

Caracterización de las pasturas para maximizar producción animal¹

C. E. Lascano²

CIAT, Apartado Aéreo 67 13, Cali, Colombia

Characterization of pastures to maximize animal production

ABSTRACT: This paper discusses strategies to overcome biotic and abiotic constraints and improve forage quality in grasses using conventional breeding methods. Factors that should be considered to ensure success in improvement programs are outlined. The benefits that can be achieved in animal production through the development of grass cultivars with high digestibility are discussed. In addition, the paper summarizes factors related to protein and carbohydrate utilization by ruminants, the opportunities that biotechnology offers to change the composition of forages, and how these changes can improve the efficiency of utilization of nutrients by rumen microbes and by the host animal. With the evidence reviewed it was concluded that significant opportunities exist in the short run to introduce resistance to pests and diseases and improve digestibility in tropical and temperate grasses through the use of conventional breeding schemes. Options such as NIRS and molecular markers could be used to accelerate and achieve cost efficiency in conventional breeding programs. In the medium term, there is the option of improving forage species through the introduction of genes coding for quality attributes (i.e. more soluble carbohydrates, interference with lignin production and production of plant proteins with different degradability) or for resistance to biotic (pests) and abiotic (tolerance to high soil Al) factors.

Key words: Forage improvement, plant breeding, pest and diseases, forage quality, and biotechnology

©2002 ALPA. Todos los derechos reservados

Arch. Latinoam. Prod. Anim. 2002. 10(2): 126-132

RESUMEN: En este escrito se discuten estrategias de mejoramiento integral (i.e. susceptibilidad a factores bióticos y abióticos y calidad nutritiva) de gramíneas a través de métodos convencionales y se enumeran los factores que se deberían tener en cuenta para asegurar el éxito de programas de mejoramiento. Por otra parte, se resume la evidencia sobre los beneficios que se pueden lograr en producción animal mediante el desarrollo de cultivares de gramíneas con alta digestibilidad. Se discuten aspectos de utilización de proteína y carbohidratos por rumiantes y las oportunidades que brinda la biotecnología para cambiar la composición de los forrajes y así mejorar la eficiencia de uso de nutrientes por microorganismos del rumen y por el animal. Con la evidencia revisada se concluye que en el corto plazo existen oportunidades para introducir resistencia a plagas y enfermedades y de aumentar digestibilidad y así aumentar la productividad de gramíneas tropicales y de hecho templadas, mediante el empleo de métodos convencionales de cruzamiento. Para acelerar y abaratar costos en los programas de mejoramiento convencional de especies forrajeras existen equipos (i.e. NIRS) y herramientas (i.e. marcadores moleculares) de relativo fácil alcance. Por otra parte, se sugiere que en el mediano plazo existe la posibilidad de mejorar especies forrajeras mediante la introducción de genes que expresen en las plantas factores asociados con calidad (i.e. más carbohidratos solubles, interferencia con producción de lignina o sus precursores, y producción de proteínas de diferente grado de degradabilidad), y con resistencia a factores bióticos (plagas) y abióticos (tolerancia a Al).

Palabras clave: Mejoramiento de forrajes, cruzamiento, plagas y enfermedades, calidad de forrajes, y biotecnología

Introducción

Una alternativa para aumentar la producción de carne y leche de animales en pastoreo es mediante el uso de pastu-

ras de gramíneas en asociación con leguminosas. Las leguminosas contribuyen a incrementar la calidad del forraje ingerido por los animales en forma directa (consumo por el animal) e indirecta (nitrógeno para la gramínea acompañan-

Recibido Marzo 15, 2001. Aceptado Enero 10, 2002

¹Conferencia invitada presentada en la XVI Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal en Montevideo, Uruguay, Marzo 28 al 30 de 2000.

E-mail: C.LASCANO@CGIAR.ORG

te) (Thomas y Lascano, 1995). Adicionalmente las leguminosas contribuyen a mejorar la fertilidad del suelo dado su capacidad de fijar nitrógeno y de ser eficientes en el reciclaje de nutrientes (N, P, Ca). A pesar de las ventajas comprobadas de las leguminosas tanto en zonas templadas como tropicales su uso por productores es limitado, particularmente en el trópico.

Como estrategia complementaria al uso de leguminosas para mejorar la producción animal en sistemas de pastoreo, se puede pensar en el mejoramiento de la calidad nutritiva de las gramíneas mediante la selección de accesiones superiores o mediante programas de hibridación. El objetivo de estos programas de fitomejoramiento es el manipular recursos genéticos (germoplasma) para producir plantas que sean de utilidad para los productores. Aún cuando el hombre ha manipulado los recursos genéticos de plantas y animales por miles de años, la ciencia de la genética y el mejoramiento de especies forrajeras por hibridación se desarrolló a partir de 1930. Estos esfuerzos iniciales resultaron en el desarrollo de cultivares muy exitosos tanto en gramíneas para zonas tropicales (Costal Bermuda) como para zonas templadas (Kentucky 31) (Vogel y Sleper, 1994). Por otra parte, el trabajo pionero de Burton y asociados en Tifton, Georgia, demostró el gran valor productivo y económico que tenía el mejorar gramíneas por calidad (i.e. aumento de la digestibilidad de bermuda) (Burton, 1986).

En este documento se resumen estrategias de mejoramiento integral (i.e. susceptibilidad a factores bióticos y abióticos y calidad nutritiva) de gramíneas a través de métodos convencionales y se enumeran los factores que se deben tener en cuenta para asegurar el éxito de programas de mejoramiento. Por otra parte, se resumen la evidencia sobre los beneficios en producción animal que se pueden obtener mediante el desarrollo de cultivares de gramíneas con alta digestibilidad. Por último, se mencionan aspectos de utilización de proteína y carbohidratos por ruminantes y las oportunidades que existen de cambiar la composición de los forrajes y mejorar así la eficiencia de uso de nutrientes.

Mejoramiento Integral de Gramíneas

El mejoramiento de especies forrajeras de zonas templadas o tropicales debería tener un enfoque integral en el cual se trate de resolver deficiencias bien definidas de cultivares comerciales y ampliamente utilizados por productores con el fin de poder justificar la inversión en mejoramiento. Para ilustrar ésto, se hace mención al Programa de Mejoramiento de *Brachiaria* que adelanta el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

La importancia de *Brachiaria* en ecosistemas de sabana y márgenes de bosque en América Tropical está bien documentada (Pizarro *et al*, 1996; Argel y Keller-Grein, 1996). Se estima que en la actualidad hay alrededor de 60 millones de hectáreas de pasturas con *Brachiaria*, particularmente *B. decumbens* cv Basilisk. El alto grado de adopción de *B. de-*

cumbens cv. Basilisk por productores indudablemente se debe a que tiene una serie de atributos positivos tales como:

1. adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad que predominan en muchas zonas ganaderas del trópico subhúmedo y húmedo
2. buena producción de biomasa y semilla
3. rapidez de establecimiento
4. hábito de crecimiento decumbente que contribuye a disminuir malezas y prevenir erosión, y
5. aceptable calidad en términos de digestibilidad y proteína que resulta en altos niveles de producción animal en comparación con pasturas nativas.

Sin embargo, el cultivar comercial de *B. decumbens* es susceptible a un insecto conocido como salivazo o mión de los pastos (Homóptera:Cercopidae), el cual causa serias pérdidas económicas a los productores, ya que ataques periódicos del insecto disminuyen los días útiles de pastoreo en el año (la vegetación se seca) y eventualmente se presenta degradación de la pastura (Valerio *et al*, 1996). Como alternativa al *B. decumbens*, existe en el mercado *B. brizantha* cv Marandú, el cual es resistente al salivazo pero no está adaptado a suelos ácidos de baja fertilidad y por ende las pasturas se degradan en el tiempo.

Ante esta situación el CIAT tomó la iniciativa de producir un cultivar de *Brachiaria* que reuniera los atributos de *B. decumbens* cv Basilisk, pero que tuviese la resistencia antibiótica al salivazo de *B. brizantha* cv. Marandú (Miles y do Valle, 1997).

Para el desarrollo de cultivares mejorados de *Brachiaria* se han seguido dos estrategias: (a) evaluación y selección de accesiones de *Brachiaria* dentro de una colección (500 entradas) obtenida en África y (b) cruzamientos de *B. decumbens* x *B. brizantha* (apomícticos), utilizando *B. ruziziensis* sexual-tetraploide para permitir los cruces interespecíficos entre padres apomícticos (Miles y do Valle, 1996).

Después de evaluar la colección de *Brachiaria* en diferentes agroecosistemas de América tropical se llegó a la conclusión de que existía variabilidad natural en atributos agronómicos importantes (producción de biomasa, calidad nutritiva, tolerancia a sequía y suelos mal drenados, rendimientos de semilla). Sin embargo, no se encontraron accesiones con resistencia a salivazo, que como se indicó es una de las principales limitaciones del cultivar comercial de *B. decumbens*.

Dado lo anterior, fue necesario iniciar acciones de cruzamiento para producir híbridos de *Brachiaria* con resistencia a salivazo, pero que además estuviesen adaptados a suelos ácidos con altos niveles de Al, que fuesen resistentes a Rhizoctonia (roya), que tuviesen alta producción de semilla de buena calidad y forraje de alta digestibilidad. Esto trajo consigo la necesidad de desarrollar o adaptar metodologías de invernadero y laboratorio para:

1. seleccionar genotipos por resistencia a plagas (salivazo) y enfermedades (roya)
2. evaluar adaptación de genotipos a suelos de baja fertilidad y con niveles tóxicos de Al

3. seleccionar por digestibilidad *in vitro*.

Como resultado de este esfuerzo se tienen hoy metodologías para seleccionar híbridos de *Brachiaria* por resistencia al salivazo bajo condiciones de invernadero y bajo condiciones de campo (Cardona *et al*, 1999). Además, se implementó una metodología para seleccionar híbridos por tolerancia a Al, la cual se logró como resultado de un mejor entendimiento de los mecanismos fisiológicos y bioquímicos que confieren tolerancia a altos niveles de Al a *B. decumbens* en comparación con otras especies de *Brachiaria* (Rao *et al* 1998). Más recientemente se calibró el NIRS para medir digestibilidad de un gran número de híbridos de *Brachiaria* debido a que se determinó que existía una alta variabilidad en este atributo en una población de híbridos y que por lo tanto se justificaba su inclusión como criterio de selección dentro del Programa de Mejoramiento.

Hoy después de 12 años (1988 a 1999) de haberse iniciado el programa de mejoramiento en el CIAT se tienen los primeros híbridos apomícticos de *Brachiaria* con resistencia al salivazo y tolerancia a Al, pero cuyos atributos agronómicos (producción de biomasa y calidad de semilla) y de potencial de producción animal bajo pastoreo aún está por determinarse. Por otra parte, se ha avanzado en el desarrollo de marcadores moleculares para ayudar en la selección por resistencia a salivazo, por tolerancia a Al, y por alta digestibilidad. El uso de marcadores asociados con apomixis junto con pruebas de progenie facilitará determinar el modo reproductivo de híbridos y así seleccionar los apomícticos más sobresalientes.

El trabajo integral de mejoramiento de *Brachiaria* que adelanta el CIAT sirve para ilustrar varios puntos que podrían ser relevantes en el diseño de nuevos programas de mejoramiento de especies forrajeras:

1. Se debe definir con claridad desde un comienzo el objetivo de mejoramiento y establecer la demanda por productores de cultivares mejorados.
2. La actividad de mejoramiento de especies forrajeras es a largo plazo y deberá partir de la caracterización de múltiples atributos en colecciones de germoplasma (i.e. variabilidad natural).

3. Se justifica la estrategia de cruzamientos interespecíficos en la medida en que no exista variabilidad natural para los atributos que se quieran mejorar.
4. Se requiere el concurso de un equipo multidisciplinario en la medida que el objetivo de mejoramiento involucre varios caracteres de importancia económica.
5. Se justifica el mejoramiento por calidad nutritiva (i.e. digestibilidad) en la medida que exista comprobada variabilidad genética y que se implementen métodos de medición rápidos y confiables.

En lo que sigue se discute el efecto de cultivares de gramíneas seleccionados por digestibilidad en producción animal y se hace breve referencia a algunos métodos directos e indirectos que pueden ser utilizados para seleccionar plantas forrajeras por digestibilidad.

Mejoramiento de Gramíneas por Digestibilidad

Los primeros trabajos de mejoramiento de especies forrajeras enfatizaron el desarrollo de cultivares con buena capacidad de establecimiento, persistencia, rendimiento y resistencia a plagas y enfermedades, todos atributos importantes para determinar el éxito de una especie forrajera. Solo en los últimos 25 años fue que se consideró el mejoramiento por calidad nutritiva como un objetivo importante en el desarrollo de cultivares mejorados de gramíneas tropicales o templadas. El trabajo pionero de Burton y asociados en Tifton, Georgia, demostró el gran valor productivo y económico que tenía el mejorar gramíneas por calidad (i.e. aumento de la digestibilidad) (Burton, 1986).

En el Cuadro 1 se resumen resultados de ganancia de peso con dos cultivares de bermuda y resulta evidente el cultivar cruza-1 con más digestibilidad que el cultivar costal resultó en mayor ganancia de peso por animal y por unidad de superficie a pesar de tener un menor rendimiento de biomasa (Chapman *et al.*, 1972).

El trabajo en Tifton también demostró que se pueden lograr ganancias en producción animal combinando la selección por rendimiento y por digestibilidad (Cuadro 2). El

Cuadro 1. Producción animal en cultivares de *Cynodon dactylon* (bermuda).

Cultivar	DIVMS (%)	Forraje en oferta (kg MS/ha)	Ganancia de peso (g/a/d)	Ganancia de peso (kg/ha)
Coastal	54	2900	480	498
Cruza -1	61	2280	720	746
Diferencia (%)		-21	50	50

Cuadro 2. Mejoramiento genético de *Cynodon dactylon* (bermuda) por calidad y rendimiento.

Cultivar	DIVMS (%)	Forraje en oferta (kg/ha)	Ganancia por animal (g/día)	Ganancia por ha (kg)
Tifton 78 ²	57	2450	650	789
Tifton 85 ²	59	2750	670	1156

cultivar Tifton 85 se seleccionó por tener 2 unidades porcentuales de digestibilidad y 12% más rendimiento que el Tifton 78 y esto representó 3% más de ganancia individual y 46,5% de ganancia por hectárea (Hill *et al.*, 1993).

Es evidente de los ejemplos mencionados que aumentos relativamente pequeños en la digestibilidad de una gramínea pueden tener un gran impacto en la producción animal y de ahí que se justifique incluir este atributo en programas de mejoramiento de gramíneas.

Genes Asociados con Digestibilidad

El programa de mejoramiento de bermuda se basó en cruzamientos interespecíficos y selección de progenies con base en rendimiento y digestibilidad. Otra alternativa que también se ha probado para generar genotipos de gramíneas con alta digestibilidad es la de fijar genes específicos asociados con digestibilidad de forrajes. Por ejemplo, el gen *BMR* identificado en maíz, sorgo y pasto sudán, resultó en aumentos en digestibilidad a través de disminución en la fracción de lignina (Cuadro 3). Sin embargo, las plantas con *BMR* tuvieron de un 10 a un 30% menor de rendimiento que los controles (Cherney *et al.* 1986).

La mayor digestibilidad asociada con el gen *BMR* no estuvo relacionada con disminución en contenido de celulosa o hemicelulosa, las cuales fueron mayores que en plantas testigo. Sin embargo, la presencia de *BMR* si redujo el nivel de lignina en el forraje y afectó su composición química al reducir la proporción de ácido *p*coumárico y aumentar la de ácido ferúlico (Cherney *et al.* 1986 y 1988). Si bien la presencia del gen *BMR* resulta en aumentos en digestibilidad y consumo, no siempre esto se ha traducido en mayor producción animal (Cherney *et al.*, 1991).

Otro gen asociado con digestibilidad y bastante estudiado es el denominado *d₂*, el cual fue identificado en millo (pearl millet) y que cuando está presente imparte enanismo a las plantas. En trabajos realizados por Burton *et al.* (1968), se encontró que líneas enanas de millo produjeron 20% más de ganancia de peso por animal que líneas altas (Cuadro 4). Sin embargo, debido a que el rendimiento de las líneas enanas fue un 22% más bajo que el de las lí-

neas normales, la ganancia de peso por ha fue similar con ambos genotipos.

Estos resultados nuevamente demuestran el beneficio que se puede esperar en producción animal con forrajes altos en digestibilidad obtenidos mediante la introducción de genes que se saben están directamente asociados con este atributo. Por otra parte, es evidente que en algunos casos existe una correlación negativa entre rendimiento y digestibilidad, lo cual tiene implicaciones en la productividad por unidad de área que se esperaría lograr con gramíneas seleccionadas por digestibilidad.

Métodos para Seleccionar por Digestibilidad

Un requisito indispensable para lograr avances en el mejoramiento de gramíneas por digestibilidad es que exista variación genética en este atributo. En la mayoría de las gramíneas de zonas templadas y tropicales que se han examinado se ha encontrado una amplia variación genética en digestibilidad (Vogel y Sleper, 1994). Por otra parte, los coeficientes de heredabilidad para digestibilidad han variado entre 0.5 y 0.7, lo cual sugiere que es un atributo bajo control genético. Un aspecto a destacar es que en la mayoría de los casos la varianza en digestibilidad asociada con genotipo ha sido mayor que la varianza asociada con la interacción genotipo x ambiente, lo cual quiere decir que la digestibilidad es muy estable a través de ambientes y de ahí la justificación de seleccionar por este atributo, lo cual no se aplica a la proteína del forraje (Vogel y Sleper, 1994; Lascano *et al.*, 1996).

Una vez que se compruebe que existe variabilidad genética por digestibilidad u otro atributo de calidad es necesario definir criterios y métodos de selección. Para seleccionar por digestibilidad existen métodos directos e indirectos. Los métodos directos normalmente se han basado en la determinación de digestibilidad *in vitro* por el método de dos fases de Tilley y Terry (1963), o utilizando métodos *in situ*. Más recientemente, se ha propuesto el uso de NIRS (espectrofotometría de infrarrojos), dado que una vez calibrado el equipo se puede correr un gran número de muestras en for-

Cuadro 3. Calidad de hojas de sudan (*Sorghum bicolor*) con y sin el gen *BMR*.

Línea	DIVMS (%)	CHO Solubles (%)	Pared celular (%)	Lignina (%)
Normal	72.1 ^b	14.2	58.7 ^a	4.4 ^a
<i>Bmr</i>	77.3 ^a	15.9	55.3 ^b	3.4 ^b

Cuadro 4. Ganancia de peso en *Pennisetum typhoides* (pearl millet) con y sin el gen *d₂*.

Medición	Línea alta	Línea enana ¹
Días de pastoreo	654	556
Ganancia de peso por animal (g/día)	590	710
Ganancia de peso por hectárea (kg)	386	393

ma rápida y económica (Shenk y Westerhaus, 1994) lo cual es fundamental en los programas de mejoramiento que producen un gran número de genotipos segregantes por año.

El mejoramiento de forrajes por digestibilidad utilizan métodos indirectos se ha basado en la selección de plantas con alta proporción de hojas con relación a tallos, lo cual se fundamenta en que las hojas tienen una mayor digestibilidad y consumo que los tallos debido a una tasa de pasaje más rápida (Poppi *et al*, 1980). La selección de plantas de floración tardía también puede resultar en aumentos de digestibilidad, aún cuando es importante tener en cuenta que se podría estar seleccionando en forma negativa por producción de semilla, lo cual sería inaceptable en el desarrollo de cultivares comerciales. Para el mejoramiento de gramíneas por digestibilidad también se puede considerar la opción de seleccionar plantas con base a niveles de lignina y contenido de pared celular.

Utilización de Proteínas y Carbohidratos por Rumiantes

La calidad de los forrajes normalmente se ha definido sobre la base de digestibilidad y contenido de proteína cruda. A partir de la digestibilidad se puede estimar energía que es la base para la formulación de sistemas de alimentación utilizados en muchos países. Sin embargo, estos sistemas tienen limitaciones para predecir producción animal sobre todo de animales en pastoreo, lo cual sugiere que la digestibilidad per se no debe usarse como único indicador de calidad de los forrajes.

Proteína: En la caracterización y evaluación de especies forrajeras se le ha dado poca importancia a la fracción de proteína. Hoy se sabe que en los forrajes existen diferentes fracciones de proteína (fracción 1, proteína cloroplástica, proteína asociada con membranas), las cuales cambian con madurez, nivel y frecuencia de aplicación de N y especie (Beever, 1993). Estas diferentes fracciones de proteína tienen valores nutricionales diferentes, particularmente en términos de tasa de digestión en el rumen y potencial de proveer N para la síntesis de proteína bacteriana. Por otra parte, la fracción de nitrógeno no protéico (NNP) también cambia con madurez y fertilización de N (Beever, 1993), y por tanto se debe cuestionar el uso de PC (N x 6.25) como indicador de calidad de forrajes (Cottril *et al*, 1982).

Algunos autores han propuesto que la proteína de los forrajes se mida en términos de la fracción que es degradable (utilizada para síntesis de proteína bacteriana) y no degradable en el rumen (no disponible para microorganismos del rumen, pero que potencialmente puede ser hidrolizada y absorbida en el intestino delgado). Estas fracciones no se han utilizado en programas de mejoramiento, a pesar de que existen métodos para cuantificarlas en forma relativamente sencilla (Ørskov y McDonald, 1979).

Existe evidencia experimental que muestra que en gramíneas templadas (ryegrass) con alto contenido de proteína degradable y ofrecida en diferentes estados de madurez y

niveles, el flujo al intestino delgado de nitrógeno no amoniacal no cambia en forma significativa, lo cual sugiere que existe un mecanismo de control asociado con la síntesis de proteína microbiana (Beever *et al*, 1985). A esto se debe agregar que el consumo de forrajes altos en N total resulta en altos niveles de amonio ruminal, parte del cual es utilizado por microorganismos para síntesis de proteína y el excedente es absorbido a través de la pared ruminal y convertido a úrea para posterior excreción en la orina, lo cual tiene un alto costo energético para los rumiantes (Ulyatt *et al*, 1975; Kemp *et al*, 1979). La ineficiencia en el uso de fracciones nitrogenadas de forrajes quedó demostrada con las respuestas positivas a la suplementación con proteína sobrepasante de vacas lecheras que pastorean especies templadas y tropicales altas en N total (Stobbs *et al*, 1977; Anderson *et al*, 1988). Se deduce que el aumentar el nivel de N total en gramíneas no resultaría en mayores ganancias en producción animal y de hecho puede resultar negativo en algunos casos.

Carbohidratos: En los forrajes existen varias fracciones de carbohidratos (CHO), las cuales raramente se miden cuando se está caracterizando la calidad de los forrajes. La mayoría de los forrajes contienen bajos niveles de almidón, el cual es extensivamente fermentado en el rumen y por ende no constituye de por sí una fuente de glucosa para el animal a través de absorción en el tracto posterior. Las fracciones de hemicelulosa y celulosa son las mayores fuentes de energía para los microorganismos del rumen y para el animal. Sin embargo, con el proceso de lignificación de los forrajes se reduce en el rumen la degradación de hemicelulosa y de celulosa y en consecuencia hay menos energía disponible para el animal. Esta reducción viene acompañada generalmente por un desbalance entre energía y proteína en el rumen, lo cual afecta la eficiencia de digestión por microorganismos, agravando aún más la deficiencia de energía para el animal.

Es reconocido que el nivel de producción que se puede esperar de un rumiante está regulado por el consumo de nutrientes digeribles, particularmente energía. Una alta proporción de los CHO's consumidos son fermentados por microorganismos para obtener energía (ATP) para su mantenimiento y crecimiento (Isaacson *et al*, 1975). Los ácidos grasos volátiles (AGV) que son subproductos de la fermentación de CHO en el rumen, constituyen la mayor fuente de nutrientes para el rumiante. Una importante proporción de los AGV se utiliza directamente para la síntesis de biomasa microbiana y por lo tanto la fracción que es absorbida en el rumen es variable y altamente dependiente de la tasa de crecimiento de los microorganismos ruminales (Beever, 1993). En procesos de fermentación eficientes que resultan en altas tasas de crecimiento de microorganismos, la mayor proporción de los CHO's digeridos se convierten en AGV (57%), seguido por incorporación directa en la biomasa microbiana (24%) y producción de metano (12%). En contraste, cuando la fermentación ruminal es ineficiente la proporción de AGV utilizados directamente por microorganismos se

reduce (7%) y aumenta la proporción que va a AGV (70%) y a metano (15%) (Beever, 1993).

El tipo de forraje consumido por animales en pastoreo tiene un efecto significativo en la composición de especies de bacterias presentes en el rumen, lo cual a su vez afecta la proporción de AGV. Los forrajes que resultan en mayor producción de propionato en comparación con acetato y butirato también resultan en menor producción de metano por unidad de MO fermentada. En dietas ricas en fibra, predomina la producción de acetato, mientras que en dietas con alto contenido de CHO solubles o fácilmente degradables predomina la producción de propionato, lo cual como se dijo puede reducir en forma significativa la producción de metano, lo cual tiene beneficios no solo para la producción animal sino también para el medio ambiente (Beever, 1993).

De todo lo anterior se deduce que cambios en la composición de las fracciones de proteína y CHO en los forrajes pueden tener efectos muy significativos en la eficiencia de los procesos de fermentación de los rumiantes y por ende en la eficiencia y nivel de producción que se puede lograr con dietas con base en forrajes. Esto a su vez tiene implicaciones en las estrategias de mejoramiento genético de plantas forrajeras bien sea por medios convencionales o utilizando las herramientas modernas de la biotecnología. Hoy más que nunca se facilita el manipular la composición de forrajes mediante el uso de marcadores moleculares (QTL's) como herramientas de selección o mediante la transformación genética con genes que codifiquen por mayor contenido de CHO de fácil degradación y/o de proteínas con diversas tasas de degradabilidad en el rumen en tal forma de:

1. satisfacer demandas de N de los microorganismos ruminales,
2. disminuir producción de amoníaco en el rumen y asegurar proteína sobrepasante para absorción en el tracto posterior y
3. propiciar la producción de propionato y por ende glucosa para el animal y así lograr aumentos significativos en producción animal.

Conclusiones

Se concluye que a corto plazo existen oportunidades para introducir resistencia a plagas y enfermedades y aumentar digestibilidad de gramíneas tropicales y de hecho templadas mediante el empleo de métodos convencionales de cruzamiento. Para acelerar y abaratar costos en los programas de mejoramiento convencional de especies forrajeras existen equipos (i.e. NIRS) y herramientas (i.e. marcadores moleculares) de relativo fácil alcance. Por otra parte, se sugiere que en el mediano plazo existen grandes posibilidades de mejorar especies forrajeras mediante la introducción de genes que expresen en las plantas factores asociados con calidad (i.e. más carbohidratos solubles, interferencia con producción de lignina o sus precursores, y producción de proteínas de diferente grado de degradabili-

dad), con resistencia a factores bióticos (plagas) y abióticos (tolerancia a Al).

Literatura Citada

- Anderson, S.J., Klopfenstein, T.J. y Wilkerson, V.A. 1988. Escape protein supplementation of yearling steers grazing smooth brome pastures. *J. Anim. Sci.* 66:237-242.
- Argel, P.J. y Keller-Grein, G. 1996. Regional experience with *Brachiaria*: Tropical America-Humid lowlands. En: Miles, J.W., Maas, B.L. y do Valle, C.B. (eds.), *Biology, agronomy and improvement*. CIAT, Cali, Colombia y EMBRAPA-CNPQC, Campo Grande, Brasil, pp. 205-224.
- Beever, D.E., Thomson, D.J., Ulyatt, M.J., Cammell, S.B. y Spooner, M.C. 1985. The digestion of fresh perennial ryegrass (*Lolium perenne* L. cv Melle) and white clover (*Trifolium repens* L. cv Blanca) by grazing cattle fed indoors. *B. J. Nutr.* 54:763-775.
- Beever, David C. 1993. Ruminant animal production from forages: present position and future opportunities. In: Proc. of the XVII Int. Grassland Cong., Palmerston North, New Zealand and Rockhampton, Queensland, Australia, p. 535-542.
- Burton, Glenn W. 1986. Developing better forages for the south. *J. Animal Science* 63:955-961.
- Burton, Glenn W., Gunnells, Jael B., y Lowrey, R.S. 1968. Yield and quality of early and late maturing, rear isogenic populations of pearl millet. *Crop Sci.* 8:431-434.
- Cardona, C., Miles, J.W. y Sotelo, G. 1999. An improved methodology for massive screening of *Brachiaria* spp. genotypes for resistance to spittlebug (Homoptera: Cercopidae). *J. Econ. Entomol.* 92(2):490-496.
- Chapman, H.P., Marchant W.H., Utey, P.R., Hellwig, R.E. y Monson, W.C. 1972. Performance of steers on *Pennisetum bahiagrass*, coastal bermuda grass, and coast-cross1 bermudagrass and pellets. *J. Anim. Sci.* 34:373-378.
- Cherney, J.H., Axtell, J.D., Hassen, M.M. y Anliker, K.S. 1988. Forage quality characterization of a chemically induced brown-midrib mutant in pearl millet. *Crop Sci.* 28:783-787.
- Cherney, J.H., Cherney, D.J.R., Akin, D.E. y Axtell, J.D. 1991. Potential of brown-midrib, low-lignin mutants for improving forage quality. *Adv. Agron.* 46:157-189.
- Cherney, J.H., Moore, K.J., Volenec, J.J. y Axtell, J.D. 1986. Rate and extent of digestion of cell wall components of brown-midrib sorghum species. *Crop. Sci.* 26:1055-1059.
- Cottril, B.R., Beever, D.E., Austin, A.R. y Ousbourn, D.F. 1982. The effect of protein and non-protein nitrogen supplements to maize silage on total amino acids supply in young cattle. *Br. J. Nutr.* 48:527-541.
- Hill, G.M., Gates, R.N. y Burton, G.W. 1993. Forage quality and grazing steer performance from Tifton 85 and Tifton 78 bermudagrass pastures. *J. Anim. Sci.* 71(12):3219-3225.
- Isaacson, N.R., Bryant, F.C. y Owens F.C. 1975. Efficiency of energy utilization by mixed rumen bacteria in continuous culture. *J. Dairy Sci.* 58:1645-1659.
- Kemp, A., Hemkes, O.J. y van Stenberg, T. 1979. The crude protein production of grassland and the utilization by milking cows. *Neth. J. Agric. Sci.* 27:36-47.
- Lascano, C.E., y Euclides, V.P.B. 1996. Nutritional quality and animal production of *Brachiaria*. En: Miles, J.W., Maas, B.L. y do Valle, C.B. (eds.), *Brachiaria: Biology, agronomy and improvement*. CIAT, Cali, Colombia y EMBRAPA-CNPQC, Campo Grande, Brasil, pp. 106-123.
- Miles, J.W. y do Valle, C.B. 1996. Manipulation of apomixis in *Brachiaria* breeding. En: Miles, J.W., Maas, B.L. y do Valle, C.B. (eds.), *Brachiaria: Biology, agronomy and improvement*. CIAT, Cali, Colombia y EMBRAPA-CNPQC, Campo Grande, Brasil, pp. 164-177.
- Miles, J.W. y do Valle, C.B. 1997. Avances en el mejoramiento de *Brachiaria* en América Tropical. *Pasturas Tropicales* 19(2):50-52.
- Ørskov, E.R., y McDonalds, J. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 92:499-503.

- Pizarro, E.A., do Valle, C.B., Keller-Grein, G., Schultze-Kraft, R. y Zimmer A.H. 1996. Regional experience with *Brachiaria*: Tropical America-Savannas. En: Miles, J.W., Maas, B.L. y do Valle, C.B. (eds.), *Brachiaria*: Biology, agronomy and improvement. CIAT, Cali, Colombia y EMBRAPA-CNPq, Campo Grande, Brasil, pp. 225-246.
- Poppi, D.P., Minson, D.J. y Thernouth, J.H. 1980. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. I. The voluntary intake, digestibility and retention time in the reticulo-rumen. *Aust. J. Agric. Res.* 32:99-108.
- Rao, I.M., Miles, J.W. y Granobles, J.C. 1998. Differences in tolerance to infertile acid soil stress among germplasm accessions and genetic recombinants of the tropical forage grass genus, *Brachiaria*. *Field Crop Res.* 59:43-52.
- Shenk, J.S.; Westerhaus, M.O and Fahey, G.C. Jr. 1994. The application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. Forage quality, evaluation and utilization. pp 406-449.
- Stobbs, T.H., Minson, D.J. y McLeod, M.N. 1977. The response of dairy cows grazing a nitrogen fertilized grass pasture to a supplement of protected protein. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 89:137-141.
- Thomas, R.J. y Lascano, C.E. 1995. The benefits of forage legumes for livestock production and nutrient cycling in pasture and agropastoral systems of acid soils savannas of Latin America. In: Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa. V.2, Technical papers:277-291.
- Tilley, M.A. y Terry R.A. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grassland Soc* 18:104-111.
- Ulyatt, M.J., Macral, J.C., Clarke, R.T.J. y Pearce, P.D. 1975. Quantitative digestion of fresh herbage by sheep. IV. Protein synthesis in the stomach. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 84:453-458.
- Valerio, J.R., Lapointe, S.L., Kelemu, S., Fernández, C.D. y Morales, F.J. 1996. Pests and diseases of *Brachiaria* species. En: Miles, J.W., Maass, B.L. y do Valle, C.B. (eds.). *Brachiaria*: Biology, agronomy and improvement. CIAT, Cali, Colombia y EMBRAPA-CNPq, Campo Grande, Brasil, pp. 87-105.
- Vogel, K.P. y Sleper D.A. 1994. Alterations of plants via genetics and plant breeding. In: Fahey George Jr. (editor). Forage quality, evaluation and utilization. National Conference on Forage quality, evaluation and utilization, U. of Nebraska, Lincoln, 1994, pp. 891-921.