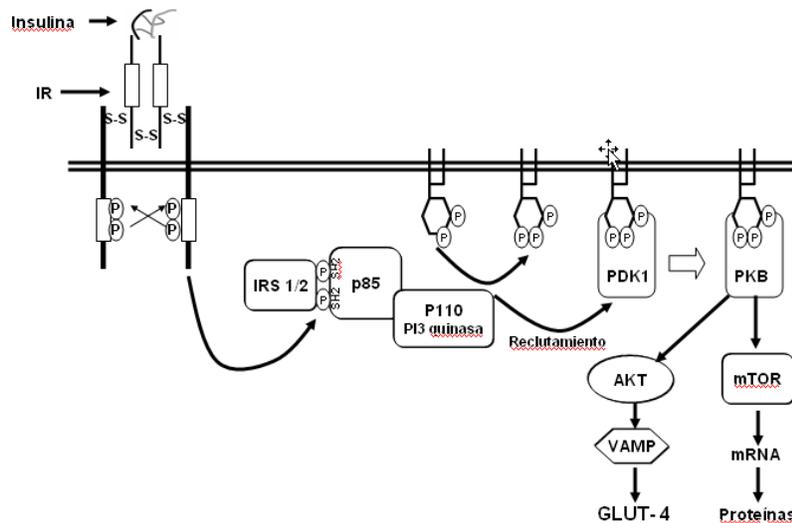
La glucosa parece estimular la transcripción del gene de la insulina mediante la activación de diversos mecanismos complementarios que incluyen al reclutamiento de los factores de transcripción en los sitios reguladores, la modificación de las histonas y la iniciación de la transcripción. Muchos de estos mecanismos, sin embargo, aún no están claramente descritos y, debido a que la mayor parte de la información que existe sobre tales mecanismos ha sido obtenida en condiciones *in vitro*, su validez en condiciones *in vivo* aún no ha sido establecida (Poitout et al 2006).

La secreción de insulina, por su parte, depende de la actividad eléctrica y del ingreso de  $\text{Ca}^{2+}$  al interior de las células  $\beta$  del páncreas (MacDonald y Rorsman 2006). La glucosa estimula la despolarización de la membrana celular y la actividad eléctrica de las células  $\beta$  del páncreas estimulando la apertura de los canales de  $\text{Ca}^{2+}$ , y permitiendo, de esta manera, el ingreso de este ión. El incremento en la concentración citoplasmática de  $\text{Ca}^{2+}$ , a su vez, estimula la fusión de los gránulos que contienen insulina con la membrana plasmática permitiendo su secreción hacia la sangre (McDonald y Rorsman 2006).

La generación de ATP en las células  $\beta$  del páncreas, como resultado del metabolismo de la glucosa u otros metabolitos energéticos, parece constituirse en el enlace clave entre el metabolismo mitocondrial y la secreción de insulina a través de su habilidad para cerrar los canales de  $\text{K}^+$  ATP-dependientes y despolarizar la célula (Rorsman y Trube 1985). Mientras que algunos autores sugieren que el incremento en la concentración intracelular de  $\text{Ca}^{2+}$  que precede la secreción de insulina es un estímulo importante para la expresión del gen de la insulina (Leibiger et al 1998), otros sugieren que la insulina exógena puede activar la expresión del gen de insulina directamente (Rutter et al 2000). Lo anterior indicaría que el papel de la glucosa y los demás secretagogos se limita a estimular la secreción de insulina mientras que el estímulo para su síntesis se halla autoregulado por la misma insulina.

### 2.3.4. Mecanismos de acción de la insulina.

El receptor de insulina es una glicoproteína transmembranal que pertenece a la familia de los receptores tirosina quinasa (García 1998, Hubbard y Till 2000), el cual es homólogo del receptor del Factor de Crecimiento Insulinóide tipo 1 (Shepherd et al 1998). Está constituido por dos subunidades ( $\alpha$  y  $\beta$ ) ricas en cisteínas que se combinan para formar un heterodímero unido por puentes disulfuro (Freychet 1990, King 2004, Shepherd 2005) (Figura 2.3.1). La subunidad  $\alpha$  es exclusivamente extracelular y contiene el sitio de unión con la insulina, mientras que la subunidad  $\beta$  contiene una secuencia transmembranal y posee elementos de tirosina quinasa en su dominio citoplasmático (Freychet 1990).



**Figura 2.3.1.** Cascadas de señalización de la insulina asociadas con la traslocación del GLUT-4 y la síntesis de proteínas (adaptado de Sheperd 2005).

En general, los receptores tirosina cinasa se caracterizan por catalizar la transferencia de un grupo fosfato proveniente del ATP a sus residuos de tirosina, autofosforilándose y activando, con ello, su acción cinasa (García 1998, Hubbard y Till 2000). El receptor activado puede fosforilar diversos sustratos intracelulares, principalmente los denominados sustratos receptores de insulina (IRS, insulin receptor substrate)

desencadenando, de esta manera, una variedad de cascadas de señales intracelulares corriente abajo (Hubbard y Till 2000, Su et al 2006). Aunque se han identificado cuatro variantes, el IRS-1 y el IRS-2 han sido los más estudiados, conociéndose que median los efectos “tróficos” y “metabólicos” de la insulina, respectivamente (Mendivil y Sierra 2005). Los IRS son proteínas adaptadoras y, por lo mismo, no poseen actividad catalítica, pero son fosforiladas en residuos de tirosina por el receptor de insulina (Hubbard y hill 2000, Su et al 2006). Una vez fosforilados, en los IRS se crean sitios de reconocimiento a los que se ligan a efectores que tengan dominios SH2 ó fosfotirosina (García 1998, Su et al 2006). Entre estos efectores están las proteínas p85, que son unidades reguladoras de la fosfatidilinositol 3 cinasa (PI3K), permitiendo, de esta manera, la activación de la subunidad catalítica p110 de la PI3K (Shepherd 2005), la cual es la enzima de la cascada de señalización de insulina más extensamente estudiada (Mendivil y Sierra 2005) (Figura 2.3.1). La subunidad p110 desinhibida fosforila varios fosfolípidos de membrana, principalmente el fosfatidilinositol 4,5 bifosfato (PI 4,5P) para generar fosfatidilinositol trifosfato (PIP3). El PIP3 es el encargado de fijar a la membrana y activar a PDK1 y Akt, dos enzimas cinasas que median la mayoría de los efectos metabólicos de la insulina (Mendivil y Sierra 2005). Akt, a su vez, fosforila a VAMP y a otras proteínas de fusión presentes en las vesículas de almacenamiento de los GLUT-4, ocasionando la traslocación de los GLUT-4 a la membrana y por tanto la captación de glucosa (Van Dam et al 2005).

La regulación de la síntesis de proteínas por la insulina también esta mediada por la ruta del PI3K quien activa la proteína cinasa B (PKB) encargada, a su vez, de fosforilar el complejo TSC1 (tuberous sclerosis complex 1) – TSC2 con lo que permite que mTOR (mammalian target of rapamycin) active los procesos de traducción y elongación de la cadena peptídica (Proud 2006). Este esquema general, sin embargo, aún plantea muchos interrogantes sobre el mecanismo preciso a través del cual mTOR regula la maquinaria traduccional.

### **2.3.5. Papel de la insulina en la partición de nutrientes en la vaca lactante.**

Se ha establecido que la insulina juega un papel clave en la distribución de los nutrientes durante la lactancia y que un aumento en su concentración sanguínea genera cambios en el metabolismo nutricional del animal y de la glándula mamaria

modificando el volumen de leche producida y su composición, favoreciendo, en la mayoría de los casos, la concentración de proteína en la leche. Se desconocen, sin embargo, los mecanismos mediante los cuales ejerce esta función (Bequette et al 2000, Hanigan et al 2002, Johnston et al 2004, Mackle et al 2000, Molento et al 2002).

En los primeros trabajos en los que se investigó el papel de la insulina sobre el metabolismo de la vaca lactante, se observó un efecto positivo de esta hormona sobre el contenido de proteína en la leche en animales bien alimentados (Gowen y Tobey 1931a, 1931b) (Tabla 2.3.1). En estos primeros estudios, sin embargo, también se apreció una reducción significativa en el volumen de leche producida lo que fue confirmado en trabajos posteriores (Leonard et al 1992, Schmidt 1966) en los que, además, fue evidente la disminución en la concentración de glucosa en la sangre. La caída en el volumen de leche producida fue asociada a la reducción en la cantidad de lactosa sintetizada debido a que esta es el principal componente osmolar de la leche y, por lo tanto, quien determina la cantidad de leche producida (Gowen y Tobey 1931a, Harris y Bachman 2003). De hecho, en estos trabajos no solamente se redujo la cantidad de lactosa producida si no, además, su concentración en la leche. Por el contrario, en estos trabajos se observó un incremento notable en el contenido de grasa y de proteína en la leche sugiriendo que la insulina estaría regulando la partición de nutrientes no solamente favoreciendo a la glándula mamaria, si no que, además, al interior de este tejido podría estar favoreciendo la síntesis de grasas y proteínas en detrimento de la síntesis de lactosa.

Debido a que el incremento en el contenido de proteína en la leche al aplicar insulina sola, se confunde con el efecto que ejerce la disminución en la producción de leche sobre esta variable (McGuire et al 1995), se comenzaron a realizar experimentos utilizando la técnica del gancho euglicémico – hiperinsulinémico (clamp) desarrollada originalmente para evaluar la resistencia a la insulina en humanos (DeFronzo et al 1979). En esta técnica, mientras se inyecta una cantidad fija y alta de insulina en la sangre, simultáneamente se inyecta glucosa a una tasa variable pero suficiente para mantener su concentración sanguínea normal. Esto permite estimar la cantidad de glucosa que es utilizada por el organismo bajo un determinado estado hiperinsulinémico.

El incremento en la concentración de proteína en la leche al utilizar la técnica clamp, sin embargo, es muy modesto y variable oscilando entre 0.0% (Griinari et al 1997) y 11.2% (Mackle et al 2000) (Tabla 2.3.1). Los valores más altos se obtuvieron cuando la aplicación de la técnica fue acompañada de la infusión de proteína y aminoácidos a nivel duodenal. La infusión de proteína a nivel duodenal sola no mostró ningún efecto sobre el contenido de proteína en la leche (Tabla 2.3.1). El efecto de la técnica clamp sobre la producción de leche ha sido igualmente variable reportándose desde una disminución del 9.9% al utilizar la técnica sola (Molento et al 2002) hasta un incremento del 15.9% cuando la técnica fue acompañada de la infusión de caseína en el duodeno (Griinari et al 1997) (Tabla 2.3.1). En general, la aplicación de la técnica clamp genera una disminución en la concentración sanguínea de aminoácidos esenciales y urea siendo menor esta disminución cuando la técnica es acompañada de la infusión de proteínas. En uno de estos trabajos se midió la concentración de ácidos grasos no esterificados en la sangre reportándose una disminución en su concentración con la aplicación de la técnica (McGuire et al 1995). En cuanto al contenido de grasa en la leche, Mackle et al (1999) reportaron una reducción en esta variable mientras que McGuire et al (1995) no hallaron ningún cambio ante la aplicación de la técnica clamp.

De estos trabajos se pueden resaltar los siguientes hallazgos: la aplicación de insulina sola mejora el contenido de grasa y proteína en la leche a la vez que reduce la producción y la concentración de lactosa en leche (Gowen y Towey 1931a, b) así como la concentración de glucosa en la sangre (Hayirli et al 2002). Al acompañar la aplicación de insulina con glucosa suficiente para conservar la glicemia (técnica clamp), puede reducirse la producción de leche o incrementarse ligeramente mientras que la proteína en la leche se incrementa en la mayoría de los casos. La concentración de aminoácidos esenciales y de urea en la sangre se reduce significativamente con la aplicación de esta técnica lo que significa que se está reduciendo la oxidación de aminoácidos al tiempo que se incrementa su uso por los tejidos extramamarios.

La aplicación de la técnica clamp (Griinari et al 1997) simultáneamente con la infusión de caseína a nivel duodenal, mejora sustancialmente la producción de leche y su contenido de proteína aunque la concentración de aminoácidos esenciales se reduce marcadamente. Esto sugiere que parte de los aminoácidos aportados por la caseína se dirigen hacia la glándula mamaria y se utilizan en la síntesis de proteínas lácteas pero

una parte importante de estos son utilizados por tejidos extramamarios. La infusión de caseína sola únicamente mejora ligeramente la concentración de aminoácidos esenciales en la sangre sin afectar la producción ni el contenido de proteína en la leche (Griinari et al 1997). Esto significa que los aminoácidos aportados por la caseína se utilizan en tejidos extramamarios aunque no tan eficientemente como para mantener los niveles normales en la sangre. La adición de aminoácidos de cadena ramificada no mejora la situación (Mackle et al 1999).

**Tabla 2.3.1.** Efecto de la aplicación de la técnica del gancho euglicémico – hiperinsulinémico en vacas lactantes sobre la producción y composición de la leche (en porcentaje) y algunos parámetros sanguíneos<sup>1</sup>.

Autores <sup>2</sup>	Técnica	DEL	Variación porcentual frente al control					
			Leche			Sangre		
			Pdccn	PC	Gr	AGNE	AAEs	Urea
Griinari et al 1997	C	184	0.0	0.0			6.03	
Mackle et al 1999	C/ACR	220	0	0	0		0	0
Mackle et al 2000	C/ACR	220	0.0	0.0			4.2	
Gowen y Towey 1931	Insulina	90	-85.7	50	70			
McGuire et al 1995	Clamp	147	0.0	3.3	0.0	-53.2	-50.0	-27.0
Griinari et al 1997	Clamp	184	8.7	0.0			-59.1	
Mackle et al 1999	Clamp	220	4.8	5	-15.3		-34.2	-31.5
Mackle et al 2000	Clamp	220	6.7	7.0			-26.9	
Molento et al 2002	Clamp	86	-9.9	2.5				-16.4
Griinari et al 1997	Clamp + C	184	15.9	10.6			-46.4	
Mackle et al 1999	Clamp/C/ACR	220	10.3	9.8	-12.8		-14.1	-18.7
Mackle et al 2000	Clamp/C/ACR	220	12.4	11.2			-13.9	

<sup>1</sup>Clamp = técnica del gancho euglicémico – hiperinsulinémico; C = Caseína; ACR = Aminoácidos de Cadena Ramificada; DEL = Dias em Lactancia; AGNE = Ácidos Grasos no Esterificados; Aminoácidos Esenciales.

<sup>2</sup>En todos los trabajos la dosis de insulina fue de 1.0 µg kg/PV/h.

Las mejores respuestas en cuanto al contenido de proteína en la leche y el uso de aminoácidos se obtiene con la aplicación de la técnica clamp junto con la infusión duodenal de caseína y aminoácidos ramificados. En este caso la concentración de aminoácidos esenciales y de urea en la sangre no se reduce tan dramáticamente (Mackle et al 1999) sugiriendo que la utilización de aminoácidos por la glándula mamaria cuando se aplica la técnica clamp, depende de la oferta de aminoácidos de cadena ramificada aunque este aporte no impide la oxidación de aminoácidos y, por lo tanto, la formación de urea por esta vía.

Otras dos aproximaciones metodológicas han sido utilizadas para estudiar el efecto de la insulina en el metabolismo de los rumiantes: la prueba de tolerancia a la glucosa y la prueba de demanda por glucosa. La primera consiste en el suministro de cantidades altas y variables de glucosa seguidas por la medición de la glicemia y la concentración de insulina en la sangre (Sakai et al 1996). En la segunda técnica se reduce la reabsorción de la glucosa a nivel renal aplicando Fluorizina, un compuesto que inhibe el transportador de glucosa dependiente de sodio (SGLT) en los túbulos renales proximales (Dimitrakoudis et al 1992) con lo que se incrementan las pérdidas urinarias de glucosa y, en consecuencia, se incrementan las demandas por glucosa en el individuo. Sakai et al (1996) evaluaron la prueba de tolerancia a la glucosa en vacas lactantes con o sin cetosis encontrando que luego de inyectar 500 ml de una solución de glucosa al 50% en las vacas normales las concentraciones de glucosa e insulina en la sangre se incrementaron siete veces mientras que en las vacas cetóticas la glucosa se incrementó seis veces y la insulina tres veces sugiriendo que la cetosis es un factor que genera resistencia a la insulina. Amaral-Phillips et al (1993), por su parte, evaluaron el efecto de la aplicación subcutánea de 0.0, 2.0 y 4.0 g/d de Fluorizina durante dos días a seis vacas Holstein con seis semanas de lactancia y encontraron que la excreción de glucosa en orina fue de 0.0, 225.0 y 337.0 g/d, respectivamente. La aplicación de esta droga, sin embargo, no afectó la producción de leche (29.8 Lt), ni el contenido de proteína (2.84%) y lactosa en la leche (4.97%), pero sí incrementó linealmente la concentración de grasa (3.34, 3.56 y 3.70, respectivamente) y de AGNE en la sangre mientras redujo la concentración sanguínea de glucosa e insulina en la sangre.

Como se señaló anteriormente, no se conocen claramente los mecanismos a través de los cuales la insulina actúa en la partición de nutrientes entre los tejidos y en el uso de los nutrientes en distintas rutas metabólicas dentro de un mismo tejido. El efecto de la insulina sobre las proteínas transportadoras de glucosa explica parcialmente la acción de esta hormona sobre la partición de los nutrientes entre los tejidos.

### **2.3.6. Transportadores de glucosa.**

Dado que la glucosa es una molécula hidrofílica que no difunde libremente al interior de las células requiere algún mecanismo de transporte específico (Nishimoto et al 2006). Los mecanismos identificados hasta el momento se clasifican en dos grandes familias:

los transportadores de glucosa dependientes de sodio (SGLT, sodium-glucose transporters) y los facilitadores de glucosa (GLUT, glucose transporters) (Díaz y Burgos 2002, Nishimoto et al 2006, Zhao et al 2004). Los SGLT se localizan principalmente en el borde de cepillo del epitelio intestinal y en las células epiteliales del riñón mientras que los transportadores GLUT se encuentran distribuidos en todos los tejidos existiendo al menos 13 isoformas (Wood y Trayhurn 2003). De estas, los GLUT1, 2, 3, 4 y 5, son las más importantes en los animales domésticos (Hocquette y Abe 2000). Estas, a su vez, se han clasificado en dos grupos en función de su sensibilidad a la insulina: las isoformas insensibles a insulina (GLUT 1, 2, 3 y 5) y una isoforma sensible a la insulina (GLUT4) (Hocquette y Abe 2000, Sasaki 2002). No todos los tejidos de los mamíferos expresan las distintas isoformas de los GLUT lo que ha conducido a clasificar a los tejidos como dependientes o independientes de insulina según expresen las diferentes isoformas de GLUT (Nishimoto et al 2006). Así, mientras que el tejido muscular, el tejido adiposo (Díaz y Burgos 2002, Sasaki 2002, Xiao y Cant 2003), los folículos ováricos y el cuerpo lúteo (Hiromi et al 2004, Williams et al 2001) expresan GLUT4 y son sensibles a la insulina, los eritrocitos (GLUT1), la placenta (GLUT1), la glándula mamaria (GLUT1), el cerebro (GLUT1 y 3), el hígado (GLUT2 y 3), las células  $\beta$  del páncreas (GLUT2) y los intestinos (GLUT5) son insensibles a la insulina (Díaz y Gurgos 2002, Sasaki 2002, Xiao y Cant 2003). Esto significa que mientras que el transporte de glucosa desde la sangre al interior de las células del tejido muscular y adiposo depende de la concentración sanguínea de insulina, en los demás tejidos el transporte de glucosa depende más de la concentración de glucosa que de insulina en la sangre.

Tal es el caso de las células epiteliales de glándula mamaria que expresan únicamente el GLUT1 y por lo tanto, toman glucosa de la sangre independientemente de la concentración de insulina en la sangre (Komatsu et al 2005, Zhao et al 1999). Durante la lactancia, estas células requieren un suministro continuo de glucosa para la síntesis de los diferentes componentes de la leche: lactosa, lípidos y proteínas (Reynolds et al 1994, Xiao y Cant 2005) por lo que resulta ventajoso que el transporte de este nutriente hacia el interior de las células epiteliales de la glándula mamaria no dependa de la concentración de insulina y que, por lo tanto, pueda hacerlo aún en estado de hipoinsulinemia e hipoglicemia (Komatsu et al 2005). Estos autores hallaron que la concentración de insulina en la sangre es menor durante toda la lactancia (10.0  $\mu$ U/mL)

comparada con el periodo seco (17.0  $\mu\text{U}/\text{mL}$ ) y que la expresión de GLUT1 en la glándula mamaria de vacas lactantes es tres veces superior que en vacas secas. También reportaron que este transportador se expresa en el tejido adiposo en vacas secas y en vacas al final de la lactancia. En el tejido muscular, por el contrario, no se evidenció la expresión de este transportador en ningún estado de la lactancia. GLUT4, por el contrario, se expresó en el tejido adiposo y muscular independientemente del estado de lactancia mientras que en la glándula mamaria no hubo evidencia de su expresión.

Estos hallazgos revisten gran importancia para comprender el papel de la insulina en la distribución de la glucosa entre los tejidos durante la lactancia pero, así mismo, generan algunos interrogantes. La expresión constante y alta de GLUT1 en las células epiteliales de la glándula mamaria durante toda la lactancia sugiere, así mismo, una alta capacidad de transporte de glucosa al interior de estas células. Sin embargo, el incremento en la expresión de GLUT1 en el tejido adiposo al final de la lactancia, sugeriría una menor distribución de glucosa hacia la glándula mamaria en vista de la competencia que ejercería el tejido adiposo por este nutriente a través de este transportador. Resulta sorprendente que en el músculo no se exprese este transportador de glucosa toda vez que su ausencia implicaría una limitante en la capacidad de este tejido de tomar glucosa de la sangre y, por lo tanto, en realizar actividades anabólicas. Esta hipótesis, sin embargo, contrasta con los datos de Komaragiri y Erdman (1997) que señalan que la movilización de la proteína muscular se detiene en la quinta semana de lactancia. Resulta más sorprendente aún que tanto el tejido adiposo como el muscular expresen GLUT4 invariablemente durante la lactancia y el periodo seco ya que esto capacitaría a dichos tejidos para captar glucosa de la sangre sin dificultades. Sin embargo no lo hacen. Komatsu et al (2005), sugieren que aunque este transportador se expresa durante la lactancia en estos tejidos, no transfiere la glucosa al interior de la célula debido al estado de insulinoresistencia característico de las vacas durante la lactancia. Es necesario considerar, sin embargo, que la concentración de insulina durante la lactancia fue más baja que durante el periodo seco y que, por lo tanto, quizá el nivel de insulina necesario para que este transportador se exprese es más bajo que la mostrada por las vacas experimentales. Pero también sugiere que el nivel de insulina necesario para que estos transportadores actúen es más alto. Otra posibilidad que debe ser considerada es que no obstante que estos transportadores se expresen y funcionen adecuadamente, la glucosa que ingresa al interior de las células diana no es retenida debido a la baja

expresión de la hexoquinasa (Kaneko 1997). Estas inquietudes no pueden ser resueltas aún debido a que los mecanismos moleculares implicados en la regulación de la expresión de los transportadores por la insulina en los rumiantes no ha sido dilucidados completamente (Sasaki 2002).

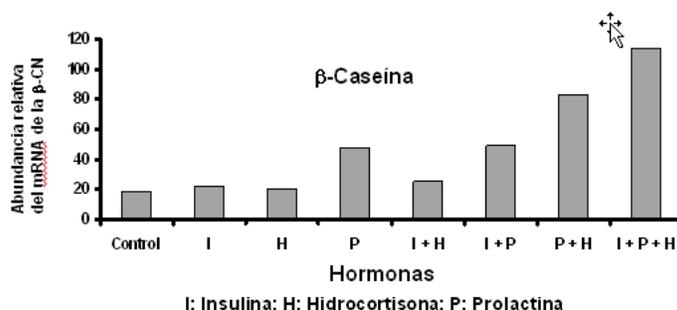
Otro aspecto adicional que incrementa el nivel de complejidad en la regulación del metabolismo extramamario asociado a la expresión y actividad de los GLUT, tiene que ver con su eventual papel en las diferencias que existen en el metabolismo del tejido adiposo de acuerdo a su localización. Sohlström y Forsum (1995) establecieron que la deposición y movilización de tejido adiposo en mujeres cambia según su localización y que, además, cambia durante la preñez y la lactancia. Estos autores encontraron que la grasa subcutánea representa el 76% del tejido adiposo total y que este porcentaje no cambia durante la gestación. Sin embargo, durante la lactancia, se aprecia una pérdida significativa de la grasa subcutánea mientras que la grasa no subcutánea, la mayor parte de la cual es grasa visceral, se incrementa ligeramente durante la lactancia. Hood y Allen (1973), por su parte, reportaron que el tejido adiposo subcutáneo y perineal presentan patrones de deposición diferentes en bovinos en crecimiento. Este tipo de fenómenos no se han estudiado en el caso del tejido muscular y dado que la síntesis de proteínas de la leche dependen parcialmente de las proteínas corporales movilizadas, resulta de sumo interés esclarecer la relación entre la expresión de los GLUT's y la regulación del metabolismo en el tejido muscular a lo largo de la lactancia. En este sentido es importante revisar las diferencias en el metabolismo de ciertos músculos en personas dedicadas al fisico-culturismo y en pollos de engorde, al incremento del tamaño de los músculos de la pechuga. Moorby et al (2000) señalan que cuando la concentración sanguínea de insulina es baja y la de hormona del crecimiento es alta, se incrementa la movilización de proteínas corporales y, por ende, la disponibilidad de aminoácidos para la síntesis de proteínas lácteas. Sus resultados muestran que la concentración sanguínea de estas dos hormonas responde a la dieta de manera inversa y que, por lo tanto, su respuesta en movilización o síntesis de proteínas corporales es manipulable a través de la dieta.

El papel de la insulina en la regulación de la expresión de los GLUT, no explica completamente los cambios en la producción y composición de la leche. Lo que

conduce a explorar los mecanismos moleculares asociados a la expresión de los genes de las proteínas lácteas en las células epiteliales de la glándula mamaria.

### 2.3.7. Mecanismos moleculares asociados a la síntesis de proteínas lácteas.

Choi et al (1988) evaluaron la expresión de los genes (mRNAs y proteínas) de la  $\alpha S_1$ -caseína y  $\kappa$ -caseína en células epiteliales de glándulas mamarias bovinas que fueron mantenidas en un medio de cultivo al que se le adicionó insulina, hidrocortisona y prolactina solas o en combinación. Sus resultados indican que la insulina sola no afecta la expresión de estos genes pero sí ejerce un efecto aditivo cuando se combina con las otras dos hormonas (Figura 2.3.2). Los mecanismos moleculares que explican estas interacciones podrían encontrarse a nivel de las vías de señalización que asocian estas hormonas con la expresión de los genes de las proteínas lácteas (Rosen et al 1999, Vonderhaar y Ziska 1989). Estas vías de señalización están bien descritas en el caso de la prolactina (Stoeklin et al 1997) y los glucocorticoides (Gupta y Lalchhandama 2002) así como la interacción entre estas dos hormonas a nivel de las rutas de señalización (Rosen et al 1999, Stoeklin et al 1997). En el caso de la insulina se han postulado algunos de los posibles componentes de esta ruta de señalización en la glándula mamaria de ratas (Moo et al 2004) y en el metabolismo de los rumiantes (Sasaki 2002).



**Figura 2.3.2.** Abundancia relativa del mRNA de la caseína en tejido mamario bovino mantenido en un medio de cultivo al que se adicionó de manera separada o en combinación insulina, hidrocortisona y prolactina (adaptado de Choi et al 1988).

Moo et al (2004) revisaron la interacción entre las rutas de señalización de la prolactina y la insulina en la síntesis de  $\kappa$ -caseína sugiriendo que esta no se encuentra en las cascadas de señalización pretranscripcionales, si no a nivel postranscripcional,

estimulando el alargamiento de la cadena poli-A y, por lo tanto, incrementando la estabilidad del mRNA y su vida media (Kuraishi et al 2000). Un incremento en la vida media de esta molécula se halla correlacionada, a su vez, con el incremento en la tasa de iniciación traduccional y, en consecuencia, con la tasa de síntesis de proteínas lácteas (Moo et al 2004).

### **2.3.8. Conclusiones.**

Aunque existen tres posibles mecanismos que contribuyen a explicar el papel de la insulina en la síntesis y concentración de las proteínas lácteas, estos aún no están completamente comprendidos. Los trabajos revisados sugieren que la acción de la insulina es más el resultado del sinergismo con otras hormonas y con nutrientes tales como la glucosa y aminoácidos en la glándula mamaria, que un efecto aislado de dicha hormona.

### **Abstract**

*Nevertheless the nutritional and industrial importance of milky proteins are well documented, the mechanisms that control their synthesis and concentration still are not totally understood. Among the different hormones that participate in the mammary gland metabolism, insulin has received higher attention due to its close relationship with the energetic and protein metabolism in dairy cows to its marked effect on the production and concentration of milk proteins. There are at least three mechanisms by which this hormone seems to contribute to increase in the synthesis and concentration of milk protein that are reviewed in this paper: nutrient distribution to mammary gland, regulation of gene expression of caseins and the rate of initiation of protein synthesis at post-transcriptional level.*

**Key words: homeorhesis, hormonal control, mammary gland**

## **Bibliografia.**

1. **Akers R. M. 2000.** Selection for Milk Production from a Lactation Biology Viewpoint. *J Dairy Sci* 83:1151–1158.
2. **Amaral-Phillips D. M., McGilliard A. D., Lindberg G. L., Veenhuizen J. J. and Young J. W. 1993.** Effects of Decreased Availability of Glucose for Dairy Cows. 1993 *J Dairy Sci* 76:752-761.
3. **Ashcroft S. J. H. 1980.** Glucoreceptor Mechanisms and the Control of Insulin Release and Biosynthesis. *Diabetologia* 18: 5-15.
4. **Bassett J. M. 1978.** Endocrine factors in the control of nutrient utilization: ruminants. *Proc. Nutr. Soc.*, 37:273 – 280.
5. **Bauman, D. E. and Currie, W. B. 1980.** Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science* 63, 1514–1529.
6. **Bauman D. E. 2000.** Regulation of Nutrient Partitioning During Lactation: Homeostasis and Homeorhesis Revisited. In: *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction* (ed. P.B. Cronjé). CAB International. Chp 18: 311 – 328.
7. **Bequette B. J., Kyle C. E., Crompton L. A., Buchan V. and Hanigan M. D. 2001.** Insulin regulates milk production and mammary gland and hind-leg amino acid fluxes and blood flow in lactating goats. *J. Dairy Sci.* 84:241–255.
8. **Bequette B. J., Kyle C. E., Crompton L. A., Anderson S. E. and Hanigan M. D. 2002.** Protein Metabolism in Lactating Goats Subjected to the Insulin Clamp. *J. Dairy Sci.* 85:1546–1555.
9. **Brange J. and Langkjoer L. 1993.** Insulin structure and stability. *Pharm Biotechnol.*, 5:315-350.

10. **Choi Y. J., Keller W. L., Berg I. E., Park C. S. and Mackinlay A. G. 1988.** Casein gene expression in bovine mammary gland. *J Dairy Sci.*71: 2898-2903.
11. **DeFronzo R. A., Tobin J. D. and Andres R. 1979.** Glucose clamp technique: A method for quantifying insulin secretion and resistance. *Am J Physiol.* 237: E214-223.
12. **Díaz D. P y Burgos L. C. 2002.** ¿Cómo se transporta la glucosa a través de la membrana celular?. *Iatreia*, 15 (3): 179 – 189
13. **Dimitrakoudis D., Vranic M. and Klip A. 1992.** Effects of hyperglycemia on glucose transporters of the muscle: use of the renal glucose reabsorption inhibitor phlorizin to control glycemia. *Journal of the American Society of Nephrology*, 3: 1078-1091.
14. **Epstein P. N., Boschero A. C., Atwater I., Cai X. and Overbeek P. A. 1992.** Expression of Yeast Hexokinase in Pancreatic  $\beta$  Cells of Transgenic Mice Reduces Blood Glucose, Enhances Insulin Secretion, and Decreases Diabetes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 89: 12038-12042.
15. **Freychet P. 1990.** Pancreatic hormones. In: Baulieu E. E. and Kelly P. A. *Hormones, from molecules to disease.* Hermann, publishers in arts and science, London, UK. Pp. 491 – 532.
16. **García J. A. 1998.** Hormonas: mensajeros químicos y comunicación celular. Fondo de Cultura Económica, S. A. de C.V., México D. F. 119 p.
17. **Godoy R. H., Parker D. S. and Armstrong D. G. 1982.** Rumen volatile fatty acids and blood constituents in sheep given either molasses or a mixture of sugars. *Proceedings of the Nutrition Society*, 42: 33A.
18. **Gowen J. W. and Tobey E. R. 1931a.** Studies on milk secretion: The Influence Of Inanition. *J. Gen. Physiol.* 1931 15: 45-66.

19. **Gowen J. W. and Tobey E. R. 1931b.** On The Mechanism Of Milk Secretion: The Influence Of Insulin And Phloridzin. *J. Gen. Physiol.* 1931 15: 67-85.
20. **Griinari J. M., McGuire M. A., Dwyer D. A., Bauman D. E., Barbano D. M. and House W. A. 1997.** The Role of Insulin in the Regulation of Milk Protein Synthesis in Dairy Cows. *J Dairy Sci* 80: 2361–2371.
21. **Gupta B. B. P. and Lalchandama K. 2002.** Molecular mechanisms of glucocorticoid action. *Current Science.* 83: 1103 – 1111.
22. **Hanigan M. D., Crompton L. A., Metcalf J.A. and France J. 2002.** Modelling mammary metabolism in the dairy cow to predict milk constituent yield, with emphasis on amino acid metabolism and milk protein production: model evaluation. *J Theor Biol.* 2002, 217(3): 311- 330.
23. **Harris B. and Bachman K. C. 2003** Nutritional and Management Factors Affecting Solids-Not-Fat, Acidity and Freezing Point of Milk. Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 5 p
24. **Hayirli A., Bertics S. J. and Grummer, R. 2002.** Effects of slow-release insulin on production, liver triglyceride, and metabolic profiles of Holsteins in early lactation. *Journal of Dairy Science*, 85: 2180–2191
25. **Hiroshi S., Sawa Y., Tsuyoshi T., Ken-Go H., Akio M., Seizo H. and Masa T. 2004.** Expression of glucose transporter 1 (GLUT1) and 4 (GLUT4) in bovine follicles and corpora lutea. 37th Annual Meeting of The Society for the Study of Reproduction, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
26. **Hocquette J-F. and Abe H. 2000.** Facilitative glucose transporters in livestock species. *Reprod. Nutr. Dev.* 40: 517–533.

27. **Hood R. L. and Allen C. E. 1973.** Cellularity of bovine adipose tissue. *Journal of Lipid Research*. 14: 605 – 610.
28. **Horino M., Machlin L. J., Hertelendy F. and Kipnis D. M. 1968.** Effect of short-chain fatty acids on plasma insulin in ruminant and nonruminant species. *Endocrinology*, 83: 118.
29. **Hua Q-X., Chu Y. C., Jia W., Phillips N. F., Wang R. Y., Katsoyannis P. G. and Weiss M .A. 2002.** Mechanism of insulin chain combination. Asymmetric roles of A-chain alpha-helices in disulfide pairing. *J Biol Chem*. Nov 8; 277(45):43443 - 43453.
30. **Hubbard S. R. and Till J. H. 2000.** Protein tyrosine kinase structure and function. *Annu. Rev. Biochem.* 69: 373–398.
31. **Johnston S. L., Kitson K. E., Tweedie J. W., Davis S. R. and Lee1 J. 2004.**  $\gamma$ -Glutamyl Transpeptidase Inhibition Suppresses Milk Protein Synthesis in Isolated Ovine Mammary Cells. *J. Dairy Sci.* 87:321–329.
32. **Kaneko J. J. 1997.** Carbohydrate metabolism and its diseases. In: Kaneko J. J., Harvey J. W. and Bruss M. L. (Editors). *Clinical biochemistry of domestic animals*, fifth edition. Academic Press, San Diego, Cal. Pp. 45 – 81.
33. **Komaragiri M. V. S. and Erdman R. A. 1997.** Factors affecting body tissue mobilization in early lactation dairy cows. 1. Effect of dietary protein on mobilization on body fat and protein. *J. Dairy Sci.* 80: 929 – 937.
34. **Komatsu T., Itoh F., Kushibiki S. and Hodate K. 2005.** Changes in gene expression of glucose transporters in lactating and nonlactating cows. *J. Anim. Sci.* 83:557–564.
35. **Kuraishi T., Sun Y., Fugaku A., Imakawa K. and Sakai S. 2000.** The poly(A) tail length of casein mRNA in the lactating mammary gland changes depending upon accumulation and removal of milk. *Biochem J.* 347:579–583.

36. **Leibiger B., Moede T., Schwarz T., Brown G. R., Köhler M., Leibiger I. B. and P. -Olof Berggren. 1998.** Short-term regulation of insulin gene transcription by glucose. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 95: 9307–9312.
37. **Léonard, M., Burchard J., Gallo G. and Block E. 1992.** Effects of long term infusions of glucose and/or insulin in bST-treated cows before peak milk on nutrient and hormonal profile. *J. Dairy Sci.* 75(Suppl. 1): 182.(Abstr.)
38. **Liang Y. and Matschinsky F. M. 1994.** Mechanisms of action of nonglucose insulin secretagogues. *Amut Rev. Nutr.*, 14:59-81
39. **MacDonald P. E. and Rorsman P. 2006.** Oscillations, Intercellular Coupling, and Insulin Secretion in Pancreatic  $\beta$  Cells. *PLoS Biology*, 4 (2): 167 – 171.
40. **Mackle T. R., Dwyer D. A., Ingvarstsen K. L., Chouinard P. Y., Lynch J. M., Barbano D. M. and Bauman D. E. 1999.** Effects of insulin and amino acids on milk protein concentration and yield from dairy cows. *J Dairy Sci* 82:1512–1524.
41. **Mackle T. R., Dwyer D. A., Ingvarstsen K. L., Chouinard P. Y., Ross D. A. and Bauman D. E. 2000.** Effects of insulin and postprandial supply of protein on use of amino acids by the mammary gland for milk protein synthesis. *J. Dairy Sci.* 83:93–105.
42. **Manns J. G. and Boda J. M. 1967.** Insulin release by acetate, propionate, butyrate, and glucose in lambs and adult sheep. *Am. J. Physiol.* 212 (4) : 747-755.
43. **McGuire M. A., Griinari J. M., Dwyer D. A. and Bauman D. E. 1995.** Role of Insulin in the Regulation of Mammary Synthesis of Fat and Protein. *J Dairy Sci* 78:816-824.

44. **Mendivil C. O. y Sierra I. D. 2005.** Acción Insulínica y Resistencia a La Insulina: Aspectos Moleculares. *Rev Fac Med Univ Nac Coloma.* 53 (4): 235 – 243.
45. **Metcalf J. A., Sutton J. D., Cockburn J. E., Napper D. J. and Beever D. E. 1991.** The influence of insulin and amino acid supply on amino acid uptake by the lactating bovine mammary gland. *J. Dairy Sci.* 74: 3412-3420.
46. **Molento C. F. M., Block E., Cue R. I. and Petitclerc D. 2002.** Effects of Insulin, Recombinant Bovine Somatotropin, and Their Interaction on Insulin-Like Growth Factor-I Secretion and Milk Protein Production in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 85:738–747.
47. **Moo Choi K., Barash I. and Rhoads R. E. 2004.** Insulin and Prolactin Synergistically Stimulate b-Casein Messenger Ribonucleic Acid Translation by Cytoplasmic Polyadenylation. *Molecular Endocrinology* 18:1670–1686.
48. **Moorby J. M., Dewhurst R. J., Tweed J.K.S., Dhanoa M. S. and Beck N.F.G. 2000.** Effects of Altering the Energy and Protein Supply to Dairy Cows During the Dry Period. 2. Metabolic and Hormonal Responses. *J Dairy Sci* 83:1795–1805.
49. **Morimoto S. 2000.** Mecanismos moleculares que intervienen en la regulación de la síntesis de insulina por glucosa. *Rev Hosp Gral Dr. M Gea González,* 3 (3): 118-120
50. **National Dairy Council. 2006.** Emerging health benefits of dairy proteins. *The Dairy Council Digest,* 77 (4): 19-24.
51. **Nishimoto H., Matsutani R., Yamamoto S., Takahashi T., Hayashi K-G., Miyamoto A., Hamano S. and Tetsuka M. 2006.** Gene expression of glucose transporter (GLUT) 1, 3 and 4 in bovine follicle and corpus luteum. *Journal of Endocrinology.*188: 111–119.

52. **Pérez J. 2000.** Cooperativa COLANTA exportadora; Cooperativa COLANTA, Informe y balance 1999.
53. **Poitout V., Hagman D., Stein R., Artner I., Robertson R. P. and Harmonz J. S. 2006.** Regulation of the Insulin Gene by Glucose and Fatty Acids. *J. Nutr.* 136: 873–876.
54. **Proud C. G. 2006.** Regulation of protein synthesis by insulin. *Biochemical Society Transactions*, 34 (2): 213 – 216.
55. **Reynolds, C. K., Harmon D. L., and Cecava M. J. 1994.** Absorption and delivery of nutrients for milk protein synthesis by portal drained viscera. *J. Dairy Sci.* 77: 2787 – 2808.
56. **Riss P. M. 1983.** Adaptations of metabolism to various conditions: nutritional and other environmental conditions. In: Riss P. M. (Editor). *Dynamic biochemistry of animal production*. Elsevier, Amsterdam, The N. Pp. 319 – 357.
57. **Rorsman P. and Trube G. 1985** Glucose dependent KC-channels in pancreatic beta-cells are regulated by intracellular ATP. *Pflug. Arch.* 405, 305–309.
58. **Rosen J. M., Wyszomierski S. L. and Darryl Hadsell. 1999.** Regulation of milk protein gene expression. *Annu. Rev. Nutr.* 19: 407–436.
59. **Ryle A. P., Sanger F., Smith L. F. and Kitai R. 1955.** The disulphide bonds of insulin. *Biochem J.*, August; 60 (4): 541–556.
60. **Sakai T., Hamakawa M. and Kubo S. 1996.** Glucose and xylitol tolerance test for ketotic and healthy dairy cows. *J. Dairy Sci.* 79: 372 – 377
61. **Sasaki S. 2002.** Mechanism of insulin action on glucose metabolism in ruminants. *Animal Science Journal.* 73: 423–433.
62. **Schmidt, G. H. 1966.** Effect of insulin on yield and composition of milk of

dairy cows. *J. Dairy Sci.* 49: 381.

63. **Shepherd, P.R., Withers, D.J. & Siddle, K. 1998.** Phosphoinositide 3-kinase: The key switch mechanism in insulin signalling. *Biochem J* 333, 471–490.
64. **Shepherd P. R. 2005.** Mechanisms regulating phosphoinositide 3-kinase signaling in insulin-sensitive tissues. Review. *Acta Physiol Scand*, 183: 3–12.
65. **Sohlström A. and Forsum E. 1995.** Changes in adipose tissue volume and distribution during reproduction in Swedish women as assessed by magnetic resonance imaging. *Am. J. Clin. Nutr.* 61: 287-295.
66. **Stoecklin E, Wissler M, Moriggl R & Groner B. 1997.** Specific DNA binding of STAT5, but not of glucocorticoid receptor is required for their functional cooperation in the regulation of gene transcription. *Molecular and Cellular Biology.* 17: 6708–6716.
67. **Su X., Lodhi I. J., Saltiel A. R. and Stahl P. D. 2006.** Insulin–stimulated interaction between insulin receptor substrate and P85 $\alpha$  and activation of Protein Kinase B/Akt require Rab5. *JBC Papers in Press.* Published on July 31, 2006 as Manuscript M602873200.
68. **Sukkar S. G. and G. Bounous. 2004.** The role of whey protein in antioxidant defence. *Rivista Italiana di Nutrizione Parenterale ed Enterale.* 22 (4): 193-200.
69. **Tucker H. A. 2000.** Hormones, Mammary Growth, and Lactation: a 41-Year Perspective. *J Dairy Sci* 83:874–884.
70. **Van Dam E. M., Govers R. and James D. E. 2005.** Akt activation is required at a late stage of insulin-induced GLUT4 translocation to the plasma membrane. *Molecular Endocrinology* 19 (4): 1067-1077.
71. **Verdier-Metza I., Coulonb J-B. and Pradelc P. 2001.** Relationship between milk fat and protein contents and cheese yield. *Anim. Res.* 50: 365–371.

72. **Vonderhaar B. K. and Ziska S. E. 1989.** Hormonal regulation of milk protein gene expression. *Annu. Rev. Physiol.* 51:641- 652.
73. **Wang J., Shen L., Najafi H., Kolberg J., Matschinsky F. M., Urdea M. and German M. 1997.** Regulation of insulin preRNA splicing by glucose. *PNAS*, April 29, 94 (9): 4360 - 4365.
74. **Williams S. A., Blache D., Martin G. B., Foot R., Blackberry M. A. and Scaramuzzi R. J. 2001.** Effect of nutritional supplementation on quantities of glucose transporters 1 and 4 in sheep granulosa and theca cells. *Reproduction*, 122: 947-956.
75. **Wood I. S. and Trayhurn P. 2003.** Glucose transporters (GLUT and SGLT): expanded families of sugar transport proteins. *Br. J. Nutr.* 89: 3–9.
76. **Xiao C. T. and Cant J. P. 2005.** Relationship Between Glucose Transport and Metabolism in Isolated Bovine Mammary Epithelial Cells. *J. Dairy Sci.* 88:2794–2805.
77. **Zhao F-Q., Millera P. J., Walla E. H., Zhenga Y-C., Donga B., Neville M. C. and McFaddena T. B. 2004.** Bovine glucose transporter GLUT8: cloning, expression, and developmental regulation in mammary gland. *Biochimica et Biophysica Acta* 1680: 103– 113.

## CAPITULO 3

### Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo<sup>6</sup>

Héctor J Correa C<sup>a,b</sup>, Martha L. Pabón R.<sup>a,c</sup> y Juan E. Carulla F.<sup>a,d</sup>

<sup>a</sup>Grupo de Investigación en Nutrición Animal<sup>b</sup>Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, <sup>c</sup>Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, <sup>d</sup>Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

#### 3.1. Resumen

*Con la finalidad de estimar el consumo de materia seca (CMS) en vacas Holstein lactantes bajo condiciones de pastoreo, se realizaron dos ensayos con seis vacas cada uno, utilizando un marcador interno para estimar la digestibilidad de la materia seca (DMS) y un marcador externo para estimar la producción de heces (H). Para estimar la DMS se utilizó la fibra en detergente ácido indigerible (FDAi) recuperada en los residuos de una incubación ruminal in situ (FDAiis) durante 144 horas de muestras de las heces (FDAih), los forrajes (FDAif) y los suplementos alimenticios (FDAis). Esta técnica fue comparada con la medición de la FDAi en los residuos de una incubación in vitro durante 144 horas de las mismas muestras. Para calcular H, a cada vaca se le suministraron 15 g de óxido de cromo (Cr) en cada ordeño durante 14 días, los cuales fueron mezclados con el suplemento alimenticio y su concentración fue determinada en las heces recuperadas durante los dos últimos días del periodo de suministro. Esta técnica fue comparada con la recolección total de heces utilizando arneses fabricados para este fin. El CMS estimada mediante el uso de marcadores (FDAiis/Cr) se comparó, además, con el CMS estimado por las ecuaciones del NRC (2001) y del sistema de carbohidratos y proteínas netas de Cornell (CNCPS) mediante un análisis de varianza y el análisis del cuadrado medio del error de predicción (CMEP) de cada ecuación. La DMS estimada con la FDAiis fue de  $70.3 \pm 4.48\%$  mientras que con la*

---

<sup>6</sup> Correa C Héctor J, M L Pabón R y J E Carulla F 2009 Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *Livestock Research for Rural Development* 21 (4), Article # 59 ISSN: 0121-3784.

*FDAiiv fue de  $65.1 \pm 7.77\%$  ( $p > 0.052$ ). El óxido de cromo sobreestimó las heces producidas en 26.8% comparado con la cantidad de heces recolectadas con los arneses ( $p < 0.0001$ ) indicando una recuperación incompleta de marcador, la cual fue estimada en  $79.4 \pm 8.9\%$ . Aunque los promedios del CMS total estimados con las ecuaciones del NRC (2001) y del CNCPS no fueron diferentes a la estimada con los marcadores (18.7, 18.8 y 18.3 Kg/vaca/d, respectivamente) ( $p > 0.89$ ), las ecuaciones del NRC (2001) y del CNCPS no estimaron apropiadamente el CMS total presentando valores altos del sesgo medio, lineal y aleatorio.*

**Palabras clave:** *ecuaciones de predicción, marcadores, pastoreo*

### **3.2. Introducción.**

El consumo de materia seca (CMS) es un parámetro de suma importancia en la producción animal ya que determina el estatus nutricional y la capacidad productiva de los animales (Mayes y Dove 2000) y es determinante del valor nutricional de los alimentos (Galyean 1997, Van Soest 1994). En las zonas tropicales del mundo los pastos son los principales recursos alimenticios para los bovinos y los sistemas de producción que prevalecen en estas regiones, utilizan el pastoreo como la principal práctica de alimentación; de ahí los innumerables trabajos que se han realizado tratando de cuantificar el CMS de forrajes bajo condiciones de pastoreo.

Desde comienzos del siglo pasado se han ideado y modificado diversas técnicas que permiten hacer la estimación directa o indirecta del CMS en animales bajo pastoreo sobre las que se han publicado numerosas revisiones (Berrio y Correa 1992, Cordova et al 1978, Chávez et al 1981, Garrigus y Rusk 1939, Lippke 2002, Mejía 2002, Schneider y Flatt 1975). Todos los autores coinciden en que ningún método desarrollado hasta el presente cuantifica con exactitud el consumo de forraje por rumiantes bajo condiciones de pastoreo.

Entre los métodos indirectos para estimar este parámetro se encuentran aquellos que implican la estimación simultánea de la digestibilidad de la materia seca (DMS) y la producción de heces (H) (Bargo et al 2003, Mejía 2002, Schneider y Flatt 1975). Para estimar la DMS consumida por los animales se han propuesto diversas técnicas entre las que se encuentran aquellas basadas en marcadores internos (Khan et al 2003,

Rodríguez et al 2007), es decir, sustancias presentes de manera natural en el alimento tales como la lignina, los cromógenos vegetales, el sílice (Cordova et al 1978, Harris et al 1959, Lippke 2002), la lignina aislada y purificada (Rodríguez et al 2007) y las fibras en detergente neutro y ácido indigeribles (Berger et al 1979). La determinación de estos últimos marcadores se realiza luego de la incubación de las muestras por un determinado periodo de tiempo (normalmente 144 h) en condiciones *in vitro* (Sunvold y Cochran 1991) o *in situ* (Berchielli et al 1998).

Las H, por su parte, se pueden cuantificar directamente utilizando arneses dotados de bolsas colectoras (Holechek et al 1986, Zorrilla 1979) o se pueden estimar mediante el uso de marcadores externos (Schneider y Flatt 1975). Estos últimos comprenden un grupo de compuestos indigeribles entre los que se encuentran el cloruro de iterbio (Ramírez et al 1983), el óxido de hierro y el óxido de cromo (Cordova et al 1978, Harris et al 1959), siendo este último el marcador externo más utilizado para este fin (Mayes y Dove 2000, Rodríguez et al 2007). La capacidad de predicción de las H con los marcadores externos, sin embargo, depende del porcentaje de recuperación de estos en las heces (Mir et al 1989).

La información generada a partir de la estimación del CMS en vacas lactantes ha sido utilizada, a su vez, para generar modelos matemáticos que permiten estimar este parámetro de manera rápida y económica (Eastridge et al 1998, Ellis et al 2006, Roseler et al 1997). No obstante que el CMS está afectado por variables asociadas a la dieta y al ambiente (Faverdin et al 1995, NRC 2001), este se encuentra bajo el control del animal siendo precisamente sus demandas nutricionales y energéticas quienes en última instancia determinan el CMS y no al contrario (NRC 2001). De allí que algunas ecuaciones de predicción del CMS se basen exclusivamente en factores asociados al animal como la que utiliza el NRC para vacas lactantes (NRC 2001). Aunque la ecuación propuesta por el Sistema de Carbohidratos y Proteína Neta de Cornell (CNCPS) (Fox et al 2003) está basada en la ecuación del NRC (2001), la del CNCPS, sin embargo, incluye dos factores de ajuste ambientales, uno para la temperatura y otro para la cantidad de lodo en el suelo. Este último factor de ajuste desaparece en condiciones de pastoreo mientras que el de la temperatura ambiental se traduce en un valor constante (1.16) en latitudes como las del trópico alto colombiano en las que la temperatura ambiental no superan los 20°C como promedio diario (Espinal 1992). De

esta manera, la ecuación del CNCPS aplicable a las condiciones de trópico alto termina estando afectada exclusivamente por factores asociados al animal.

La finalidad de este trabajo fue, entonces, estimar el CMS de vacas Holstein lactantes bajo pastoreo, comparando la FDAi *in situ* (FDAiis) y la FDAi *in vitro* (FDAiiv) para estimar la DMS y utilizando el óxido de cromo para estimar las H. La estimación de este último parámetro fue comparada con la recolección total de heces mediante arneses. Así mismo, fue objetivo de este trabajo comparar el CMS estimado mediante el uso de los marcadores con los valores estimados por la ecuación del NRC (2001) y la del CNCPS (Fox et al 2003). Estos experimentos hacen parte del proyecto “Optimización en el manejo del pastoreo y de la suplementación alimenticia para el mejoramiento del contenido de proteína de la leche en sistemas especializados” financiado por COLCIENCIAS.

### **3.3. Materiales y Métodos.**

#### **3.3.1. Localización.**

El trabajo de campo se llevó a cabo en el Centro de Producción Paysandú de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, localizado en el corregimiento de Santa Elena (Medellín, Antioquia), a 2300 msnm, con una temperatura promedio de 16°C, perteneciente a una zona ecológica de bH – MB (Espinal 1992). En este Centro existe un programa de producción de leche con animales de la raza Holstein y sus cruces con animales de la raza Blanco Orejinegro-BON, distribuido en dos lotes denominados La Carmiña y El Establo. Cada uno de estos lotes dispone de potreros independientes constituidos principalmente por pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y están conformados por un número similar de vacas en ordeño.

#### **3.3.2. Animales experimentales.**

En cada uno de los dos lotes de vacas lactantes (La Carmiña y El Establo) se seleccionaron al azar dos animales Holstein adultos (> a 2 partos) que estuvieran en el primero (< 110 d), otros dos en el segundo (111 a 220 d) y otros dos en el tercer tercio de la lactancia (> a 221 d) para un total de seis vacas por cada experimento. Se tomó la información correspondiente al peso vivo (PV), el grado de condición corporal (GCC) (Wattiaux 2007), los días en lactancia (DEL) y la producción de leche de cada vaca (PDCCN).

### **3.3.3. Experimentos.**

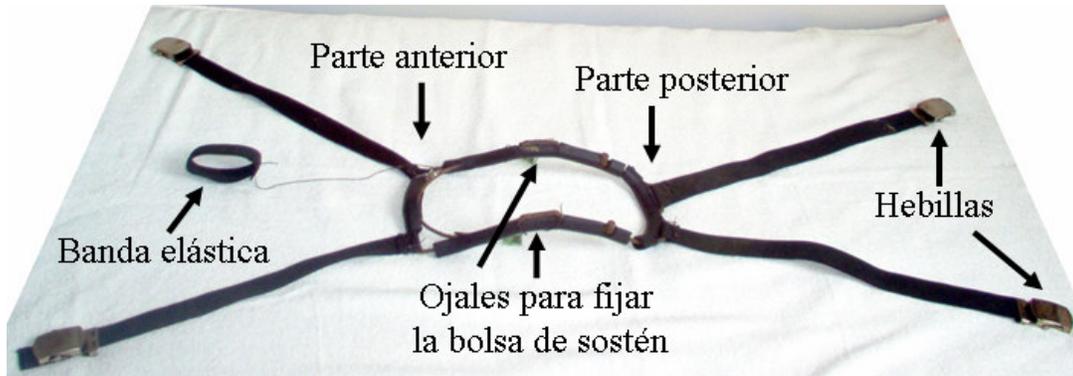
Se realizaron dos experimentos consecutivos, el primero en el mes de marzo de 2008 en el lote El Establo y el segundo, en el mes de abril de 2008 en el lote La Carmiña. En ambos experimentos se siguió la misma metodología consistente en el suministro de 15 g de de óxido de cromo a cada una de las vacas experimentales durante 14 días, los cuales se mezclaban con el suplemento alimenticio asignado a cada vaca durante el ordeño. Los dos últimos días del suministro del marcador se recolectaron muestras de heces (aproximadamente 40 g/muestra) cada seis horas para un total de ocho muestras, las cuales se congelaron hasta el final de los experimentos cuando se mezclaron para obtener una sola muestra por cada vaca (aproximadamente 320 g) que fue secada a 60°C por 72 h y conservadas hasta los análisis químicos. Así mismo, durante las últimas 48 h del periodo de suministro del marcador, se realizó la recolección total de las heces mediante el uso de arneses diseñados para este fin. Simultáneamente se tomaron muestras de la pastura y del suplemento alimenticio que se suministraba a las vacas las cuales se conservaron bajo refrigeración hasta el final de los experimentos y fueron posteriormente secadas a 60°C por 48 h hasta los análisis químicos. Finalmente, se tomaron muestras de leche (100 ml) que se mezclaron con bronopol (2-Bromo-2-nitro-1,3-propanediol) y se conservaron refrigeradas hasta los análisis correspondientes.

Durante los dos experimentos las vacas pastorearon praderas de kikuyo y fueron suplementadas con un alimento comercial en el Experimento 1 (ST72) y con dos alimentos comerciales en el Experimento 2 (F1 y ST72). El tipo y la cantidad de suplemento suministrado a cada animal variaron en función del nivel de producción de leche (Cuellar 1998).

### **3.3.4. Recolección total de heces.**

Para la recolección total de las heces se diseñó un arnés en varilla de hierro galvanizado de 1/8 de pulgada que se ajustaba de manera contorneada entre la vértebra sacra y la parte media del perineo. Este fue recubierto con un empaque de caucho para evitar laceraciones al contacto directo de la varilla con la piel de las vacas. En la parte anterior del arnés y mediante un cordel, se fijó una banda elástica que se colocaba alrededor de la base de la cola para ayudar a sostener las bolsas colectoras de heces. Tanto en el extremo anterior como en el posterior del arnés, se soldaron dos ojales metálicos de los

que se fijaron correas de poliéster que se ajustaban al tamaño de cada vaca mediante hebillas metálicas (véase la Imagen 3.1). Estas correas, a su vez, se fijaron a un cinturón colocado alrededor del tórax a la altura de la cruz. Dos ojales adicionales colocados en la parte media de cada lado del arnés, servían para fijar una bolsa en cuero sintético que se utilizó para sostener las bolsas plásticas removibles. Estas últimas consistieron en bolsas de polietileno transparente de 20 x 40 cm, calibre 4 (véase la Imagen 3.2).



**Imagen 3.1.** Arnés utilizado en la recolección total de heces.

Cada vez que las vacas excretaban, se removían las bolsas de polietileno y eran reemplazadas por bolsas limpias. Las bolsas con las excretas eran pesadas, descontándose el peso de la bolsa vacía, luego de lo cual se lavaban para ser reutilizadas. Además del arnés, a cada vaca se le colocó un lazo en el cuello para facilitar su captura y manipulación en los potreros (véase la Imagen 3.2).



**Imagen 3.2.** Vaca experimental portando el arnés para la recolección total de las heces y el lazo para su captura y manipulación en el potrero.

### **3.3.5. Determinación de la FDA<sub>iv</sub>.**

Se tomaron aproximadamente 0.5 g de las muestras del pasto, los dos suplementos alimenticios y las heces recolectadas en el experimento 2 y se sometieron a una prueba de digestibilidad *in vitro* durante 144 h por triplicado (Cochran et al 1986). Para ello se recolectaron 500 ml de líquido ruminal de una vaca Normando canulada en el rumen, los cuales fueron filtrados y recibidos en un termo a 37°C y gaseados con CO<sub>2</sub> para mantener las condiciones de anaerobiosis. Las muestras se colocaron en tubos de centrifuga de 100 ml a los que se les adicionaron 10 ml del fluido ruminal y 40 ml de una mezcla constituida por una solución de caseína, una de buffer y una de macrominerales (pH=6.9). Los tubos se gasearon con CO<sub>2</sub>, se sellaron con tapones de caucho provistos de válvulas de Bunsen y se incubaron por 144 horas a 39°C agitándolos periódicamente. Simultáneamente con las muestras problema se incubó un tubo de centrífuga que contenía solamente el inóculo el cual fue utilizado como blanco para corregir la digestibilidad de las muestras analizadas. Al finalizar el periodo de incubación, el contenido de los tubos se filtró al vacío y el residuo resultante se secó durante 24 horas a 100°C luego de lo cual se les analizó el contenido de fibra en detergente ácido (FDA) para determinar la FDA<sub>iv</sub>.

### **3.3.6. Determinación de la FDA<sub>is</sub>.**

Se tomaron aproximadamente 3.0 g de cada muestra de los pastos, suplementos alimenticios y heces de los dos experimentos y se empacaron por duplicado en bolsas de nilón de 5 x 12 cm las cuales se fijaron a una cadena de hierro galvanizado mediante cordeles de cáñamo de 10 cm de longitud. Las bolsas ya sujetas a la cadena se remojaron tres veces en un balde con agua limpia y luego se introdujeron hasta el fondo del rumen de una vaca Holstein canulada donde permanecieron durante 144 h al final de las cuales las bolsas fueron retiradas y se lavaron con agua de grifo hasta que esta salió limpia. Las bolsas se secaron a 60°C durante 24 h, se retiraron los residuos correspondientes a las repeticiones de cada muestra, se mezclaron y se conservaron hasta la realización del análisis de la FDA<sub>i</sub>.

### **3.3.7. Análisis químicos.**

En una muestra de óxido de cromo y en las muestras de heces se determinó el contenido de materia seca (MS) y cromo (Cr) mientras que en las muestras de forraje y del suplemento alimenticio se determinó el contenido de proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y cenizas (Cen) mediante los procedimientos descritos por la AOAC (2005). El contenido de fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA) y lignina (Lig) se determinaron por los procedimientos descritos por Van Soest y Robertson (1985). En los residuos de la FDN y FDA se determinó el contenido de proteína para obtener la proteína cruda insoluble en detergente neutro (PCIDN) y la proteína cruda insoluble en detergente ácido (PCIDA), respectivamente. Por diferencia se estimó el contenido de carbohidratos no estructurales (CNE) (NRC 2001). Adicionalmente, en las muestras de los suplementos alimenticios se determinó el contenido de almidones por el método polarimétrico (Southgate 1969). En las muestras de leche se determinó el contenido de grasa y proteína por ultrasonido (MILKOSCAN<sup>®</sup> FT 120, UK), mientras que en los residuos de la incubación *in situ* de los dos experimentos se determinó el contenido de MS y de FDA.

### 3.3.8. Estimación de las heces producidas.

La producción de heces (H) se calculó de la siguiente manera (Lippke 2002):

$H, g = (g \text{ de Cr en el alimento}) \times (\text{tasa de recuperación del Cr en las heces}) / (\% \text{ de Cr en las heces}).$

La tasa de recuperación del Cr en las heces se calculó así:

Tasa de recuperación del Cr en las heces =  $(g \text{ de Cr en las heces} \times 100) / g \text{ de Cr en el alimento}.$

### 3.3.9. Estimación de la digestibilidad de la MS.

La DMS a partir de los marcadores internos se calculó así:

$DMS = 100 - 100 \times (\% \text{ de marcador en la MS del alimento}) \times (\text{tasa de recuperación del marcador en las heces}) / (\% \text{ del marcador en la MS de las heces}).$

Se asumió que la tasa de recuperación de la FDAi<sub>is</sub> en las heces fue del 80% (Sunvold y Cochran 1991).

### 3.3.10. Estimación del consumo de materia seca del forraje (CMSf).

Para estimar el CMS proveniente del forraje (CMSf) se utilizó la ecuación propuesta por Carulla (comunicación personal) utilizando los datos de las H estimadas con Cr corregido por el porcentaje de recuperación en las heces y los de la FDAi obtenidas por el método *in situ* (FDAi<sub>is</sub>):

$$CMSf_{kg/vaca/d} = ([FDAih] * H / 0.8 - [FDAis] * CMSs) / [FDAif]$$

donde FDAih es el porcentaje de FDAi en las heces, 0.8 es la recuperación de la FDAi en las heces, FDAis es el porcentaje de FDAi en el suplemento y FDAif es el porcentaje de FDAi en el forraje.

El CMSf también se expresó como porcentaje del PV de las vacas.

El CMS total (CMSt) se calculó como la suma del CMSf y el CMS del suplemento (CMSs):

$$\text{CMSt} = \text{CMSf} + \text{CMSs}$$

Así mismo, se utilizó la ecuación propuesta por el NRC (2001) para estimar el CMS en vacas lactantes:

$$\text{CMS} = (((\text{PV}^{0.75}) * 0.0968) + (0.372 * \text{LCG}) - 0.293) * \text{Lag}$$

$$\text{LCG} = (0.4 * \text{Prod}) + (15 * (\text{G\%/100}) * \text{PDCCN})$$

$$\text{Lag} = 1 - \exp(-0.192 * (\text{SEL} + 2.36))$$

donde PV = peso vivo; LCG = leche corregida por el contenido de grasa; Lag = corrección en el CMS debido a los días en lactancia; PDCCN = producción de leche; G% = porcentaje de grasa en la leche y SEL = semanas en lactancia.

La ecuación propuesta por el CNCPS (Fox et al 1992) y que fue posteriormente modificada por Fox et al (2003) es la siguiente:

$$\text{CMS} = ((0.0185 * \text{PV} + 0.305 * \text{LCG} * \text{TEMP1} * \text{LOD1}) * \text{Lag}$$

$$\text{Lag} = 1 - \exp(-(0.564 - 0.124 * \text{PKMK}) * (\text{SEL} + 2.36)),$$

donde PV, LCG y SEL ya fueron definidas; TEMPM1 = 1.16 para temperaturas inferiores a 20°C; LOD1 = 1 - 0.01\*(profundidad del lodo en el suelo, cm) y PKMK = mes en el que se presenta el pico de lactancia.

### **3.3.11. Análisis estadísticos.**

Se adelantó un análisis de estadística descriptiva para la caracterización de los animales experimentales y la producción total de heces con los arneses. Mediante una prueba de T se evaluó el efecto del experimento sobre la concentración y el porcentaje de recuperación de Cr en las heces.

Mediante pruebas de T con datos pareados, se compararon la producción de heces estimada con el óxido de cromo sin corregir por su porcentaje de recuperación y la cantidad de heces obtenidas con los arneses; el contenido de FDAiiv y FDAiis en las muestras; la DMS estimada con la FDAiiv y con la FDAiis y los CMS estimados con la FDAiiv y con la FDAiis.

Los CMS estimados con las ecuaciones del NRC (2001) y del CNCPS (Fox et al 2003) fueron comparados con los CMS estimados con la FDAiis (se tomó como control) mediante un ANAVA y mediante el análisis del Cuadrado Medio del Error de Predicción (CMEP) de cada ecuación. Para este último análisis inicialmente se calcularon las dos ecuaciones de regresión entre los valores de CMS hallados con la FDAiis (variable dependiente) y los valores estimados con las ecuaciones del NRC (2001) y CNCPS (Fox et al 2003) (variables independientes). Debido a que los datos provenían de dos experimentos, las ecuaciones de regresión no fueron calculadas con el PROC REG si no con el PROC MIXED (SAS 1999) de acuerdo al procedimiento descrito por St-Pierre (2001) y modificado por el mismo autor (Comunicación personal 2008) (véase el Anexo 1). A continuación, se calculó el CMEP (Eastridge et al 1998) para cada ecuación así:

$$\text{CMEP} = (A - P)^2 + \text{SP}^2(1 - b) + \text{SA}^2(1 - R^2),$$

donde A = CMS calculada con la FDAiis, P = CMS estimada con la ecuación,  $\text{SP}^2$  = varianza del CMS estimada con la ecuación, b = pendiente de la regresión de A sobre P,  $\text{SA}^2$  = varianza del CMS calculada con la FDAiis, y  $R^2$  = coeficiente de determinación de la regresión de A sobre P.

Se analizaron independientemente los efectos del sesgo medio  $((A - P)^2)$ , el sesgo lineal  $(\text{SP}^2(1 - b))$  y el sesgo aleatorio  $(\text{SA}^2(1 - R^2))$  del CMEP (Agnew y Yan 2000).

Así mismo, se calculó el error medio de predicción (EMP) ( $\text{EMP} = \text{raíz cuadrada del CMEP}$ ) y el error relativo de predicción (ERP) ( $\text{ERP} = (\text{EMP}/\text{MSC real}) \times 100$ ) (Eastridge et al 1998).

### 3.4. Resultados y Discusión.

#### 3.4.1. Animales experimentales.

En la Tabla 3.1 se presentan las características de las vacas que fueron utilizados en los dos experimentos. Allí se puede apreciar que, en general, el nivel de producción de leche fue alto en ambos experimentos superando el promedio reportado por González y Correa (2007) en vacas Holstein de Antioquia. Esto se debe a que las vacas Holstein del Centro Paysandú, han sido sometidas a un riguroso programa de mejoramiento genético durante más de cuatro décadas mostrando ganancias fenotípicas promedio de 111.8 kg/vaca/año (Quijano 1998). Las vacas del Experimento 1 presentaron una mayor producción de leche asociada a un menor promedio de días en lactancia, un menor número de partos, una mejor calidad de las praderas y una mayor suplementación alimenticia. Por la misma razón, el contenido promedio de proteína y grasa en la leche fue menor. La relación leche : concentrado, sin embargo, fue mayor en las vacas del Experimento 1 indicando que una mayor proporción de la producción de leche se basó en la movilización de tejidos como lo indica el menor GCC observado en estas vacas.

**Tabla 3.1.** Características de los animales utilizados en los dos experimentos.

<b>Variables</b>	<b>Experimento 1*</b>	<b>Experimento 2</b>
Producción de leche, kg/vaca/d	25.2 ± 4.5	21.0 ± 5.7
Proteína en la leche, %	2.66 ± 0.25	2.88 ± 0.32
Grasa en la leche, %	3.58 ± 0.92	3.87 ± 0.73
No. de Partos	3.5 ± 1.2	4.3 ± 1.9
Días en Lactancia	157.3 ± 85.4	182.7 ± 76.3
Peso vivo, kg	589.0 ± 44.2	623.7 ± 73.3
Grado de Condición Corporal	2.5 ± 0.1	2.7 ± 0.3
Consumo de suplemento, kg/vaca/d	5.9 ± 2.4	5.3 ± 1.9
Leche : suplemento, kg:kg	4.86 ± 0.90	4.02 ± 0.31

\* Promedio ± D. E.

#### 3.4.2. Composición química de las praderas y los suplementos alimenticios.

La composición química de las praderas utilizadas en los dos experimentos (véase la Tabla 3.2) se encuentra dentro de los valores reportados para el pasto kikuyo en Colombia (Correa et al 2008). Estos valores, sin embargo, muestran diferencias entre los experimentos que son reflejo de las diferencias en el manejo a que son sometidas las praderas asignadas a los dos lotes de vacas en lactancia en el Centro Paysandú. Las praderas utilizadas en el Experimento 1 (lote El Establo) presentaron un contenido más

alto de PC y menos marcado de PCIDN, PCIDA y CNE que las praderas utilizadas en el Experimento 2 (lote La Carmiña). Esto también habría incidido en las diferencias en las características productivas de las vacas experimentales utilizadas en los dos experimentos (véase Tabla 3.1).

**Tabla 3.2.** Composición química de la pradera suministrada a las vacas experimentales en los dos experimentos.

Fracción Química, % de la MS	Experimentos	
	1	2
PC	23.5	16.39
PCIDN	7.7	6.4
PCIDA	3.0	1.3
FDN	57.6	64.5
FDA	31.2	30.6
EE	2.6	2.6
Cen	9.4	9.4
Lignina	3.5	5.4
CNE <sup>1</sup>	14.6	13.5

$$^1 \text{CNE} = 100 - (\text{PC} + \text{FDN} + \text{Cen} + \text{EE}) + \text{PCIDN}$$

Los suplementos alimenticios utilizados en los dos experimentos muestran, igualmente, una variación en su composición química, destacándose el alto contenido de PC en el suplemento ST72 utilizado en el Experimento 1 frente al mismo suplemento utilizado posteriormente en el Experimento 2 (véase la Tabla 3.3). Se observa igualmente una diferencia muy marcada en el contenido de CNE en el mismo tipo de suplemento utilizado en los dos experimentos reflejando la falta de uniformidad en la calidad nutricional de este tipo de suplementos comerciales. El suplemento ST72 utilizado en el Experimento 1, aunque presenta un alto contenido de CNE, no logra compensar la deficiencia mostrada en esta fracción por las praderas utilizadas en este experimento. Lo mismo podría afirmarse para el suplemento ST72 y F1 utilizados en el Experimento 2, no obstante su mayor contenido de CNE. El NRC (2001) recomienda que el contenido de CNE en la dieta para vacas lactantes se encuentre entre 36 y 44% de la MS mientras que el contenido de PC no debería superar el 17% de la MS para vacas con las características de las utilizadas en los dos experimentos. Estos datos confirman la necesidad de ajustar la composición nutricional de los suplementos alimenticios a la calidad nutricional de las praderas y a las demandas nutricionales de las vacas que se explotan en los sistemas de producción de leche en el país (Correa et al 2008).

**Tabla 3.3.** Composición química de los suplementos alimenticios suministrados a las vacas experimentales en los dos experimentos.

Fracción Química, % de la MS	Experimentos		
	1	2	
	Suplemento alimenticio		
	ST72	F1	ST72
PC	19.9	15.84	16.28
PCIDN	3.1	2.3	2.7
PCIDA	1.0	0.7	2.4
FDN	38.1	22.3	31.0
FDA	15.8	10.6	12.6
EE	8.8	8.3	6.5
Cen	7.5	6.5	6.2
Almidones	22.8	24.4	17.9
CNE <sup>1</sup>	28.8	49.6	42.7
Lignina	5.1	4.3	4.9

<sup>1</sup>CNE = 100 – (PC + FDN + Cen + EE) + PCIDN

### 3.4.3. Recolección de heces.

La recolección total de heces en animales bajo pastoreo es una técnica que demanda tiempo y mano de obra resultando más compleja que en animales bajo estabulación o en jaulas metabólicas (Cordova et al 1978, Mejía 2002, Schneider y Flatt 1975). Esta técnica se complica más aún cuando se trabaja con vacas debido a la dificultad que entraña la necesidad de separar la orina de las heces, aspectos que se tuvieron en cuenta en el diseño y la fabricación de los arneses (véase la Figura 3.1).

Debido a las dificultades que entraña la recolección total de heces con vacas lactantes en condiciones de pastoreo, el tiempo de recolección es más limitado que el dedicado a la recolección de heces en estabulación. En este trabajo este tiempo se limitó a 48 horas cuando algunos autores recomiendan entre cuatro (Holechek et al 1986) y cinco días de recolección continua (Le Du y Penning 1982) en condiciones de estabulación. Otros autores, incluso, reportan periodos de recolección más prolongados como el utilizado por Phar et al (1970) de siete días y por Fadel et al (2007) de ocho días. Un menor tiempo de recolección, como el utilizado en los experimentos realizados en el presente trabajo, podría afectar la estimación de la recuperación del marcador en las heces. Sin embargo, como se discute más adelante, el periodo de tiempo utilizado en este trabajo

no afectó esta variable y pareciera ser más importante para este fin, el número y la frecuencia de la toma de muestras durante el día, que el número de días de recolección.

La Tabla 3.4 indica que el número de excreciones producidas por las vacas experimentales osciló entre  $15.8 \pm 2.56$  y  $20.1 \pm 3.78$  veces al día, para los Experimentos 1 y 2, respectivamente. Esto da una idea del trabajo que implica recolectar y reemplazar las bolsas bajo condiciones de pastoreo, tarea que se complica aún más cuando se trabaja simultáneamente con seis vacas y en condiciones climáticas desfavorables ya que en la época en la que se ejecutaron los trabajos hubo una alta precipitación.

**Tabla 3.4.** Características de las heces recolectadas con los arneses.

Variables	Experimentos	
	1	2
No. excretas/d	$15.8 \pm 2.56$	$20.1 \pm 3.78$
Peso promedio, kg de MV	$3.33 \pm 1.31$	$3.14 \pm 1.41$
Peso máximo, kg de MV	7.93	8.79
Peso mínimo, kg de MV	1.02	0.45
MS, %	$9.3 \pm 1.12$	$8.85 \pm 0.85$

El peso de las excretas fue muy variable encontrándose valores desde 0.45 hasta 8.79 kg/excreta, dificultando, en el último caso su manipulación y pesaje. El contenido de MS de las heces fue bajo encontrándose valores desde 7.6 hasta 10.5%, haciendo de estas, unas heces muy líquidas y difíciles de manipular en las bolsas. Contenidos similares de MS en las heces ( $8.9 \pm 0.8\%$ ) fueron previamente reportadas por Saldarriaga y Soto (2004) trabajando con vacas Holstein en estabulación.

#### **3.4.4. Porcentaje de recuperación del Cr en las heces.**

El porcentaje promedio de recuperación del Cr en las heces en los dos experimentos fue 79.4% sin que hubiesen diferencias entre los dos experimentos (véase la Tabla 3.5) y mostrando, además, un bajo C. V. El porcentaje de recuperación del Cr se encuentra dentro del rango reportado por Mir et al (1989). Otros autores han reportado porcentajes de recuperación más altos que el encontrado en este trabajo. Así, Oliveira et al (2007) reportaron un promedio de 89.1% trabajando con novillos Holstein x Gir en tanto que Phar et al (1970) hallaron porcentajes de recuperación de este marcador entre 85.7 y

95.7%. Otros autores han reportado porcentajes de recuperación superiores al 100% como es el caso de Kozloski et al (1998) quienes encontraron un valor de 114.2%.

La recuperación de este marcador en las heces puede verse afectada por el nivel de consumo del suplemento que contiene el marcador ya que un consumo menor al asumido implica, por la misma razón, un menor consumo del marcador aunque el cálculo de recuperación se realiza con el valor asumido. Otros factores pueden afectar igualmente el porcentaje de recuperación como lo es la acumulación temporal del marcador en algunas partes del tracto digestivo y su desplazamiento independiente de las partículas no digeridas (Kameoka et al 1956) determinando, de esta manera, patrones de excreción durante el día como han sido reportados por Hopper et al (1978) y Phar et al (1970). Estos autores encontraron que la excreción del Cr en las heces presenta un patrón diurno con momentos en los que la concentración del marcador en las heces es mayor y otros donde es menor. De allí la necesidad de establecer un patrón de muestreo en el que se recojan muestras que contengan baja y alta concentración del marcador minimizando la variabilidad y mejorando la estimación en el porcentaje de recuperación. Tal pareciera haber sido el efecto del patrón de muestreo establecido en el presente trabajo como lo muestra la baja variación en la concentración del Cr en las heces (véase la Tabla 3.5). Estos resultados sugieren que la variación en la concentración del Cr en las heces, parece depender más de la frecuencia que de la duración del periodo de muestreo.

**Tabla 3.5.** Concentración y porcentaje de recuperación de Cr en las heces en los dos experimentos.

	<b>Recuperación, % del Cr suministrado</b>	<b>Concentración del Cr en las heces, % de la MS</b>
Experimento 1	76.6 ± 4.62	0.278 ± 0.033
Experimento 2	81.8 ± 11.3	0.266 ± 0.042
Promedio	79.4 ± 8.92	0.272 ± 0.037
EEM	8.9	0.0383
C. V.	11.23	14.09
<i>p</i>	0.36	0.63

Oliveira et al (2007) al recolectar muestras de heces dos veces diarias durante cinco días, hallaron un C. V. calculado de 14.77% en la concentración de Cr en las heces

mientras que Malossini et al (1996) encontrando una variación del 21.75% en el contenido de Cr en las heces al recolectar las muestras de heces una hora antes y un hora después de cada ordeño durante cinco días. Kozloski et al (1998), por su parte, recolectaron las muestras de heces cada tres horas durante tres días encontrando que la variación en el contenido de Cr en las heces fue de 14.47%. En el presente trabajo, no obstante que el periodo de recolección fue de solo dos días, el C. V. en la concentración de Cr en las heces fue 14.09% (véase la Tabla 3.5), más bajo que los trabajos mencionados cuyos periodos de recuperación fueron más prolongados.

#### **3.4.5. Recolección total y estimación de la producción de heces.**

La producción de heces estimada con el Cr sin corregir por el porcentaje de recuperación en las heces, sobreestimó en 26.8% la producción total de heces obtenida mediante las bolsas colectoras (véase la Tabla 3.6) lo que pone de manifiesto la magnitud del error en la estimación del CMS cuando este tipo de fuentes de error no se corrigen (Malossini et al 1996). Al realizar la corrección por el porcentaje de recuperación en las heces, la producción heces fue correctamente estimada con este marcador (véase la Tabla 3.6).

#### **3.4.6. Determinación de la FDAi por los métodos *in situ* e *in vitro*.**

El uso de la FDAi como marcador para estimar la digestibilidad de la MS en rumiantes, ha sufrido modificaciones desde sus orígenes. En un principio consistió en incubar las muestras del forraje, del suplemento alimenticio y de las heces bajo condiciones *in vitro* con inóculo ruminal durante 96 h seguida por una incubación durante 48 h en HCl-pepsina (Berger et al 1979). Waller et al (1980) modificaron la técnica al proponer una incubación por 16 h en HCl-pepsina antes de la incubación *in vitro* por 96 h con inóculo ruminal. Nelson et al (1990), por su parte, hicieron de esta una técnica costosa y dispendiosa al proponer tres incubaciones secuenciales: partieron de una incubación *in vitro* por 48 h seguida por una incubación en HCl-pepsina por 24 h finalizando con otra incubación *in vitro* por 96 h. Cochran et al (1986) simplificaron el procedimiento realizando una sola incubación *in vitro* por 96 h mientras que Sunvold y Cochran (1991) prolongaron la única incubación *in vitro* por 144 h. Berchielli et al (1998) modificaron la técnica al realizar incubaciones *in situ* por 144 h mientras que Zeoula et al (2002) propusieron una incubación *in situ* por 192 h y Oliveira et al 2008 una incubación por 264 h. Berchielli et al (2000), establecieron que la FDAi determinada por la técnica *in*

*situ* con un periodo de incubación de 144 h estima la DMS de manera similar a la calculada mediante la recolección total de heces y, por lo tanto, lo consideraron un buen predictor para estimar el CMS.

**Tabla 3.6.** Recolección total y estimación de la producción de heces con el óxido de cromo sin y con la corrección por el porcentaje de recuperación.

<b>Variables</b>	<b>Valores</b>
Recolección total de heces, kg de MS/vaca/d	5.27 ± 0.62a
Estimación de producción de heces, kg de MS/vaca/d	
Con Cr sin corregir por el porcentaje de recuperación	6.68 ± 0.93b
Con Cr corregido por el porcentaje de recuperación	5.31 ± 0.74a
EEM	0.778
<i>p</i>	< 0.0001

En el presente trabajo las muestras de las praderas, los suplementos alimenticios y las heces se incubaron mediante las técnicas *in vitro* e *in situ* durante 144 h para estimar el contenido de FDAi. En la Tabla 3.7 se muestra el promedio del contenido de FDAi en las muestras analizadas mediante la técnica *in situ* e *in vitro*.

Como se puede apreciar, no se encontraron diferencias significativas entre los dos métodos utilizados para estimar el contenido de FDAi coincidiendo con los resultados de Freitas et al (2002) quienes tampoco encontraron diferencias en el contenido de este marcador estimado mediante los dos métodos. Berchielli et al (2005), por el contrario, encontraron diferencias significativas entre los dos métodos en el contenido de este marcador en tres forrajes lo que podría ser debido a diferencias entre las técnicas. Así, es de esperarse que con la técnica *in situ*, una parte del material más fino que es empacado en las bolsas de nilón, se pierda de estas bolsas al inicio de la incubación sin que necesariamente sea digerible, aunque se asume que es completamente digerido. En la técnica *in vitro*, por el contrario, todo el material incubado está expuesto a los procesos de fermentación microbiana durante todo el período de incubación con lo que el material que no es digerido queda como un residuo que es cuantificado como tal. Por esta razón podría esperarse que la estimación del material no digerido sea mayor mediante la técnica *in vitro* que mediante la técnica *in situ* (Arreaza et al 2005). Otras fuentes de variación entre las dos técnicas son aquellas asociadas a las características

del fluido ruminal utilizado en las técnicas *in vitro* y a las condiciones de anaerobiosis, pH y temperatura a la que son mantenidos los tubos de fermentación (Adesogan 2002).

**Tabla 3.7.** Comparación en el contenido de FDAi promedio (% de la MS) de las muestras de alimentos y heces determinado por el método *in vitro* e *in situ*.

Variables	Promedio $\pm$ D. E.
FDAi <i>in vitro</i>	13.75 $\pm$ 6.57
FDAi <i>in situ</i>	12.22 $\pm$ 5.47
EEdM*	2.13
<i>p</i>	0.198

\*Error Estándar de la diferencia de Medias

### 3.4.7. Estimación de la DMS.

Aunque la precisión y la exactitud en la estimación de la DMS a partir de los marcadores internos, al igual que la estimación de las H con los marcadores externos, depende de su porcentaje de recuperación en las heces (Sunvold y Cochran 1991, Zeoula et al 2002), en estos experimentos este valor no fue establecido debido a que la metodología utilizada no lo permitía. La estimación de este parámetro solo es posible en condiciones de estabulación donde es factible cuantificar el CMS directamente. De allí que en este trabajo se halla tomado el valor máximo hallado por Sunvold y Cochran (1991) (80%) para calcular la DMS y el CMSf a partir de la FDAi<sub>is</sub> y la FDAi<sub>iv</sub>. En la Tabla 3.8 se aprecian los resultados obtenidos con estos marcadores donde se aprecia una diferencia estadística entre los dos métodos ( $p < 0.053$ ). Berchielli et al (2005) también reportaron diferencias estadísticas en la DMS de dos forrajes al utilizar los dos métodos para determinar la FDAi. En ambos casos, la DMS fue más alta con la FDAi<sub>iv</sub> que con la FDAi<sub>is</sub>. Con un tercer forraje no hallaron diferencias entre los métodos.

Los resultados obtenidos con el uso de la FDAi para estimar la DMS de la dieta han sido muy variables. Es así como Judkin et al (1990) evaluando la DMS de seis dietas mediante 11 marcadores internos, incluida la FDAi<sub>iv</sub>, encontraron que ningún marcador permitió predecir este parámetro de manera confiable en todas las dietas. Sunvold y Cochran (1991) indican que la aplicación de un tratamiento con HCl-pepsina a las muestras antes de la incubación, podría mejorar la capacidad de estimación de DMS con la FDAi. Berchielli et al (2000), por su parte, evaluaron cuatro indicadores internos para

estimar la DMS encontrando que tanto la FDAi como la FDN indigerible y la lignina, permitieron estimar este parámetro con suficiente confiabilidad. Resultados similares fueron reportados por Cochran et al (1986) al evaluar los mismos marcadores.

**Tabla 3.8.** DMS de la dieta estimada a partir de la FDAi<sub>v</sub> y la FDAi<sub>s</sub> corregidas por el porcentaje de recuperación en las heces.

<b>Variables</b>	<b>Promedio ± D. E.</b>
DMS con FDAi <sub>v</sub>	65.1 ± 7.77
DMS con FDAi <sub>s</sub>	70.3 ± 4.48
EEdM	2.70
<i>p</i>	0.052

#### **3.4.8. CMS del forraje (CMSf) estimada con la FDAi<sub>s</sub> y la FDAi<sub>v</sub>.**

En la Tabla 3.9 se muestra que el CMSf estimado con la FDAi<sub>v</sub> fue menor a la estimada con la FDAi<sub>s</sub> ( $p < 0.064$ ). El consumo voluntario de materia seca bajo condiciones de pastoreo, ha sido identificado como el componente más limitante para la producción de leche (Kolver 2003, Bargo 2002, Bargo et al 2003, Taweel 2006). Los datos reportados por Correa et al (2008) para el pasto kikuyo en el departamento de Antioquia en vacas Holstein bajo condiciones de estabulación, sin embargo, sugieren que esta gramínea no presenta limitaciones para el consumo como ha sido sugerido por otros autores (Dugmore 1998, Marais 2001, Miles et al 2000). Los resultados mostrados en la Tabla 3.9 para el CMSf estimado con la FDAi<sub>s</sub> parecen corroborar esta idea toda vez que el promedio hallado se encuentra dentro del rango reportado por Correa et al (2008) para el pasto kikuyo en el departamento de Antioquia. Los datos reportados por Escobar y Carulla (2003) en praderas de kikuyo y rye grass en la Sabana de Bogotá indican que el CMS a partir de estas praderas puede llegar hasta los 23.47 kg de MS/vaca/día. Más recientemente, León et al (2007) reportaron un CMS de pasto kikuyo en la Sabana de Bogotá de 18,2 Kg MS/d. Es necesario tener en cuenta, sin embargo, que en estos dos últimos trabajos no se estimó el porcentaje de recuperación de los dos marcadores en las heces, la FDAi y el Cr, lo que podría explicar que dichos promedios sean más altos que los hallados en este trabajo.

**Tabla 3.9.** CMS del forraje estimada a partir de la FDAiiv y la FDAiis corregidas por el porcentaje de recuperación en las heces.

<b>Variables</b>	<b>Promedio ± D. E. Kg/vaca/d</b>	<b>Promedio ± D. E. % del PV</b>
CMS con FDAiiv	11.00 ± 2.98	1.82 ± 0.57
CMS con FDAiis	13.61 ± 3.74	2.25 ± 0.685
EEdM	1.44	0.267
<i>p</i>	0.063	0.069

### **3.4.9. Comparación en la estimación del CMS utilizando la FDAiis como marcador interno con las ecuaciones del NRC (2001) y del SCPNS (Fox et al 2003).**

La estimación del CMS en vacas en pastoreo es más difícil y menos segura que la estimación con animales estabulados (Bargo 2002). Los resultados obtenidos en este trabajo así lo confirman. En la Tabla 3.10 se presentan los resultados de la comparación en la estimación del CMS realizada con el método de los marcadores (FDAiis y óxido de cromo) y con las ecuaciones del NRC (2001) y del CNCPS (Fox et al 2003). Aunque el análisis de varianza no reveló diferencias estadísticas entre los tres procedimientos ( $p > 0.89$ ), un análisis más adecuado muestra un panorama diferente (véase la Tabla 3.11).

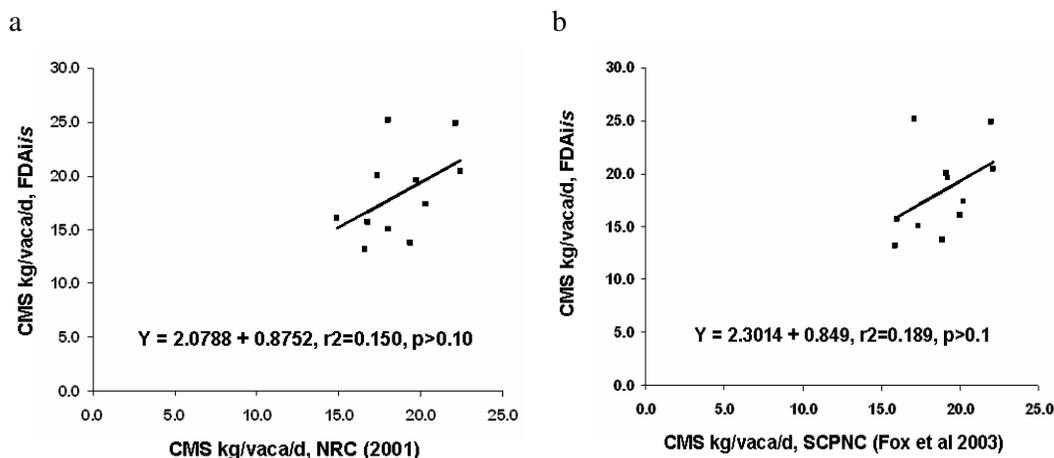
Mientras que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la regresión entre el CMS estimado con los marcadores y cada una de las ecuaciones fue bajo (véase las Imágenes 3.1a y 3.1b), el CMEP fue alto en ambas regresiones (véase la Tabla 3.11) indicando una baja capacidad de predicción del CMS por parte de las ecuaciones del NRC (2001) y del CNCPS (Fox et al 2003). Roseler et al (1997) encontraron valores del CMEP incluso más altos que los reportados aquí al evaluar la capacidad de estimación del CMS de vacas en estabulación utilizando la ecuación propuesta por Weiis (1991) ( $\text{CMEP} = 74.1 \text{ (kg/d)}^2$ ) y por Kertz et al (1991) ( $\text{CMEP} = 60.8 \text{ (kg/d)}^2$ ). Otros autores, por el contrario, han encontrado valores más bajos del CMEP y más altos de  $R^2$  en la evaluación de ecuaciones de predicción del CMS. Así, Fuentes-Pila et al (2003) evaluando seis ecuaciones, incluida la del NRC (2001), encontraron que el  $R^2$  osciló entre 0.636 y 0.807 mientras que el CMEP osciló entre 1.25 y 13.58  $\text{(kg/d)}^2$ . Eastridge et al (1997), por su parte, evaluaron cinco ecuaciones incluidas las del NRC (2001) y la ecuación del CNCPS (Barry et al 1994) encontrando que el CMEP osciló entre 13.3 y 15.4  $\text{(kg/d)}^2$ . Ellis et al (2006) evaluaron tres ecuaciones incluidas la del NRC (2001) y

la del CNCPS (Fox et al 2003) encontraron que el CMEP para la primera fue de 3.62 (kg/d)<sup>2</sup> y para la segunda fue de 6.38 (kg/d)<sup>2</sup>.

**Tabla 3.10.** Estimación del consumo de materia seca (CMS) (Kg/vaca/d) en las vacas experimentales utilizando marcadores y con la ecuación del NRC (2001) y con la ecuación del CNCPS (Fox et al 2003).

<b>Estimador</b>	<b>Promedio ± D. E.</b>
CMS con FDAiis	18.3 ± 4.12
NRC	18.7 ± 2.35
CNCPS	18.8 ± 2.14
EEM	3.008
<i>p</i>	0.89

Una diferencia muy importante existe, sin embargo, entre los datos utilizados por estos autores para evaluar las ecuaciones y los datos de este trabajo que podrían explicar estas diferencias. Así, mientras los datos utilizados por Eastridge et al (1997), Ellis et al (2006) y por Fuentes-Pila et al (2003) provenían de experimentos realizados con animales estabulados y consumiendo raciones completamente mezcladas donde el CMS se calculó directamente, los datos utilizados en este trabajo son de animales en pastoreo donde el CMS se estimó con marcadores. Por otro lado, las ecuaciones del NRC (2001) y del CNCPS (Fox et al 2003), fueron desarrolladas teniendo en cuenta únicamente características del animal basándose en datos obtenidos con animales en estabulación. La predicción del CMS de vacas en pastoreo, sin embargo, exige la inclusión de características de las praderas como son la oferta forrajera, disponibilidad de forraje por área, altura de la pradera, contenido y digestibilidad de la materia orgánica de la pradera (Caird y Holmes 1986), FDN en la pastura ofrecida, FDN en la pastura consumida y porcentaje de leguminosas en la pastura (Vázquez y Smith 2000), haciendo más compleja y exigente la información necesaria para estimar el CMS en vacas en pastoreo mediante ecuaciones de regresión. Esto hace que la comparación entre los valores estimados con las ecuaciones del NRC (2001) y CNCPS (Fox et al 2003) con los hallado experimentalmente bajo pastoreo sea difícil.



**Figura 3.1.** Ecuaciones de regresión entre el CMS estimado con la ecuación del NRC (2001) (a) y la del CNCPS (Fox et al 2003).

El CMEP está constituido por tres componentes (Agnew y Yan 2000, Eastridge et al 1997): el sesgo medio, el sesgo lineal y el sesgo aleatorio. En un proceso de validación de una ecuación de regresión con datos independientes, como es este caso, el sesgo medio es un indicador de la robustez de la ecuación mientras que el sesgo lineal se utiliza para evaluar la presencia de problema estructurales en la ecuación (Fuentes-Pila et al 2003, Shah y Murphy 2006). En el presente trabajo, aunque el sesgo lineal de ambas ecuaciones fue el más alto, los otros dos sesgos presentaron igualmente valores altos indicando serios problemas de predicción del CMS.

**Tabla 3.11.** Comparación de la estimación del CMS calculado a partir del FDAiis y los valores estimados con la ecuación del NRC (2001) y la del CNCPS (Fox et al 2003).

Ecuación	R <sup>2</sup>	CMEP, (kg/d) <sup>2</sup>	CMEP			EMP <sup>2</sup> , kg/d	ERP <sup>3</sup> , %	Dif., kg/d
			Medio	Lineal	Aleatorio			
NRC	0.150	44.0	12.1	18.8	13.1	6.56	37.3	0.377
CNCPS	0.189	42.4	12.7	15.4	12.2	6.40	36.2	0.602

### 3.5. Conclusiones.

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que cuando se trabaja con marcadores indigeribles es necesario calcular el porcentaje de recuperación de los mismos en las heces con la finalidad de reducir el error en la estimación de la DMS y de las H y, por lo tanto, del CMS de vacas en pastoreo. El uso de ecuaciones de regresión basadas en

características del animal para predecir el CMS en vacas bajo pastoreo, puede conducir a errores de estimación debido a que no consideran factores asociados a la pradera.

### **Agradecimientos.**

A Lina de los Ríos, Natalia Vélez Marín, Juan David Garcés, Alejandro Montoya, Sebastián Benítez y Julián Salazar L., estudiantes de Zootecnia de la Universidad Nacional, sede Medellín; César David Orrego W., Ingeniero Agropecuario del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid; Felipe Orrego W., estudiante de Zootecnia de la Universidad de Antioquia; Maria Victoria Galeano C., estudiante de Ingeniería Biológica de la Universidad de Antioquia; y a Carlos Andrés Galeano C., estudiante de Tecnología de la Producción del Instituto Tecnológico Metropolitano, por su colaboración en las jornadas de recolección total de heces; a Maria Mercedes Knowles, estudiante de Maestría en Producción Animal de la Universidad Nacional, sede Bogotá y a Juan de J. Vargas, estudiante de Zootecnia de la Universidad Nacional, sede Bogotá por su colaboración en la determinación de la FDAi *in vitro*; a los trabajadores de Paysandú por su colaboración en los trabajos de campo en el Centro; a la Cooperativa COLANTA por la determinación de los análisis de leche, y a COLCIENCIAS por el apoyo financiero para la ejecución de estos experimentos (Proyecto 1101-405-20172 de 2007).

### **Estimation of dry matter intake of lactating Holstein cows under grazing**

#### **Abstract**

*Dry matter intake (DMI) in lactating Holstein cows grazing kikuyu grass was evaluated using an internal marker to estimate the dry matter digestibility (DMD) and an external marker to estimate the production of faeces (F). To estimate the DMD, acid detergent fiber (iADF) was used weighting the residues of grass samples, feed supplements and faeces after ruminal in situ incubation (isiADF) for 144 h. This technique was compared with the iADF determined in the same samples after an in vitro incubation (iviADF) using the same time (144 h). To estimate F, each of twelve cows received 15 g of chromium oxide mixed with the feed supplement, in each of the two daily milking during 14 days. Chromium (Cr) concentration was determined in faeces recovered during the last two days. This technique was compared with the total faeces recuperation using plastic bags. The DMI estimated with markers (isiADF/Cr) was*

compared with the DMI calculated with The National Research Council (NRC 2001) and Cornell Net Carbohydrates and Protein System (CNCPS) models using variance analyses and mean square error of prediction (MSEP) for each model. The DMD estimated with isiADF was  $70.3 \pm 4.48\%$  while with the iviADF was  $65.1 \pm 7.77\%$  ( $p>0.052$ ). The chromium oxide over estimated the F in 26.8% compared with the total collection method ( $p<0.0001$ ) indicating an incomplete recovery, which was estimated in  $79.4 \pm 8.9\%$ . Nevertheless the DMI means estimated with NRC and CNCPS models was not statistically different of the DMI estimated with the markers technique (18.7, 18.8 y 18.3 Kg/cow/d, respectively) ( $p> 0.89$ ), the NRC and CNCPS models do not estimated appropriately the DMI showing a high mean, lineal and random bias.

**Key words:** chromium oxide, indigestible acid detergent fiber, indigestible markers, mathematical models

#### **Bibliografía.**

1. **Adesogan A T 2002** What are feeds worth?: A critical evaluation of selected nutritive value methods; Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium 33-47 <http://dairy.ifas.ufl.edu/files/rns/2002/adesogan.pdf>
2. **Agnew R E and Yan T 2000** Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle; Livestock Production Science. 66: 197–215
3. **Arreaza L C, Sánchez D E y Abadía B 2005** Degradabilidad ruminal de fracciones de carbohidratos en forrajes tropicales determinada por métodos *in vitro* e *in situ*. Revista Corpoica. 6 (1): 52-57 Retrieved February 3, 2008, from [http://200.75.42.3/SitioWeb/Archivos/Revista/v6n1\\_p52\\_57\\_degradabilidad\\_ruminal\\_chos.pdf](http://200.75.42.3/SitioWeb/Archivos/Revista/v6n1_p52_57_degradabilidad_ruminal_chos.pdf)
4. **Association of Official Analytical Chemists International (AOAC) 2005** Official methods of analysis of AOAC International. 18th edition. Maryland, USA.

5. **Bargo F 2002** Feeding systems combining pasture with concentrate and total mixed rations for high producing dairy cows; PhD. Thesis Dissertation. Pennsylvania State University, The Graduate School, College of Agricultural Sciences. 311p.  
<http://etda.libraries.psu.edu/theses/approved/WorldWideFiles/ETD-135/THESIS.pdf>
6. **Bargo F, Muller L D, Kolver E S and Delahoy J E 2003** Invited Review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture; Journal of Dairy Science 86:1–42 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/86/1/1.pdf>
7. **Barry M C, Fox D G, Tylutki T P, Pell A N, O'Connor J D, Sniffen C J and Chalupa W 1994** A manual for using the Cornell Net Carbohydrate and Protein System for evaluating cattle diets; Review CNCPS Release 3. Cornell University, Ithaca, NY.
8. **Berchielli T T, Andrade P e Furlan C L 2000** Avaliação de indicadores internos em ensaios de digestibilidade; Revista Brasileira de Zootecnia. 29 (3): 830-833. <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v29n3/5830.pdf>
9. **Berchielli T T, Oliveira S G de, Carrilho E N V M, Feitosa J V e Lopes A D 2005** Comparação de marcadores para estimativas de produção fecal e de fluxo de digesta em bovinos. Revista Brasileira de Zootecnia 34.(3): 987-996 Retrieved february 15, 2008, from <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v34n3/a32v34n3.pdf>
10. **Berchielli T T, Rodriguez N M, Osório Neto E e Rocha S S 1998** Comparação de indicadores de fase sólida para medir fluxo de matéria seca e matéria orgânica no duodeno; Arquivo Brasileiro de Veterinária e Zootecnia 50 (2):147-152
11. **Berger L, Klopfenstein T and Britton R 1979** Effect of sodium hydroxide on efficiency of rumen digestion; Journal of Animal Science 49: 1317-1323 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/49/5/1317.pdf>

12. **Berrío A M y Correa H J 1992** Diseño de un dispositivo mecánico para medir cambios de peso en bovinos bajo pastoreo; Trabajo de grado, carrera de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 128 p.
13. **Caird L and Holmes W 1986** The prediction of voluntary intake of grazing dairy cows; *Journal of Agriculture Science (Cambridge)* 107:43-54
14. **Chávez A, González M H y Fierro L C 1981** Consumo voluntario de forrajes en vacas gestantes durante la época de sequía; *Pastizales* 12: 1 – 12
15. **Cochran R C, Adams D C Wallace J D and Galyean M L 1986** Predicting digestibility of different diets with internal markers: Evaluation of four potential markers; *Journal of Animal Science* 63: 1476-1483  
<http://jas.fass.org/cgi/reprint/63/5/1476.pdf>
16. **Cordova F J, Wallace J D and Pieper R D 1978** Forage intake by grazing livestock: A review; *Journal of Range Management* 31: 430 - 438
17. **Correa H J, Pabon M L y Carulla J E 2008** Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 20 (4), Article # 59 Retrieved june 8, 2008, from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd20/4/corra20059.htm>
18. **Cuellar A 1998** Plan de alimentación centro Paysandú; Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 5 p.
19. **Dugmore T J 1998** Energy and mineral content of kikuyu; In: Bartholomew PE (Ed.), *Proceedings of a Kikuyu Technology Day*, KwaZulu-Natal Department of Agriculture, Directorate of Technology Development and Training: 16 – 18.

[http://agriculture.kzntl.gov.za/portal/publications/books/kikuyu\\_technology\\_day/kikuyu\\_page4.htm](http://agriculture.kzntl.gov.za/portal/publications/books/kikuyu_technology_day/kikuyu_page4.htm)

20. **Eastridge M L, Bucholtz H F, Slater A L and Hall C S 1998** Nutrient requirements for dairy cattle of the national research council versus some commonly used ration software; Journal of Dairy Science 81: 3049 – 3062  
<http://jds.fass.org/cgi/reprint/81/11/3049>
21. **Ellis J L, Qiao F and Cant J P 2006** Prediction of dry matter intake throughout lactation in a dynamic model of dairy cow performance. Journal of Dairy Science 89: 1558–1570 Retrieved January 23, 2008, from <http://jds.fass.org/cgi/reprint/89/5/1558.pdf>
22. **Escobar A y Carulla J 2003** Efecto de la oferta de forraje sobre los parámetros productivos y composicionales de la leche en la sabana de Bogotá; Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 16(Suplemento): 74
23. **Espinal L S 1992** Geografía ecológica de Antioquia. Zonas de vida; Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias y de Ciencias Agropecuarias, seccional Medellín. Editorial Lealon. 146 p.
24. **Fadel A M A, Rania E, Abusamra M A 2007** Effects of supplemental yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) culture on ndf digestibility and rumen fermentation of forage sorghum hay in nubian goat's kids. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 3(3): 133-137 Retrieved may 18, 2008, from <http://www.insinet.net/rjabs/2007/133-137.pdf>
25. **Faverdin P, Baumont R, Invartsen K L 1995** Control and prediction of feed intake in ruminants; En: Journet M, Grenet E, Farce M-H, Theriez M and Demarquilly V (editors), Recent developments in the nutrition of herbivores. Proceedings of the IVth international symposium on the nutrition herbivores, INRA editions, Paris. 95-120.

26. **Fox D G, Sniffen C J, O'Connor J D, Russell J B and Van Soest P J 1992** A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy; Journal of Animal Science 70: 3578 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/70/11/3578.pdf>
27. **Fox D G, Tylutki T P, Tedeschi L O, Van Amburgh M E, Chase L E, Pell A N, Overton T R and Russell J B 2003** The Net Carbohydrate and Protein System for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. CNCPS version 5.0; Animal Science Mimeo 213, Department of Animal Science, Cornell University, Morrison Hall, Ithaca, New York. 292 p.
28. **Freitas D, Berchielli T T, Silveira R N, Guimarães J P, Resende J J e Vaz A 2002** Produção fecal e fluxo duodenal de matéria seca e matéria orgânica estimados por meio de indicadores; Revista Brasileira de Zootecnia 31 (3: Suplemento): 1521-1530 <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v31n3s0/13109.pdf>
29. **Fuentes-Pila J, Ibañez M, De Miguel J M and Beede D K 2003** Predicting average feed intake of lactating holstein cows fed totally mixed rations; Journal of Dairy Science 86:309–323 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/86/1/309.pdf>
30. **Galyean M L 1997** Laboratory procedures in animal nutrition research; West Texas A&M University, Division of Agriculture and Texas A&M Research and Extension Center, Amarillo. 192 p. [http://apps.depts.ttu.edu/afs/home/mgalyean/lab\\_man.pdf](http://apps.depts.ttu.edu/afs/home/mgalyean/lab_man.pdf)
31. **Garrigus W P and Rusk H P 1939** Some effects of the species and stage of maturity of plants on the forage consumption of grazing steers of various weights; University of Illinois, Agricultural Experiment Station Bulletin no. 454.
32. **González C y Correa H J 2007** Factores nutricionales y alimenticios que afectan la producción de leche y el contenido de proteína en la leche, en hatos especializados de Antioquia. Despertar Lechero 28: 18 – 30

33. **Harris L E Cook C W and Butcher J E 1959** Symposium on forage evaluation. 5. Intake and digestibility techniques and supplemental feeding in range forage evaluation; *Agronomy Journal* 51: 226 – 234
34. **Holechek J L, Wofford H, Arthun D, Galyean M L and Wallace J D 1986** Evaluation of total fecal collection for measuring cattle forage intake; *Journal of Range Management* 39 (1): 2 – 4
35. **Hopper J T, Holloway J W and Butts W T, Jr 1978** Animal variation in chromium sesquioxide excretion patterns of grazing cows; *Journal of Animal Science* 46: 1096-1102 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/46/4/1096.pdf>
36. **Judkins M B, Krysl L J and Barton R K 1990** Estimating diet digestibility: a comparison of 11 techniques across six different diets fed to rams; *Journal of Animal Science* 68: 1405-1415 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/68/5/1405.pdf>
37. **Kameoka K, Takahashi S and Morimoto H 1956** Variation in the excretion of chromic oxide by ruminants; *Journal of Dairy Science* 39: 462-467 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/39/4/462.pdf>
38. **Kertz A F, Reutzel L F and Thomson G M 1991** Dry matter intake from parturition to midlactation; *Journal of Dairy Science* 74: 2290 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/74/7/2290.pdf>
39. **Khan M A, Un-Nisa M and Sarwar M 2003** Techniques measuring digestibility for the nutritional evaluation of feeds; *International Journal of Agriculture and Biology* 5 (1): 91 - 94 [http://www.fspublishers.org/ijab/past-issues/IJABVOL\\_5\\_NO\\_1/26.pdf](http://www.fspublishers.org/ijab/past-issues/IJABVOL_5_NO_1/26.pdf)
40. **Kolver E S 2003** Nutritional limitations to increased production on pasture-based systems; *Proceedings of the Nutrition Society* 62: 291–300 [http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FPNS%2FPNS62\\_02%2FS0029665103000442a.pdf&code=6a3f8f5adc94a477d36eebf438633b36](http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FPNS%2FPNS62_02%2FS0029665103000442a.pdf&code=6a3f8f5adc94a477d36eebf438633b36)

41. **Kozloski G V, de Moraes E M and Martins A F 1998** Use of chromium oxide in digestibility studies: variations of the results as a function of the measurement method; *Journal of the Science of Food and Agriculture* 76: 373-376  
<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/61002040/PDFSTART>
42. **Le Du Y L P and Penning P D 1982** Animal based techniques for estimating herbage intake; In: *Herbage intake handbook* Editor: J.D. Leaver Hurley: British Grassland Society. pp. 77-93
43. **León J, Mojica J E, Castro E, Cárdenas E, Pabón M L y Carulla J 2007** Balance de nitrógeno y fósforo de vacas lecheras en pastoreo con diferentes ofertas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y suplementadas con ensilaje de avena (*Avena sativa*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20: 615
44. **Lippke H 2002** Estimation of Forage Intake by Ruminants on Pasture; *Crop Science* 42: 869–872 <http://crop.scijournals.org/cgi/reprint/42/3/869.pdf>
45. **Malossini F, Bovolenta S, Piasentier E , Piras C and Martillotti F 1996** Comparison of *n*-alkanes and chromium oxide methods for estimating herbage intake by grazing dairy cows; *Animal Feed Science Technology* 6 1: 155- 165  
[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6T42-3W2T4Y6-C&\\_user=1998314&\\_coverDate=09%2F30%2F1996&\\_rdoc=12&\\_fmt=high&\\_orig=browse&\\_srch=doc-info\(%23toc%234962%231996%23999389998%2379035%23FLP%23display%23Volume\)&\\_cdi=4962&\\_sort=d&\\_docanchor=&\\_ct=36&\\_acct=C000055778&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=1998314&md5=addc001a3af60e419145622c4a5a5290](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6T42-3W2T4Y6-C&_user=1998314&_coverDate=09%2F30%2F1996&_rdoc=12&_fmt=high&_orig=browse&_srch=doc-info(%23toc%234962%231996%23999389998%2379035%23FLP%23display%23Volume)&_cdi=4962&_sort=d&_docanchor=&_ct=36&_acct=C000055778&_version=1&_urlVersion=0&_userid=1998314&md5=addc001a3af60e419145622c4a5a5290)
46. **Marais J P 2001** Factors affecting the nutritive value of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) - a review; *Tropical grasslands* 35: 65–84  
[http://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol\\_35\\_2001/Vol\\_35\\_02\\_01\\_pp65\\_84.pdf](http://www.tropicalgrasslands.asn.au/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/PDFs/Vol_35_2001/Vol_35_02_01_pp65_84.pdf)

47. **Mayes R W and Dove H 2000** Measurement of dietary nutrient intake in free-ranging mammalian herbivores; *Nutrition Research Reviews* 13:107-138  
[http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FNRR%2FNRR13\\_01%2FS0954422400000068a.pdf&code=c9b74dcb50ec418f0e528452fc6608c7](http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FNRR%2FNRR13_01%2FS0954422400000068a.pdf&code=c9b74dcb50ec418f0e528452fc6608c7)
48. **Mejía J 2002** Consumo voluntario de forraje por bovinos bajo pastoreo; *Acta Universitaria*. 12 (3): 56 – 63.  
<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/416/41612204.pdf>
49. **Miles N, Thurtell L and Riekert S 2000** Quality of kikuyu herbage from pastures in the eastern cape coastal belt of South Africa; *South African Journal of Animal Science* 30 (Supplement 1): 85 – 86
50. **Mir P S, Kalnin C M, and Garvey S A 1989** Recovery of fecal chromium used as a digestibility marker in cattle; *Journal of Dairy Science* 72: 2549-2553  
<http://jds.fass.org/cgi/reprint/72/10/2549.pdf>
51. **National Research Council (NRC) 2001** The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition; National Academy Press, Washington D. C. 381 p.
52. **Nelson M L, Motjope L, Finley J W and Parish S M 1990** Ash-free indigestible acid detergent fiber as an internal marker to estimate digestibility with grazing ruminants; *Journal of Range Management* 43: 224-229  
[https://digitalcommons.library.arizona.edu/objectviewer?o=http%3A%2F%2Fjrm.library.arizona.edu%2FVolume43%2FNumber3%2Fazu\\_jrm\\_v43\\_n3\\_224\\_229\\_m.pdf](https://digitalcommons.library.arizona.edu/objectviewer?o=http%3A%2F%2Fjrm.library.arizona.edu%2FVolume43%2FNumber3%2Fazu_jrm_v43_n3_224_229_m.pdf)
53. **Oliveira A, Detmann E, Valadares S, Pereira J C, Toledo L, Galvão S e Fonseca M 2008** Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos *in situ*. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37 (2): 335-342  
 Retrieved September 18, 2008, from <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v37n2/21.pdf>

54. **Oliveira E D, Raposo S, Tedeschi L O, Magalhães L J, Carneiro S 2007** Estimating forage intake of lactating dual-purpose cows using chromium oxide and n-alkanes as external markers. *Scientia Agriculture (Piracicaba, Brazil)* 64 (2): 103-110 Retrieved September 1, 2008, from <http://www.scielo.br/pdf/sa/v64n2/a01v64n2.pdf>
55. **Phar P A, Bradley N W, Little C O and Cundiff L V 1970** Effects of confinement and level of feed intake on digestibility of nutrients and excretion of chromic oxide, crude protein and gross energy in the bovine; *Journal of Animal Science* 30: 589-592 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/30/4/589.pdf>
56. **Quijano J 1998** Informe de gestión: Superintendencia Centro de producción Paysandú; Facultad de Ciencias agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. El autor. 18 p.
57. **Ramírez L M, Laredo M A, Anzola H J y Martínez O 1983** Estimación del consumo voluntario de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst) y raigras tetralite (*Lolium hybridum* Hausskn) por bovinos en pastoreo mediante el uso de dos marcadores externos; *Revista ICA (Bogotá)* 18: 35 – 43
58. **Rodríguez N M, Oliveira Simões E y Guimarães-Júnior R 2007** Uso de Indicadores para estimar consumo y digestibilidad de pasto. LIPE, lignina purificada y enriquecida; *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20(4): 518-525
59. **Roseler D K, Fox D G, Chase L E, Pell A N and Stone W C 1997** Development and evaluation of equations for prediction of feed intake for lactating Holstein cows; *Journal of Dairy Science* 80:878–893 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/80/5/878.pdf>
60. **SAS Institute 1998** SAS User's Guide: Statistics (Version 8); Cary NC: the Institute.

61. **Saldarriaga C y Soto S 2004** Efecto de dos edades de rebrote del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre el balance de nitrógeno en vacas holstein de alta producción; Trabajo de grado de Zootecnia, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 30p.
62. **Schneider B H and Flatt W P 1975** The evaluation of feeds through digestibility experiments; University of Georgia Press, Athens. 169 p.
63. **Shah M A and Murphy M R 2006** Development and evaluation of models to predict the feed intake of dairy cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* 89: 294–306 Retrieved February 17, 2008, from <http://jds.fass.org/cgi/reprint/89/1/294.pdf>
64. **Southgate D T A 1967** Determination of carbohydrates in foods; *Journal of the Science of Food and Agriculture* 20: 326-331
65. **St-Pierre N R 2001** Integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology; *Journal Dairy Science* 84: 741–755
66. <http://jds.fass.org/cgi/reprint/84/4/741.pdf>
67. **Sunvold G D and Cochran R C 1991** Technical note: evaluation of acid detergent lignin, alkaline peroxide lignin, acid insoluble ash, and indigestible acid detergent fiber as internal markers for prediction of alfalfa, bromegrass, and prairie hay digestibility by beef steers; *Journal of Animal Science* 69: 4951-4955 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/69/12/4951.pdf>
68. **Taweel H Z 2006** Improving dry-matter intake of perennial-ryegrass pasture by dairy cows; In: Elgersma A, Dijkstra J and Tamminga S (editors), *Fresh Herbage for Dairy Cattle*. Springer, Netherlands: 159-174 Retrieved June 12, 2008, from [http://library.wur.nl/frontis/perennial\\_ryegrass/09\\_taweel.pdf](http://library.wur.nl/frontis/perennial_ryegrass/09_taweel.pdf)
69. **Van Soest P J 1994** Nutritional ecology of the ruminant; Cornell University Press, Cornell University, Ithaca, New York. 476 p.

70. **Van Soest P J and Robertson J 1985** Analysis of forages and fibrous of the feeds; Cornell University, Ithaca, New York. Laboratory manual for animal science.
71. **Vázquez O P and Smith T R 2000** Factors affecting pasture intake and total dry matter intake in grazing dairy cows; Journal of Dairy Science 83: 2301-2309 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/83/10/2301.pdf>
72. **Waller J, Merchen N, Hanson T and Klopfenstein T 1980** Effect of sampling intervals and digesta markers on abnormal flow determinations; Journal of Animal Science 50 (6): 1122 <http://jas.fass.org/cgi/reprint/50/6/1122.pdf>
73. **Wattiaux M A 2007** Body Condition Scores. Babcock Institute for International Dairy Research and Development, University of Wisconsin-Madison. Dairy Essentials: 45 – 48 <http://www.state.nj.us/agriculture/humanebcsheifer.pdf>
74. **Weiss W P 1991** Estimating dry matter intake; in Proc. Ohio Dairy Nutr. Conf., Ohio State University Extension, Wooster. Page 9
75. **Zeoula L M, Prado I N, Dian P H M, Valério L J, Ferreira S, Midore E, Peron P D P, Araujo J and da Silva A J 2002** Fecal recuperation of internal markers in assay with ruminants; Revista Brasileira de Zootecnia 31 (4): 1865-1874 <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v31n4/13749.pdf>
76. **Zorrilla J 1979** Determinación del consumo voluntario en condiciones de libre pastoreo; En: Manual de técnicas de investigación en nutrición de rumiantes. Departamento de Nutrición Animal, INIP-SARH, México.

### 3.6. ANEXO

Procedimiento en SAS (1999) para el análisis conjunto de los datos provenientes de dos o más estudios según St-Pierre (Comunicación personal 2008):

```
Data dataregs;  
input Study Y X;  
cards;
```

```
PROC MIXED COVTEST NOCLPRINT NOITPRINT;  
CLASS Study;  
MODEL Y = X/SOLUTION OUTP = Predictionset;  
RANDOM Study*X/solution;  
RUN;
```