



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Potencial de la suplementación con biomasa obtenida a partir de la producción de bioetanol en ganaderías de clima frío dedicadas a la producción de leche

Wilyer De Jesús García Arboleda

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Departamento de Producción Animal
Medellín, Colombia
2013

Potencial de la suplementación con biomasa obtenida a partir de la producción de bioetanol en ganaderías de clima frío dedicadas a la producción de leche

Wilyer De Jesús García Arboleda

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Agrarias

Director:

Zootecnista. Ph.D. Luis Alfonso Giraldo V

Línea de Investigación:

Nutrición Animal

Grupo de Investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopasteoreo - BIORUM

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Producción Animal

Medellín, Colombia

2013

Nunca consideres el estudio como una obligación sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Albert Einstein

Agradecimientos

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a las siguientes personas, organizaciones e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo.

A mi familia, especialmente a mi madre por su eterna paciencia para conmigo durante el transcurso de estos estudios.

Profesor **Luis Alfonso Giraldo V.** Zootecnista. MSc, PhD. Universidad Nacional de Colombia por su orientación, confianza y apoyo en todo momento a lo largo de la ejecución de este trabajo.

Profesor **Alejandro Acosta Cárdenas.** Ingeniero Químico. MSc. y el Grupo de Biotransformación. Universidad de Antioquia. Por el suministro de la biomasa necesaria para llevar a cabo los experimentos de laboratorio y de campo.

Profesor **Guillermo Antonio Correa Londoño.** Ingeniero Forestal. MSc, PhD. Universidad Nacional de Colombia, por su valioso apoyo en todo lo relacionado con el diseño experimental y el análisis estadístico de la información.

Profesor **Juan E. Carulla Fornaguera.** B Sc. MSc, PhD. Por sus valiosas recomendaciones sobre el análisis estadístico de la información y la determinación del consumo de alimento bajo pastoreo.

Rosmary Rivera Correa. Zootecnista. (c)MSc. Por su apoyo durante el proceso de secado de la biomasa y su valiosa colaboración durante la ejecución del experimento *in vivo*.

Diana Marcela Valencia Echavarría. Zootecnista. (c)MSc. Por la enseñanza sobre el manejo de las técnicas y equipos de laboratorio necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Paula Andrea Giraldo Parra. Zootecnista. (c)MSc. Por su colaboración en la toma de muestras y análisis de laboratorio.

Aristides Ariel Martínez Gómez. Zootecnista. (c)MSc. Por su valiosa colaboración en la ejecución de los experimentos y análisis de laboratorio.

Alejandra Marín Gómez. Zootecnista. (c)MSc. Por su colaboración en la toma de muestras y análisis de laboratorio.

VIII Potencial de la suplementación con biomasa obtenida a partir de la producción de bioetanol en ganaderías de clima frío dedicadas a la producción de leche

Sr. **Neftalí Ortíz**. Administrador Centro Agropecuario Paysandú. Universidad Nacional de Colombia. Por facilitar las instalaciones, animales y equipos del centro agropecuario durante la ejecución del trabajo de campo.

A los demás trabajadores del Centro Agropecuario Paysandú, cuyos nombres no recuerdo pero que de una u otra forma hicieron posible la realización del ensayo con vacas en producción de leche, especialmente los ordeñadores.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) por la financiación del proyecto "*Mejoramiento del proceso de producción de limpia de alcohol carburante a partir de la yuca (Manihot esculenta crantz) y el uso de los efluentes en la alimentación de ganado y la producción de leche*" que fue ejecutado en convenio con la Universidad de Antioquia y a través del cual se financió esta investigación.

Grupo de Investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo BIORUM. Universidad Nacional de Colombia por facilitar las instalaciones y los equipos y materiales del Laboratorio de Biotecnología Ruminal para llevar a cabo la presente investigación.

Resumen

Se evaluó el efecto de la suplementación del pasto kikuyo con destilado de yuca obtenido como sub-producto en la elaboración de bioetanol a partir de la yuca sobre los principales parámetros de fermentación ruminal *in vitro* y su impacto sobre la producción y composición de la leche, consumo de materia seca del forraje y costos de producción. Los principales parámetros de fermentación ruminal *in vitro* a 24 horas de incubación fueron afectados positivamente por la suplementación con destilado de yuca. En el fermentador Rusitec, la suplementación con destilado y harina de yuca también afectó positivamente algunos de los parámetros de la fermentación ruminal y las poblaciones de algunos microorganismos ruminales (protozoos) y provocó una disminución en la concentración de N-NH₃. Por otro lado, la suplementación de vacas lactantes con destilado de yuca no afectó la producción de leche ni su composición, así como tampoco el consumo de materia seca del forraje, los costos de producción fueron mayores en las vacas suplementadas con destilado de yuca y la relación beneficio:costo fue menor en dicho tratamiento debido a la experimentalidad del proceso de obtención del bioetanol a partir de la harina de yuca.

Palabras clave: Destilado de yuca, kikuyo, fermentación ruminal, Rusitec, rumiantes, producción de leche.

Abstract

We evaluated the effect of supplementation of kikuyu grass with cassava distillate obtained as a by-product of the bioethanol production from cassava on the main rumen fermentation parameters *in vitro* and its impact on the production and milk composition, forage dry matter intake and production costs. The main rumen fermentation parameters *in vitro* at 24 hours of incubation were positively affected by supplementation with cassava distillate. In Rusitec fermenters, supplementation with distillate and cassava flour also positively affect some rumen fermentation parameter and some populations of rumen microorganisms (protozoa) and caused a decrease in the concentration of N-NH₃. Supplementation of lactating dairy cows with cassava distillate did not affect milk production or composition, nor the forage dry matter intake, production costs were higher in cows supplemented with cassava distillate and the benefit to cost ratio was lower in such treatment due to experimentality of the process used for the bioethanol production from cassava flour.

Keywords: Cassava distillate, kikuyu grass, ruminal fermentation, Rusitec fermenters, ruminants, milk production.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Abstract	X
Contenido	XI
Lista de figuras	XV
Lista de tablas	XVII
Introducción	1
1 Capítulo 1. La producción mundial de etanol y el uso de los subproductos del proceso en la alimentación de ganado lechero. Revisión	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Visión general de la producción mundial de bioetanol	8
1.2.1 Producción de etanol en los Estados Unidos de América	9
1.2.2 Producción de etanol en Brasil	9
1.2.3 Producción de etanol en la Unión Europea	9
1.2.4 Producción de etanol en China	9
1.2.5 Producción de etanol en Tailandia.....	10
1.2.6 Producción de etanol en países emergentes	10
1.2.7 Producción de etanol en Colombia	11
1.2.8 Materias primas empleadas para la producción de biocombustibles.....	13
1.2.9 Ventajas de la producción de bioetanol a partir de la yuca en Colombia.....	13
1.2.10 Descripción del proceso de producción de bioetanol a partir de la yuca	17
1.2.11 Producción y uso de los subproductos del etanol de maíz en los Estados Unidos	21
1.3 Origen del destilado de yuca y los granos de destilería	22
1.3.1 Características de la vinaza sub-producto resultante del proceso de producción de bioetanol.....	24
1.4 Composición química de los granos de destilería	26
1.4.1 Composición química general.....	26
1.4.2 Contenido de aminoácidos	28
1.4.3 Contenido de minerales	29
1.4.4 Contenido de lípidos	30
1.4.5 Contenido de carbohidratos y otros compuestos de bajo peso molecular	33
1.4.6 Aporte de energía	34

XII Potencial de la suplementación con biomasa obtenida a partir de la producción de bioetanol en ganaderías de clima frío dedicadas a la producción de leche

1.4.7	Causas de variación en el contenido de nutrientes de los DDGS	35
1.5	Degradabilidad ruminal de los granos de destilería provenientes de diferentes granos de cereales.....	36
1.6	Alimentación del ganado lechero con subproductos del bioetanol.....	37
1.6.1	Alimentación de vacas lactantes con granos de destilería.....	37
1.6.2	Los granos de destilería como fuente de proteína para vacas lactantes.....	38
1.6.3	Los granos de destilería como fuente de carbohidratos para vacas lactantes.....	40
1.6.4	Los granos de destilería como fuente de grasa para vacas lactantes.....	41
1.6.5	Los granos de destilería como fuente de minerales para vacas lactantes	45
1.6.6	Niveles de inclusión de los granos de destilería en las raciones para vacas lactantes.....	45
1.6.7	Análisis de los estudios con granos de destilería.....	47
1.6.8	Alimentación de vacas lecheras en pastoreo con granos de destilería.....	51
1.6.9	Alimentación de vacas lecheras con diferentes tipos de granos de destilería con solubles (DDGS).....	52
1.7	Conclusiones.....	54
	Literatura citada.....	55
2	Capítulo 2. Composición química del destilado de yuca y su efecto sobre los parámetros de la fermentación ruminal del pasto kikuyo <i>in vitro</i>	67
	Resumen.....	67
	Abstract.....	69
2.1	Introducción.....	71
2.2	Materiales y métodos	72
2.2.1	Localización	72
2.2.2	Tratamientos	72
2.2.3	Experimento 1	73
2.2.4	Experimento 2.....	74
2.2.4.1	Variables evaluadas a 24 y 48 horas de fermentación	74
2.2.4.1.1	<i>Determinación del volumen de gas.....</i>	<i>74</i>
2.2.4.1.2	<i>Determinación del pH del medio producto de la fermentación</i>	<i>75</i>
2.2.4.1.3	<i>Cuantificación de la concentración de amoníaco (N-NH₃) en el efluente.....</i>	<i>75</i>
2.2.4.1.4	<i>Medición de la degradabilidad de la materia seca (DMS)</i>	<i>75</i>
2.2.4.1.5	<i>Cuantificación de la degradabilidad de la fibra en detergente neutro (DFDN) y fibra en detergente ácido (DFDA)</i>	<i>75</i>
2.2.4.1.6	<i>Medición de la cantidad de ácidos grasos volátiles (AGV), producto de la fermentación ruminal in vitro</i>	<i>76</i>
2.3	Análisis estadístico.....	76
2.3.1	Experimento 1	76
2.3.2	Experimento 2	77
2.4	Resultados	77
2.4.1	Composición química del destilado de yuca y los tratamientos evaluados	77
2.4.2	Experimento 1	79
2.4.2.1	<i>Kikuyo de alta calidad nutritiva.....</i>	<i>79</i>
2.4.2.2	<i>Kikuyo de calidad nutritiva media.....</i>	<i>80</i>
2.4.2.3	<i>Kikuyo de calidad nutritiva baja.....</i>	<i>81</i>
2.4.3	Experimento 2	81
2.4.3.1	<i>Kikuyo de calidad nutritiva alta.....</i>	<i>81</i>

2.4.3.2	<i>Kikuyo de calidad nutritiva media</i>	84
2.4.3.3	<i>Kikuyo de calidad nutritiva baja</i>	86
2.5	Discusión	88
2.5.1	Composición química del destilado de yuca	88
2.5.2	Experimento 1	89
2.5.3	Experimento 2	90
2.6	Conclusiones	92
	Agradecimientos	93
	Literatura citada	93
3.	Capítulo 3. Evaluación del reemplazo del pasto kikuyo por destilado de yuca en las características de fermentación ruminal en un sistema RUSITEC	99
	Resumen	99
	Abstract	101
3.1	Introducción	102
3.2	Materiales y métodos	103
3.2.1	Localización	103
3.2.2	Equipo, animales y tratamientos	103
3.2.3	Procedimiento experimental	103
3.2.4	Análisis estadístico	105
3.3	Resultados	105
3.3.1	Composición química de los tratamientos	105
3.3.1.1	<i>Kikuyo alta calidad nutritiva</i>	106
3.3.1.2	<i>Kikuyo de baja calidad nutritiva</i>	107
3.4	Discusión	108
3.5	Conclusión	111
	Literatura citada	111
4.	Capítulo 4. Efecto de la suplementación con destilado de yuca sobre la producción y composición de la leche en un sistema de producción especializado de Antioquia	115
	Resumen	115
	Abstract	116
4.1	Introducción	117
4.2	Materiales y métodos	118
4.2.1	Localización	118
4.2.2	Diseño experimental	118
4.2.3	Recolección de datos y muestras	119
4.2.4	Estimación del consumo de materia seca	120
4.2.5	Análisis químicos	122
4.2.6	Análisis estadístico	122
4.3	Resultados	123
4.3.1	Composición química de la dieta	123
4.3.2	Producción, calidad composicional de la leche y consumo de materia seca	123
4.3.3	Evaluación económica	123
4.4	Discusión	124
4.5	Conclusión	128
	Agradecimientos	128
	Literatura citada	128

5. Capítulo 5. Discusión general	131
6. Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones	135
6.1. Conclusiones.....	135
6.2. Recomendaciones.....	136

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1. Producción mundial de etanol durante el año 2012. Fuente: F.O. Licht, Citado en Renewable Fuels Association, Ethanol Industry Outlook 2008-2013 reports. Disponible en www.ethanolrfa.org/pages/annual-industry-outlook	8
Figura 1-2. Producción de alcohol carburante en Colombia 2008 – 2012. Fuente: Fedebiocombustibles. Boletín informativo No. 81 Miércoles 23 de Enero de 2013. http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-1347.htm#nacional	11
Figura 1-3. Localización de las plantas productoras de etanol, capacidad instalada y distribución del porcentaje de mezcla de etanol en el territorio nacional. Esta distribución corresponde a octubre 1 de 2013 y puede cambiar a futuro. Fuente: Fedebiocombustibles. Cifras Informativas del Sector Biocombustibles - Alcohol Carburante (Etanol Anhidro) http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20ETANOL(59).pdf	12
Figura 1-4. Representación esquemática del proceso de elaboración de bioetanol a partir de la yuca. En la parte superior: Proceso tradicional. En la parte inferior: Sacarificación y Fermentación Simultáneas (SSF). A partir del efluente obtenido en la destilación se obtiene el “destilado de yuca”. Tomado de Ospina et al (2012).	19
Figura 1-5. Representación del proceso de producción de etanol a partir de la yuca (a) proceso tradicional, (b) SSF, Sacarificación y Fermentación Simultáneas y (c) SLSF, Licuefacción, Sacarificación y Fermentación simultáneas. Tomado de Siroth et al. (2012).....	20
Figura 1-6. Balance de masa para la producción de etanol a partir de yuca chips por el proceso SSF (Sacarificación y Fermentación Simultáneas). T/D: Toneladas/día, T/S: Solidos totales, L/D: Litros/día (Eficiencia de fermentación 90%, eficiencia de la destilación 98.5%. Fuente: Siroth et al., 2012.....	21
Figura 1-7. Consumo de granos del destilador por especie durante el año 2012 en los Estados Unidos. Fuente: RFA (2013) Ethanol Industry Outlook 2013.....	22

Figura 1-8. Representación esquemática de la obtención del etanol a partir de maíz y sus co-productos por medio del proceso de molienda seca. Fuente: http://www.inspection.gc.ca/DAM/DAM-animals-animaux/STAGING/images-images/feebet_distrillers_1329117566389_eng.jpg.23

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Análisis comparativo del maíz, caña de azúcar y yuca en la producción de etanol	16
Tabla 1-2. Composición química de cuatro tipos de vinaza proveniente del proceso de producción de bioetanol a partir de varios cultivos ricos en almidón y azúcar.	24
Tabla 1-3. Composición química general de los DDGS provenientes de diferentes plantas y años reportados por diferentes investigadores.	27
Tabla 1-4. Composición de aminoácidos de los DDGS reportados por diferentes autores.	31
Tabla 1-5. Concentraciones de minerales en los DDGS reportadas por diferentes autores.	32
Tabla 1-6. Análisis composicional de la biomasa celulósica de los granos de destilería húmedos (DWG) y DDGS.....	34
Tabla 1-7. Parámetros de la cinética de degradación ruminal <i>in situ</i> de la proteína y degradabilidad efectiva de diferentes granos de cereales.....	36
Tabla 1-8. Parámetros de la cinética de degradación ruminal <i>in situ</i> de la proteína y degradabilidad efectiva de los granos de destilería provenientes de diferentes granos de cereales.....	37
Tabla 1-9. Desempeño en la lactancia de vacas lecheras alimentadas con niveles crecientes de granos de destilería húmedos o secos.....	48
Tabla 1-10. Efecto de la relación forraje:concentrado en la dieta sobre el desempeño en lactancia.	49

Tabla 2-1. Composición química del destilado de yuca obtenido como subproducto de la producción de bioetanol a partir de la harina de yuca.....	78
Tabla 2-2. Composición química de los tratamientos evaluados en los dos experimentos.....	79
Tabla 2-3. Efecto del reemplazo de la proteína del pasto por proteína procedente del destilado de yuca sobre parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i>	80
Tabla 2-4. Parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i> a 24 y 48 horas de fermentación para el pasto Kikuyo de alta calidad nutritiva.....	83
Tabla 2-5. Parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i> a 24 y 48 horas de fermentación para el pasto Kikuyo de calidad nutritiva media.....	85
Tabla 2-6. Parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i> a 24 y 48 horas de fermentación para el forraje de pasto Kikuyo de calidad nutritiva baja.	87
Tabla 3-1. Composición química de los tratamientos bajo estudio.	106
Tabla 3-2. Parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i> evaluados en el sistema Rusitec para el pasto Kikuyo de calidad nutritiva alta.	107
Tabla 3-3. Parámetros de fermentación ruminal <i>in vitro</i> evaluados en el sistema Rusitec para el pasto Kikuyo de calidad nutritiva baja.	108
Tabla 4-1. Composición química del pasto kikuyo y los suplementos empleados en el experimento.....	119
Tabla 4-2. Producción, composición de la leche, consumo de MS y análisis económico de vacas Holstein alimentadas con una dieta tradicional (T0) y una dieta con destilado de yuca reemplazando el 20% del concentrado comercial (T1).	124

Introducción

El Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010, estableció que el gobierno nacional adelantaría las medidas necesarias para mejorar la calidad del diésel que se consume en el país y promoverá la competencia en el mercado de biocombustibles (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2009). Así mismo, identificó a los biocombustibles como productos de alto valor, con los cuales se busca diversificar la producción agropecuaria y conquistar nuevos mercados. En esa medida, el desarrollo de los biocombustibles se priorizó en las estrategias de los sectores agrícola, ambiental y de energía, por lo cual se identifica como un sector con potencial dentro de las políticas de desarrollo del país.

En aplicación de esta política, el Gobierno Nacional, ha venido impulsando la estrategia de biocombustibles a través de conjunto de instrumentos de política:

La ley 693/2001, por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes y se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo; ley 939/2004, por la cual se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en Motores diésel; el Decreto 383 de 2007, modificado parcialmente por el decreto 4051 de 2007, que establece estímulos para la implementación de zonas francas para proyectos agroindustriales en materia de biocombustibles; el decreto 2629 de 2007, por medio del cual se dictan disposiciones para promover el uso de biocombustibles en el país, así como medidas aplicables a los vehículos y demás artefactos a motor que utilicen combustibles para su funcionamiento; la ley 1111 de 2006, que establece una deducción del impuesto de renta del 40% de las inversiones en activos fijos reales productivos en proyectos agroindustriales, incluyendo “leasing” financiero; la ley 1133 de 2007, por medio de la cual se crea e implementa el programa “Agro Ingreso Seguro – AIS”; el decreto 2594 de 2007, por el cual se reglamenta el Art. 10 de la Ley 1133/07 (Fondo de Inversiones de Capital de Riesgo); el decreto 2328 de 2008, por el cual se crea la Comisión Intersectorial para Manejo de Biocombustibles y el decreto 1135 de 2009, por el cual se modifica el Decreto 2629 de 2007, en relación con el uso de alcoholes carburantes en el país y con las medidas aplicables a los vehículos automotores que utilicen gasolinas para su funcionamiento.

Adicionalmente, el documento CONPES 3510 del 31 de marzo de 2008 estableció los lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia. Como resultado de esta política nuestro país

produce aproximadamente 1.1 millones de litros diarios de etanol a partir de caña de azúcar cubriendo así cerca del 70% de la demanda nacional con 5 plantas ubicadas en los departamentos de Risaralda, Valle del Cauca y Cauca (MADR, 2009).

Como acciones complementarias, para la puesta en marcha de estas políticas, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), ha priorizado la inversión en proyectos de investigación en el campo de los biocombustibles, con el objeto de mejorar la productividad de la producción actual y además, evaluar la eficiencia de diferentes materias primas alternativas. La investigación de los rendimientos de las distintas materias primas y de sus propiedades físicas y químicas, se está realizando a través de proyectos para la producción de etanol a partir de caña, yuca y sorgo dulce y los proyectos de biodiesel a partir de palma, higuerilla, piñón, sachá inchi y algas.

Uno de los principales retos para el desarrollo de la industria del etanol es la creación de mercados para los subproductos que se obtienen en la fabricación de este biocombustible. En el año 2008 se pusieron en marcha en Colombia varias plantas de manufactura de etanol, que demandan una alta cantidad de materia prima de especies diversas, que incluyen la yuca, lo que implica una producción alta de esta materia prima.

La yuca es una de las alternativas potenciales como fuente complementaria de materia prima para la producción de alcohol carburante. Varios antecedentes refuerzan esta alternativa: Colombia es el tercer productor de yuca en América, después de Brasil y Paraguay, con una producción de 2 millones de toneladas/año (Global Cassava Market FAO, 2004); en el año 2008 el área total cultivada fue de 182.465 hectáreas con una producción total de 1.994.741 toneladas y un rendimiento promedio de 10.9 toneladas/ha (Agronet, 2010). La yuca presenta características que lo posicionan como una alternativa rentable en aquellas zonas cuyas condiciones ambientales o de calidad de suelos no son aptas para el cultivo de caña de azúcar. Entre estas ventajas se encuentra su alta resistencia a la sequía y su adaptación a diversos tipos de suelo, como aquellos con altos contenidos de aluminio y manganeso, característicos de las sabanas tropicales, y que resultan poco aptos para otro tipo de cultivos. Por otra parte, la obtención a gran escala de etanol a partir de yuca permitiría la estabilización de los precios de etanol y azúcar obtenidos a partir de caña, los cuales son altamente interdependientes, y fluctúan de acuerdo a la demanda de etanol o azúcar en un momento dado.

Los rendimientos obtenidos en Urabá compiten con estándares internacionales (por ejemplo, India y Tailandia -25 ton/ha-, y considerando que se puede obtener 200 litros de etanol por tonelada de yuca fresca (Atthasampunna, 1987), de manera que cada hectárea estaría en capacidad de producir 5000 litros de alcohol carburante, una cifra comparativamente alta frente a otras fuentes de biomasa. (Valor que resulta de multiplicar 25 ton/ha × 200 litros/ton).

Para transformar el potencial de la yuca como fuente alternativa de biomasa para la producción de alcohol carburante en una realidad que satisfaga las directrices gubernamentales en materia de precios, y su aplicación en la alimentación animal ya sea a partir de la harina de yuca o de los subproductos de la fermentación alcohólica, se requiere definir programas en los que se identifiquen las condiciones de proceso y las tecnologías para producir alcohol carburante bajo esquemas que definan altas productividades y la aplicación de subproductos generados del proceso. Es por ello que, una de las cadenas que se puede acoplar a este programa es la láctea, ya que mediante el uso de la harina de yuca y los subproductos de la fermentación (biomasa de levaduras ricas en proteína) como suplemento alimenticio se puede mejorar la calidad de la leche, sus atributos funcionales y disminuir los costos de producción en lecherías del trópico alto de Colombia.

Adicionalmente, en la región del Urabá Antioqueño, existe una planta de producción de harina de yuca propiedad de FUNDAUNIBAN, aunque el producto obtenido de dicha planta no es apto para consumo humano, sin embargo tiene altas posibilidades de ser usado en alimentación animal ya que se elabora con yuca de rechazo y variedades de yuca no aptas para el consumo humano como la copiblanca, la cual puede ser mezclada con la biomasa y forrajes actualmente en uso tanto en ganaderías de leche de clima frío como de clima cálido para la alimentación del ganado.

Dentro de las líneas estratégicas de investigación priorizadas por el MADR, para la cadena láctea y cárnica del país, se encuentra la calidad composicional de la leche y la carne, debido a que se ha demostrado que esta es, en promedio, inferior a la reportada por otros países, lo que limita la competitividad de estos productos en los mercados nacionales e internacionales. El diseño y optimización de dietas alimenticias, para la producción de leche y carne, basadas en el uso de subproductos de la industria de los biocombustibles, tiene un potencial inmenso para incrementar la productividad y mejorar su calidad composicional (proteína y grasa principalmente).

Como estrategia para mejorar la productividad y competitividad del sector lácteo, en el año 2010, el gobierno nacional propuso la política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano (Conpes, 3675) mediante el desarrollo de estrategias e instrumentos que permitan disminuir los costos de producción e incrementar la productividad del sector lácteo dado que este cumple un papel central en la economía nacional, en la generación de empleo, en la seguridad alimentaria y en el desarrollo local y nacional. Por lo anterior es preciso resaltar la importancia que tiene una mejora en la competitividad de cada uno de los eslabones de la cadena (Conpes, 3675). Esta disminución de los costos de producción se puede lograr mediante el fomento de alternativas alimenticias, el mejoramiento genético y la investigación en innovación tecnológica.

Lo anterior, apoya la necesidad de llevar a cabo procesos de investigación para evaluar el uso potencial de la biomasa disponible por la industria de bioetanol, con miras a su integración a la cadenas láctea y cárnica, como suplemento alimenticio para incrementar la calidad de ambos productos y su relación con su funcionalidad y los costos de producción en lecherías del trópico alto de Colombia y de carne en el país; con el fin de generar información relevante, precisa y necesaria que permita el diseño, implementación y desarrollo de sistemas de alimentación, cuya finalidad sea mejorar la calidad composicional de la leche y la carne en el corto y mediano plazo.

Ello redundará en la orientación a los productores ganaderos sobre como alimentar sus vacas para obtener mejor calidad de ambos productos así como también en el mejoramiento del ingreso y, por ende de la competitividad y sostenibilidad económica del sector.

El abordaje de esta problemática sería un paso inicial frente a los retos que implican la utilización de la harina de yuca y la biomasa como subproducto del proceso de obtención de etanol para el sector ganadero del país, con miras a incrementar su competitividad, que actuaría como complemento al dinámico sector de los biocombustibles en Colombia.

Nuestra hipótesis es que debido a las características de contenido de nutrientes, alta digestibilidad y contenido de energía del destilado de yuca obtenido como subproducto en la elaboración de bioetanol a partir de la yuca este recurso puede ser empleado como suplemento alimenticio para ganado sin afectar negativamente su desempeño.

Por otro lado, el objetivo del presente trabajo fue determinar el potencial como suplemento alimenticio del destilado de yuca obtenido como sub-producto en la obtención de bioetanol a partir de la yuca en ganaderías de clima frío dedicadas a la producción de leche.

El presente documento se enmarca en seis capítulos. En el primer capítulo se presenta una revisión general sobre la producción mundial de etanol, el estado de la producción de etanol en Colombia, las ventajas que tiene el cultivo de la yuca para la producción de etanol en nuestro país y una breve descripción del proceso de elaboración de dicho biocombustible. Posteriormente y debido a la virtual ausencia de información publicada sobre el uso de los subproductos del proceso de producción de bioetanol a partir de la yuca se hace una revisión del estado del arte sobre el uso de los subproductos de la producción de bioetanol a partir del maíz ya que estos han sido ampliamente estudiados en los últimos años en los Estados Unidos principalmente.

En el capítulo 2 se presenta la composición química del destilado de yuca y se presentan los resultados de la evaluación *in vitro* del efecto del reemplazo de proteína del pasto kikuyo por proteína proveniente de este subproducto sobre los

principales parámetros de la fermentación ruminal de tres muestras de pasto kikuyo de calidad nutritiva alta, media y baja (asignada en función del contenido de proteína). Aquí se evidencia que la composición química del destilado de yuca es bastante diferente a la del subproducto obtenido de la destilería de maíz debido a las características de la materia prima (yuca) empleada aunque compartan algunas características básicas. Así mismo, se evidencia un efecto positivo del reemplazo de proteína del pasto por proteína proveniente del destilado de yuca en los pastos de alta y baja calidad nutritiva. Como dicho reemplazo de proteína del pasto por proteína del destilado de yuca derivó en niveles de reemplazo del pasto con base en los resultados observados se estimó un nivel de inclusión o reemplazo del forraje por destilado de yuca del 20% como el óptimo biológico ya que en niveles superiores parece no haber efecto sobre los parámetros de la fermentación ruminal.

En el capítulo 3, con base en los resultados obtenidos en el capítulo anterior se abordó el uso del destilado de yuca como reemplazo del forraje de dos muestras de pasto kikuyo de calidad nutritiva contrastante (alta y baja) a un nivel del 20% y se determinó su impacto nuevamente sobre parámetros de la fermentación ruminal *in vitro* pero usando la técnica de cultivos no renovados de microorganismos ruminales de larga duración. Nuevamente se evidenció un efecto positivo del destilado de yuca sobre varios de estos parámetros al igual que sobre algunas poblaciones de microorganismos ruminales, demostrando que dicho subproducto puede ser empleado en la alimentación de rumiantes toda vez que su uso representando el 20% de la ración no afecta negativamente la función del rumen.

Luego en el capítulo cuatro se lleva a cabo la aplicación del destilado de yuca en un sistema de producción de bovinos de lechería especializada. Se evaluó el reemplazo del 20% de un concentrado comercial sobre la producción y composición de la leche, así como también sobre el consumo de materia seca del forraje y se realizó una evaluación económica del impacto de dicha suplementación. Aquí se evidenció que el reemplazo del 20% del concentrado por destilado de yuca no tuvo efecto sobre la producción y composición de la leche, así como tampoco sobre el consumo de materia seca del forraje. Los costos de producción de un litro de leche fueron mayores en el tratamiento con destilado de yuca debido a que este subproducto tiene un alto costo de obtención debido a que se obtiene bajo condiciones experimentales a nivel de planta piloto de etanol de yuca de 500 litros y el proceso no está optimizado para la obtención de dicho subproducto.

En el capítulo cinco se lleva a cabo una discusión general de los resultados de la investigación en el contexto de la coyuntura actual del sector lechero y las oportunidades que este subproducto puede llegar a ofrecer si eventualmente llega a estar disponible en grandes cantidades y a un precio competitivo. Así mismo, se procura orientar las futuras investigaciones tendientes a generar más

conocimiento sobre el destilado de yuca y otros posibles usos diferentes a la alimentación animal.

Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones generales orientadas al desarrollo de trabajos futuros que enriquezcan el campo de investigación abordada en este trabajo.

Literatura Citada

ATTHASAMPUNNA, P.; Eur-aree, A. 1987. Utilization of Cassava for Ethanol Production. *In* Upgrading of Cassava/Cassava Wastes by Appropriate Biotechnology. Bangkok, Thailand.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, Consejo Nacional de Política Económica y Social Conpes. 2008. Lineamientos de Política para Promover la Producción Sostenible de Biocombustibles en Colombia (Conpes 3510). Colombia. 44 pp.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, Consejo Nacional de Política Económica y Social Conpes. 2010. Política Nacional para Mejorar la Competitividad del Sector Lácteo Colombiano. Bogotá. Colombia. 50 pp.

FAO, 2004. Volume 6. Global Cassava Market Study: Business Opportunities for the Use of Cassava. En Proceedings of the Validation Forum on the Global Cassava Development Strategy. Food and Agriculture Organization of the United Nations [En línea]. <<http://www.fao.org/docrep/007/y5287e/y5287e00.htm#Contents>>. [Citado en 30 de Enero de 2013].

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL –MADR–. 2009. Políticas y Programas Misionales. Empresarización de Actividades Agropecuarias. Biocombustibles. [en línea]. <<http://www.minagricultura.gov.co/02componentes/05biocombustible.aspx>>. [Citado en 29 de enero de 2013].

NAM, I. S., and Garnsworthy, P.C. 2007. Biohydrogenation of linoleic acid by rumen fungi compared with rumen bacteria. *Journal of Applied Microbiology* 103 (2007) 551–556.

OR-RASHID, M. M., Odongo, N.E., and McBride, B.W. 2007. Fatty acid composition of ruminal bacteria and protozoa, with emphasis on conjugated linoleic acid, vaccenic acid, and odd-chain and branched-chain fatty acids. *J. Anim. Sci.* 2007. 85:1228–1234.

1 Capítulo 1. La producción mundial de etanol y el uso de los subproductos del proceso en la alimentación de ganado lechero. Revisión

1.1 Introducción

A nivel global el modelo energético actual basado en el consumo de combustibles fósiles genera diversos problemas a causa del carácter no renovable de éstos, la contaminación del medio ambiente que producen, la liberación de gases de efecto invernadero, además de frecuentes conflictos en el ámbito geopolítico entre países productores y consumidores. La producción de biocombustibles representa una alternativa energética viable frente a la utilización de energía proveniente de combustible fósil. Los biocombustibles son los combustibles obtenidos a partir de carbohidratos provenientes de material vegetal, particularmente productos ricos en sacarosa, almidón o celulosa para la obtención de bioetanol (Cortés *et al.*, 2010).

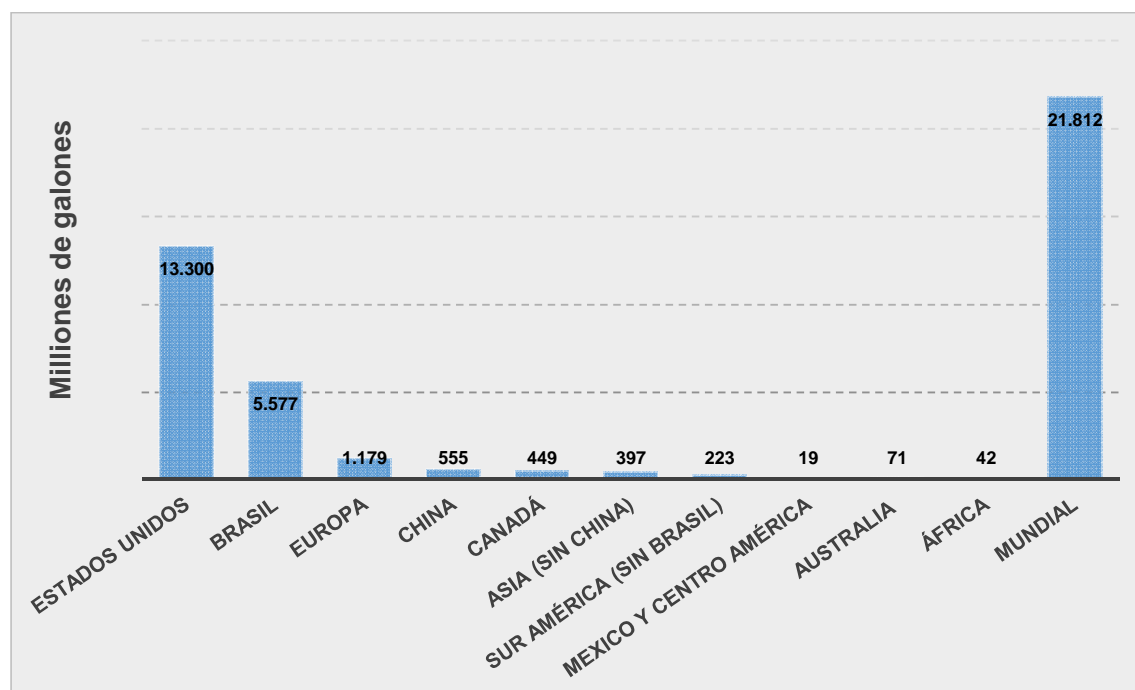
En los Estados Unidos existe un amplio mercado para el etanol producido a partir de almidón de maíz, mientras que en Brasil el etanol obtenido a partir de caña de azúcar es ampliamente utilizado (Somerville, 2007). Planes de utilización de biocombustibles a gran escala, con incrementos en su uso de entre el 8% en Europa, 10% en China, 22% en Brasil y la meta de Estados Unidos de triplicar su producción en diez años, se están llevando a cabo (Balat y Balat, 2009). La producción de biocombustibles puede contribuir a generar desarrollo en los países pobres y servir como alternativa a los cultivos ilícitos. Nuestro país tiene características propicias para la producción de biocombustibles debido a su ubicación tropical, cultura agrícola y disponibilidad de tierras aptas para determinados cultivos hacen que esta práctica sea viable.

1.2 Visión general de la producción mundial de bioetanol

La industria global de los biocombustibles ha crecido significativamente en los últimos años y está haciendo una contribución significativa a las economías de los países productores y a la economía global en conjunto (Urbanchuk, 2012). Los factores clave para el desarrollo de la industria mundial de los biocombustibles son los deseos de desarrollar fuentes alternativas de energía en respuesta a los elevados precios del crudo, generar mayores ingresos para los agricultores a través de la producción de biocombustibles de valor agregado, mitigar el cambio climático y estimular la producción agrícola. Como reflejo de esto, el crecimiento en las industrias del etanol y biodiesel ha sido estimulado por las políticas nacionales en la forma de mandatos y metas de energía renovable, así como también debido a los precios del crudo y el petróleo refinado (Urbanchuk, 2012).

La producción mundial de etanol se estimó en 21.812 millones de galones en el año 2012 (RFA, 2012). Dicha producción es dominada por los tres principales productores a saber: Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea, quienes juntos suman cerca del 92% de la producción global (Figura 1-1).

Figura 1-1. Producción mundial de etanol durante el año 2012. Fuente: F.O. Licht, Citado en Renewable Fuels Association, Ethanol Industry Outlook 2008-2013 reports. Disponible en www.ethanolrfa.org/pages/annual-industry-outlook



1.2.1 Producción de etanol en los Estados Unidos de América

Estados Unidos ha superado a Brasil como el mayor productor de etanol a nivel mundial debido a la implementación del Estándar de Combustibles Renovables (RFS2) el cual ordena el uso de 36 billones de galones de combustibles renovables en el suministro de combustible para motores en 2022. En la actualidad, prácticamente todo el etanol producido en los E.U usa granos (maíz) como materia prima (Urbanchuk, 2012). La industria del etanol ha crecido hasta llegar a 211 plantas que operan en 29 estados con una capacidad de producción anual de 14.800 millones de galones (RFA 2013). Estados Unidos produjo en el año 2012 13.300 millones de galones de etanol (Figura 1-1)

1.2.2 Producción de etanol en Brasil

Brasil es el segundo productor de etanol a nivel mundial, su creciente demanda interna es alimentada por el aumento de los ingresos y una flota cada vez mayor de vehículos de combustible flexible. La principal materia prima para la producción de etanol en Brasil es la caña de azúcar, con un estimado de la mitad de la cosecha dedicada a la producción de etanol (Urbanchuk, 2012) en 2012 la producción de etanol alcanzó los 5.577 millones de galones (Figura 1-1).

1.2.3 Producción de etanol en la Unión Europea

La Unión Europea es el tercer productor mundial de etanol, empleando como materias primas granos y remolacha azucarera, en 2012 la producción alcanzó la cifra de 1.179 millones de galones. Estimulada por la Directiva de Energías Renovables de la U.E (RED), que exige que fuentes de energía renovables representen el 10% de los combustibles para el transporte en 2020, se prevé que la producción de etanol en la UE aumente fuertemente durante la próxima década (Urbanchuk, 2012). Francia es el mayor productor europeo de etanol, seguido por Alemania y el Reino Unido. En conjunto estos tres países cuentan con cerca de la mitad de la capacidad instalada para la producción de etanol en la UE. Las principales materias primas empleadas para la producción de etanol son granos (trigo y cebada), las cuales cuentan por cerca de dos tercios de la producción, y remolacha azucarera, la cual completa el balance (Urbanchuk, 2012).

1.2.4 Producción de etanol en China

En el año 2012 China contaba con cinco plantas de producción de etanol, cuatro de ellas usan granos (maíz y trigo) como materia prima y una usa tubérculos (yuca), en 2012 se alcanzó una producción de 555 millones de galones de etanol, cifra considerablemente más baja que la registrada en el año 2011 (2.255 millones de litros). La planta basada en yuca produjo cerca de 152 millones de

litros. Se ha indicado que el gobierno chino no aprobará el uso de tierra adicional para expansión de la industria, por el contrario ha impuesto restricciones sobre el uso de granos para la producción de etanol. En este país los precios del mercado del petróleo determinan la tasa de mezclado para el alcohol carburante, la cual típicamente varía entre 8-12% (GAIN Report No. 12044).

1.2.5 Producción de etanol en Tailandia

El gobierno de Tailandia ha cambiado recientemente su Plan de Desarrollo de Energías Alternativas (2008 – 2022) por un nuevo plan de 10 años (2012 – 2021) el cual fue aprobado en Diciembre 7 de 2011. El objetivo de este nuevo plan es incrementar la cuota de energía renovable y alternativa del actual 9.4% del consumo total de energía a 25% para 2021, comparado con el 20% en el antiguo plan. Para hacer operacional este nuevo plan, el gobierno de Tailandia tiene planes estratégicos para suplir la demanda por materias primas y combustibles así: Mejorar la producción de la caña de azúcar por encima de 94 ton/ha alcanzando una producción anual de 105 millones de toneladas, y para la yuca más de 31 ton/ha con una producción total de 35 millones de toneladas para 2021. Por otro lado, el gobierno subsidiará el gasohol E20 (una mezcla 20% etanol 80% gasolina) a través del fondo estatal del petróleo, 36 centavos de dólar/galón más barato que la gasolina normal (GAIN Report No. TH2064).

En 2012 el número de plantas de etanol en funcionamiento fue de 21 con una capacidad de producción total de 3.715 millones de litros por día. Hay seis plantas que emplean yuca como materia prima con una capacidad de producción total de 0.75 millones de litros/día. De estas se espera que dos operen como exportadoras (GAIN Report No. TH2064). La producción de etanol a base de melaza domina la producción con 1.44 millones de litros/día. 70% de las plantas de etanol tienen la producción de azúcar como actividad principal.

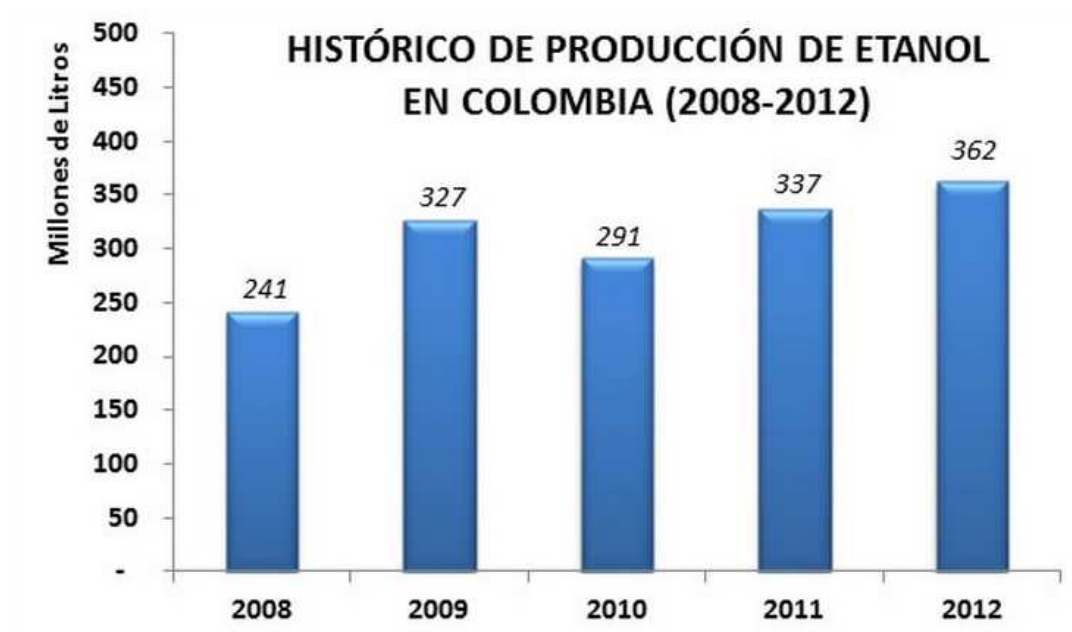
1.2.6 Producción de etanol en países emergentes

Con relativamente pocas excepciones (notablemente UE y Japón) el crecimiento más significativo en la producción de etanol en la década 2010-2020 se espera que tenga lugar en países emergentes y en desarrollo, principalmente en Asia (China, Tailandia, Filipinas y Vietnam) y África (Tanzania y Mozambique). Se cree que estos países en desarrollo tendrán un crecimiento excepcional en su demanda interna, pero desde una perspectiva volumétrica de la cantidad de biocombustibles que producirán seguirán representando una pequeña porción de la producción mundial. La mayor demanda de biocombustibles, su producción y el consecuente aumento de precios de los productos agrícolas puede representar una oportunidad para promover el crecimiento agrícola y el desarrollo rural en los países en desarrollo (Urbanchuk, 2012).

1.2.7 Producción de etanol en Colombia

En Colombia y otros países la producción de etanol para combustible ha experimentado un aumento en el crecimiento durante la última década. Según Fedebiocombustibles la producción de alcohol carburante en Colombia fue de aproximadamente 362 millones de litros en 2012, lo cual significó un aumento de 7.4% con respecto a la producción registrada en el año inmediatamente anterior, en el cual se produjeron 337 millones de litros. Comparado con el año 2010, el aumento de la producción llegó a ser del 24.3% de los 291 millones de litros reportados (Figura 1-2).

Figura 1-2. Producción de alcohol carburante en Colombia 2008 – 2012. Fuente: Fedebiocombustibles. Boletín informativo No. 81 Miércoles 23 de Enero de 2013. <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-1347.htm#nacional>.

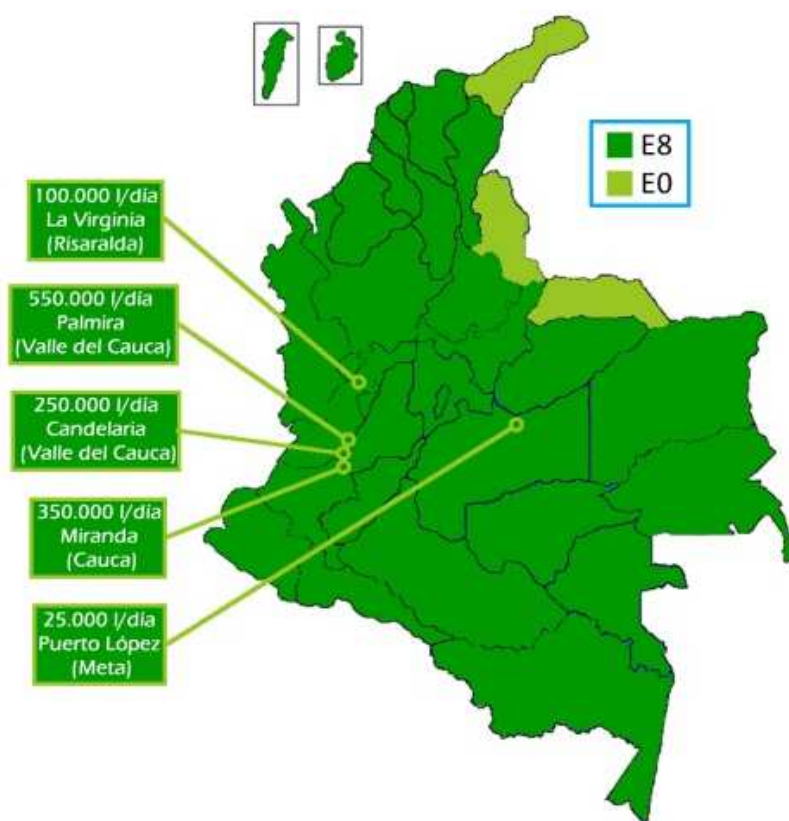


La producción nacional ha sido impulsada por los grandes ingenios azucareros localizados al suroccidente del país. Estas empresas usan parte de su producción de caña de azúcar para producir etanol que luego venden a las grandes empresas mayoristas de combustibles, por lo tanto la distribución del etanol en nuestro país se da sur-norte (Proexport, 2012). La capacidad instalada actual es de 1.275.000 L/día, dicha producción suple solo el 82% de la demanda generada por las mezclas E10, debido a esta deficiencia la mezcla se redujo a E8.

El 98% de la producción de etanol se obtiene a partir de la caña de azúcar y el 2% restante a partir de la yuca. Existen seis plantas de etanol en el país localizadas en el suroccidente del país (Risaralda, Valle del Cauca y Cauca) y los llanos orientales (Meta), en este último departamento la producción de etanol se

deriva de la yuca (Fedebiocombustibles) Figura 1-3. Actualmente la política de mezclas vigente exige una mezcla obligatoria de etanol entre 8% y 10% con gasolina y del 10% de biodiesel con diésel.

Figura 1-3. Localización de las plantas productoras de etanol, capacidad instalada y distribución del porcentaje de mezcla de etanol en el territorio nacional. Esta distribución corresponde a octubre 1 de 2013 y puede cambiar a futuro. Fuente: Fedebiocombustibles. Cifras Informativas del Sector Biocombustibles - Alcohol Carburante (Etanol Anhidro) [http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20ETANOL\(59\).pdf](http://www.fedebiocombustibles.com/files/Cifras%20Informativas%20del%20Sector%20Biocombustibles%20-%20ETANOL(59).pdf)



Debido a la carencia de información sobre la composición química y el uso de los subproductos del alcohol carburante obtenido a partir de la yuca (DDS o destilado de yuca) en la alimentación animal (Shetty *et al.*, 2007), pero dado que los niveles de proteína son tan bajos en el tubérculo, se presume que la proteína en sus DDGS también debería ser baja (Moreau *et al.*, 2011b). Esta revisión de literatura se basará en la información disponible sobre los tipos, propiedades y usos de los granos de destilería (DDG) obtenidos como co-producto en la producción de alcohol carburante a partir del maíz en la alimentación de ganado lechero.

1.2.8 Materias primas empleadas para la producción de biocombustibles

Los biocombustibles, básicamente bioetanol y biodiesel, son obtenidos a partir de material vegetal, particularmente productos ricos en sacarosa, almidón o celulosa para la obtención de bioetanol (Gray *et al.*, 2006), y productos ricos en aceites para el caso del biodiesel (Demirbas, 2007). Dentro de los productos ricos en sacarosa se encuentra la caña de azúcar, la melaza, el sorgo dulce y la remolacha, entre otros (Goldemberg, 2007), mientras que entre los cultivos con alto contenido de almidón para la producción de biocombustibles se encuentran los cereales, básicamente maíz, trigo y cebada, o también diferentes cultivos con raíces o tubérculos almacenadores de almidón como papa o yuca (McLaren, 2005; Moreau *et al.*, 2011b; Shetty *et al.*, 2007). Plantas con alto contenido de almidón son propicias para la producción de etanol pues este producto de almacenamiento de carbohidratos es más fácilmente fermentable que otro tipo de polímeros de glucosa como la celulosa.

Así, en los Estados Unidos se ha generalizado el uso del maíz como materia prima para la producción de bioetanol a causa de la vasta experiencia de los cultivadores de este producto, junto con el alto rendimiento de las variedades utilizadas y el gran desarrollo tecnológico en la extracción del bioetanol a partir del almidón del grano (Dien *et al.*, 2002). En Brasil la principal materia prima para este biocombustible es la caña de azúcar, ya que la productividad de esta planta, de metabolismo tipo C₄, el cual es más eficiente respecto a la fijación de CO₂ en zonas tropicales es alta y, al igual que en el caso de Estados Unidos, existe una infraestructura de obtención de bioetanol bastante desarrollada (Parikka, 2004). En países asiáticos como Tailandia y China se empieza a generar una industria de producción de bioetanol a partir del cultivo de yuca, el cual tiene una larga tradición en estas zonas y que tiene a Tailandia como su mayor productor a nivel mundial (Nguyen *et al.*, 2007).

1.2.9 Ventajas de la producción de bioetanol a partir de la yuca en Colombia

En nuestro país es posible la obtención de biocombustibles a partir de diferentes cultivos, lo que puede propiciar un clima saludable no solo para dichos cultivos sino también para las industrias y los mercados basados en cada uno de estos. Así mismo, la industria de los biocombustibles permitirá generar una gran cantidad de empleos nuevos que redundará en un fuerte impacto social. El desarrollo de la agricultura se beneficiará de la industria de la producción de biocombustibles, y proveerá a los campesinos de una nueva fuente de ingresos y estabilidad laboral que ayudará a reducir los problemas de desempleo y hambre que se presenta en el sector rural de muchos países del mundo (Seixas, 2006). Los combustibles derivados de la biomasa vegetal ofrecen una excelente

oportunidad de energía alternativa convencional que puede tener un gran impacto no sólo sobre el crecimiento económico de los países, y sobre la seguridad energética y ambiental, sino también un fuerte impacto social dado por la creación de nuevos empleos en el sector rural e industrial, lo cual puede promover una mejor calidad de vida de la población (Cortés *et al.*, 2010).

Una de las mayores apuestas que el gobierno nacional propuso para dinamizar la economía rural es el establecimiento de una industria nacional de biocombustibles basada en el etanol y el biodiesel. La producción de bioetanol en Colombia se ha centrado básicamente en el empleo de la caña de azúcar como materia prima, aprovechando las ventajas que ésta ofrece y la tradición y desarrollo del sector cañero en Colombia. Por otro lado, El cultivo de yuca es uno de los más promisorios para la obtención industrial de bioetanol en Colombia. La yuca es considerada como un cultivo de subsistencia, debido a su alta capacidad de adaptación a suelos ácidos e infértiles, a su relativa resistencia a malezas y plagas y a su habilidad para resistir largos períodos de sequía. Crece en áreas en donde la precipitación anual es mayor de 500 mm y la temperatura es superior a 20° C, sin embargo algunas variedades crecen a los 2000 m de altura o áreas subtropicales, con temperatura promedio de 16° C (Ekanayake *et al.*, 1997).

Así mismo, la yuca es la principal fuente de ingresos para un gran porcentaje de pequeños campesinos. La yuca es un alto productor de almidón con niveles que oscilan entre 73,7 y 84,9% del peso seco total en raíces (Tonukari, 2004). El almidón de yuca presenta características interesantes en comparación con el almidón de otras especies vegetales como el maíz, la papa o el arroz. Esto hace que su utilización sea apropiada para ciertas industrias. Las cantidades de proteínas y de materia grasa en el almidón de yuca son más bajas que las del almidón de maíz o arroz, lo que le da características especiales de sabor y solubilidad (Ihemere, 2003). Los gránulos del almidón de yuca son más pequeños que los del almidón de papa y son más resistentes a los procesos que implican altas temperaturas como la esterilización y fragmentación (Cortés *et al.*, 2010).

El almidón de la yuca presenta además una mayor viscosidad después de calentamiento, lo que es de gran utilidad para la obtención de productos alimenticios y culinarios. El almidón de la yuca posee una excelente claridad lo que lo hace ideal para el desarrollo de geles transparentes. De igual manera su resistencia al congelamiento tiene aplicaciones importantes en otro tipo de industrias. El almidón de yuca es también utilizado en la fabricación de papel, como lubricante en la perforación de pozos petroleros, en la industria textil y en la producción de dextrinas para la elaboración de pegantes (Baguma, 2004). En la actualidad el almidón de yuca ha cobrado un renovado interés industrial, particularmente en el sector de biocombustibles, por cuanto a partir de la degradación del almidón y la fermentación de los azúcares que lo forman se puede producir bioetanol (Cortés *et al.*, 2010).

En Colombia, a diferencia de la caña de azúcar, la yuca tiene alta potencialidad como materia prima para la producción de etanol. La yuca se caracteriza por ser un tubérculo con alto contenido de almidón en base seca, que la hacen potencialmente útil como materia prima, además de impactar positivamente las áreas de influencia donde es cultivada (Clayuca, 2006). Existen variedades de yuca con potencialidad de producir 25-30 ton/ha año; de cada tonelada de yuca pueden extraerse entre 180 y 200 litros de etanol, una ventaja frente a la caña, de la cual sólo se obtienen de 70 a 80 litros por hectárea en el mundo (Cerat, 2007) aunque otros estimados dan fe que de 7.2 toneladas de yuca fresca o 3 toneladas de yuca seca se puede producir 1 tonelada de etanol (Li y Chan-Halbrendt, 2009). Sin embargo, los resultados anteriores se deben contrastar con los altos valores de productividad del cultivo de la caña en Colombia (120 ton/ha año). La yuca constituye una excelente fuente para la producción de alcohol, gracias a su rendimiento, disponibilidad de territorios tropicales y rentabilidad (Clayuca, 2007).

Otra de las ventajas para la producción de etanol a partir de la yuca es que Colombia es el tercer productor de yuca en América, después de Brasil y Paraguay, con una producción de 2 millones de toneladas/año (Global Cassava Market FAO, 2004); en el año 2008 el área total cultivada fue de 182.465 hectáreas con una producción total de 1.994.741 toneladas y un rendimiento promedio de 10.9 toneladas/ha (Agronet, 2010). La región del Urabá antioqueño posee gran potencial para el desarrollo agroindustrial con cultivos propios de la región, tales como plátano, banano y yuca. Los rendimientos en la producción de yuca en la zona alcanzan en promedio 21 ton/ha (Sureh *et al*, 1998), pero con variedades comerciales de consumo se han logrado 25 ton/ha. Variedades como Verónica y Gineés, transferidas a los agricultores, han alcanzado productividades hasta de 30 ton/ha (Alkasrawi *et al*, 2003). Es importante resaltar el hecho de que la mayor productividad agrícola y los altos contenidos de almidón hacen que las variedades de yuca citadas arriba ofrezcan ventajas como fuente de materia prima para la producción de biocombustibles, comparadas con otras fuentes de biomasa. Inclusive bajo condiciones experimentales se han logrado producciones de 80 ton/ha sin embargo estos rendimientos aún no se han podido trasladar a las condiciones de cultivo de campo.

Castaño (2008) calculó la productividad de etanol en litros/ha cultivada en yuca y encontró que la caña de azúcar presenta la mayor productividad en la obtención de etanol, en litros/ha año, gracias a su alto rendimiento agrícola (85 ton/ha), superando a la yuca en 1000 litros/ha año. Como materia prima para la obtención de etanol, los cultivos de yuca y caña tienen bondades evidentes, ya que duplican sus niveles de productividad frente al maíz (6500, 7200 vs. 3000 respectivamente) (Tabla 1-1).

Tabla 1-1. Análisis comparativo del maíz, caña de azúcar y yuca en la producción de etanol

Cultivo	Maíz	Caña de azúcar	Yuca
Productividad (ton/ha año)	8.0	85.0	30.0
Azúcares fermentables totales (%)	62.0	14.5	35.0
Productividad en azúcares (ton/ha/año)	5.0	12.3	10.5
Productividad de etanol (litros/ha año)	3000	7200	6500

Tomado de Castaño (2008).

En Tailandia se evaluó en términos energéticos la producción de bioetanol a partir de la yuca y se pudo obtener un valor de energía neta (NEV) de 8.80MJ/L, lo cual es aún más eficiente que la producción de energía obtenida en China a partir también de yuca, la cual fue de 7,4 MJ/L (Dai *et al.*, 2006) o que la de maíz en Estados Unidos (Lan *et al.*, 2008).

Cortés *et al.* (2010) resaltaron las ventajas comparativas del empleo del almidón de yuca para producir etanol. La yuca tiene una alta tasa de asimilación de carbono fotosintético, particularmente inusual para plantas de metabolismo C₃, alcanzando valores de 43 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$, igualmente posee una alta temperatura óptima para la fotosíntesis (45 °C). Se ha reportado que la yuca presenta una de las mayores tasas de asimilación de CO₂ a sacarosa dentro de los vegetales (Angelov *et al.*, 1993; Edwards *et al.*, 1990). En términos agronómicos, la yuca es altamente resistente a las sequías, en donde con una precipitación mínima de 500 mm/año se logran obtener buenas producciones. El cultivo de yuca genera una alta producción en suelos degradados y se adapta a todos los tipos de suelos a excepción de los fangosos, al igual que tolera bien los altos niveles de aluminio y manganeso, que son propios de los suelos de la mayoría de las sabanas tropicales y que resultan tóxicos para la mayoría de las plantas. La yuca presenta además una alta flexibilidad en el momento de la plantación y cosecha (Ceballos, 2002).

En cuanto a rendimientos de producción, existen datos variables dependiendo de las variedades de yuca cultivadas y de las condiciones agro-ecológicas. En Nigeria se han reportado rendimientos de 10,67 ton/ha de raíces frescas mientras que en Brasil y Tailandia se han reportado rendimientos de 13,45 ton/ha y de 16,84 ton/ha respectivamente (Ospina *et al.*, 2002). En Colombia se han reportado producciones en cultivos comerciales de 15-20 ton/ha. Cabe anotar que los valores de producción a nivel experimental pueden llegar hasta 80 ton/ha, sin embargo esta alta productividad aún no ha podido ser trasladada a los campos de cultivo. En términos de rendimientos en litro de alcohol por hectárea de producto se observa que mientras en caña de azúcar se obtienen 75 litros de etanol a partir de una tonelada, en yuca se obtienen 200 litros (Cortés *et al.*, 2010). En términos generales, el rendimiento en litros por hectárea por año empleando caña de

azúcar es de 4900 L ha⁻¹ año⁻¹, mientras que en yuca es de 6000 L ha⁻¹ año⁻¹ demostrando el alto potencial de la yuca para producir alcohol carburante (Jansson *et al.*, 2009).

Otro aspecto importante de la utilización de la yuca para producir bioetanol es el impacto social que puede generar. Se ha estimado que mientras que en cultivos de maíz se genera un empleo por cada 2,43 ha, en yuca se genera el mismo empleo por cada 1,66 ha (Ministerio de Minas, 2007) . Esto podría permitir una mejora en las condiciones del sector rural en Colombia, incentivando el desarrollo agrícola e incluso impulsando las políticas de reemplazo de cultivos ilícitos (Cortés *et al.*, 2010).

1.2.10 Descripción del proceso de producción de bioetanol a partir de la yuca

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es un cultivo arbustivo perenne de la familia de las Euphorbiaceas. Dependiendo de la región geográfica tiene varios nombres por ejemplo en Brasil se le conoce como mandioca o manioca, tapioca en India y Malasia y cassada o cassava en África y el Sureste asiático (Sriroth *et al.*, 2012). La yuca se cultiva principalmente en las regiones tropicales de África, América Latina y Asia, localizados en el cinturón ecuatorial, entre 30° norte y 30° sur. El cultivo produce raíces ricas en almidón comestible las cuales han sido ampliamente empleadas como alimento básico para millones de personas así como alimento animal. Debido a su facilidad de cultivo y bajos requerimientos de insumos, la yuca es mayoritariamente cultivada en tierras marginales por agricultores pobres.

Desde 2004 la producción mundial de raíces de yuca ha sido superior a los 200 millones de toneladas y alcanzó los 240 millones en 2009 (FAO, 2011). Los mayores productores de yuca están localizados en tres continentes (África, América y Asia) siendo Nigeria, Brasil y Tailandia responsables por aproximadamente 20, 11 y 12% del total de la producción mundial, respectivamente (Sriroth *et al.*, 2012). En las últimas dos décadas la producción de yuca ha aumentado continuamente, impulsada por la demanda del mercado, especialmente por la expansión del mercado global de almidón. La tasa de crecimiento de la producción de raíces en la última década (2000 - 2009) es aún mayor que la anterior (1990-1999) debido al notable aumento de la demanda de yuca para la producción de bioetanol en el continente asiático, especialmente en China y Tailandia (Sriroth *et al.*, 2012)

El proceso de producción de etanol a partir de la yuca ha sido descrito por varios autores (Sriroth *et al.*, 2012, Castaño y Mejía, 2008, Castaño *et al.*, 2011) empleando tanto el método tradicional como el método SSF. El proceso de

producción de etanol a partir de la yuca empleado actualmente consta de cinco etapas principales las cuales son (Sriroth *et al*, 2012).

- **Preparación de la materia prima:** el principal propósito de esta etapa es hacer que la materia prima sea físicamente apta para su procesamiento posterior p.e cocción, hidrólisis del almidón, fermentación y destilación y deshidratación. En general la preparación incluye la remoción de las impurezas (lavado y remoción de la cáscara de las raíces frescas, paso por detector de metales, remoción de arena y tierra de la pasta por hidrociclón), reducción de tamaño de partícula por molido o raspado y separación de la fibra.
- **Cocción:** el almidón se cocina para romper la estructura granular y mejorar su susceptibilidad a hidrólisis enzimática. La cocción se logra a una temperatura mayor que la temperatura de gelatinización. Durante la cocción la alta viscosidad de la pasta se desarrolla como consecuencia de la gelatinización del almidón y el hinchado de algunas partículas. La cocción es por lo tanto comúnmente realizada en la presencia de enzimas de licuefacción, p.e α -amilasas para licuar la pasta cocinada.
- **Hidrolisis del almidón:** el almidón es enzimáticamente hidrolizado a glucosa por la acción de una α -amilasa y subsecuentemente por glucoamilasa. La licuefacción por α -amilasa es usualmente conducida a altas temperaturas a las cuales el almidón se ha gelatinizado. Después de la licuefacción la pasta licuada es enfriada a una temperatura óptima para la hidrolisis por glucoamilasa la cual ocurre cerca de 50-55°C, dependiendo del tipo de enzimas.
- **Fermentación por levaduras:** la glucosa es luego fermentada por la acción de levaduras. Al final de la fermentación, la “cerveza” obtenida contiene aproximadamente 10% v/v de etanol, dependiendo de la carga de sólidos durante la fermentación.
- **Destilación y deshidratación:** la “cerveza” es sometida a destilación para concentrar el etanol a 95% y luego deshidratación para remover el agua, produciendo etanol anhidro (99.5%).

Actualmente, el proceso de producción de bioetanol a partir de materias primas ricas en almidón está diseñado para reducir significativamente los tiempos de proceso y el consumo de energía llevando a cabo la sacarificación y fermentación en un mismo paso. Este proceso es llamado “Sacarificación y Fermentación Simultáneas” o SSF (Figura 1-4 b y 1-5 b). En este proceso la pasta licuada es enfriada a 32°C, después la glucoamilasa y la levadura se agregan juntas.

Mientras la glucoamilasa produce glucosa, la levadura puede usar la glucosa para producir etanol inmediatamente (Sriroth *et al.*, 2012).

Figura 1-4. Representación esquemática del proceso de elaboración de bioetanol a partir de la yuca. En la parte superior: Proceso tradicional. En la parte inferior: Sacarificación y Fermentación Simultáneas (SSF). A partir del efluente obtenido en la destilación se obtiene el “destilado de yuca”. Tomado de Ospina et al (2012).

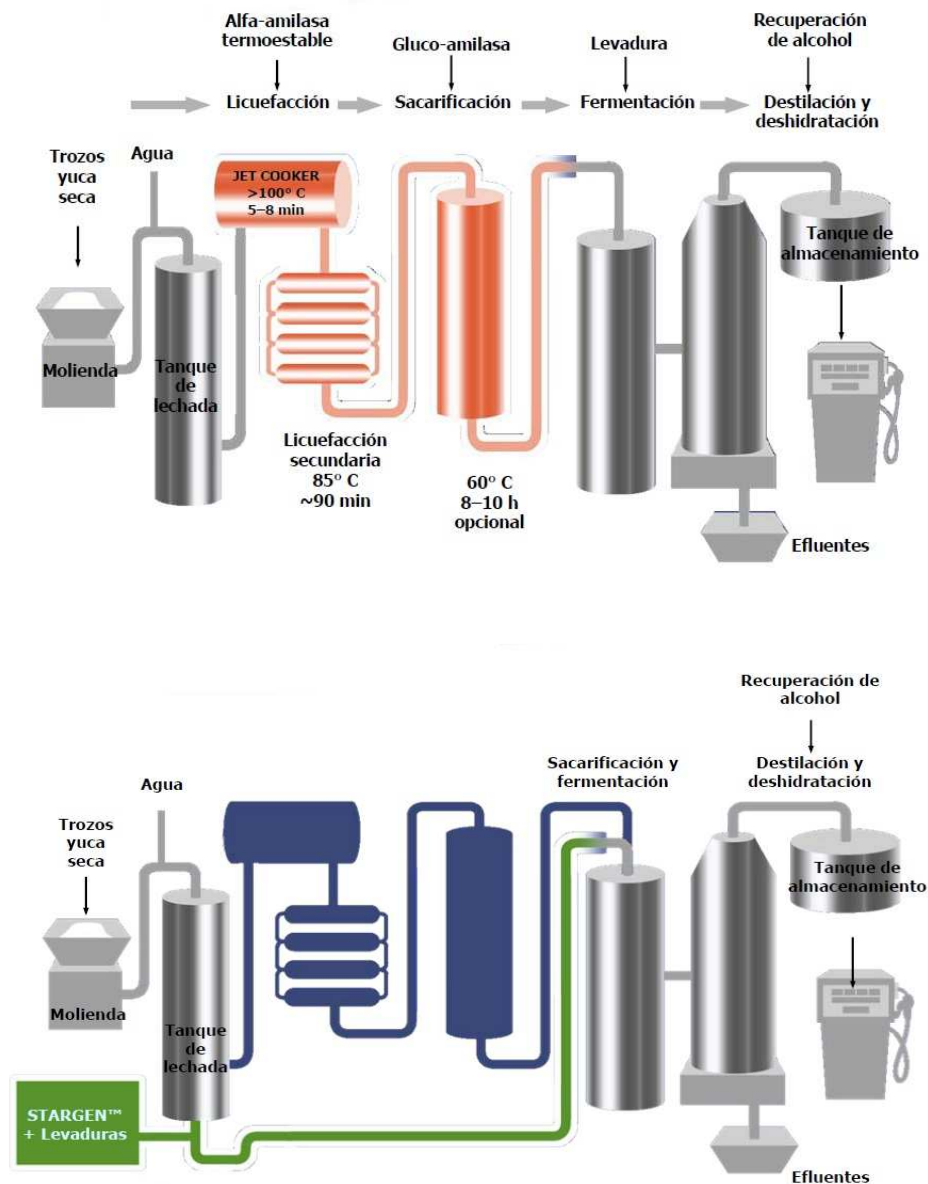
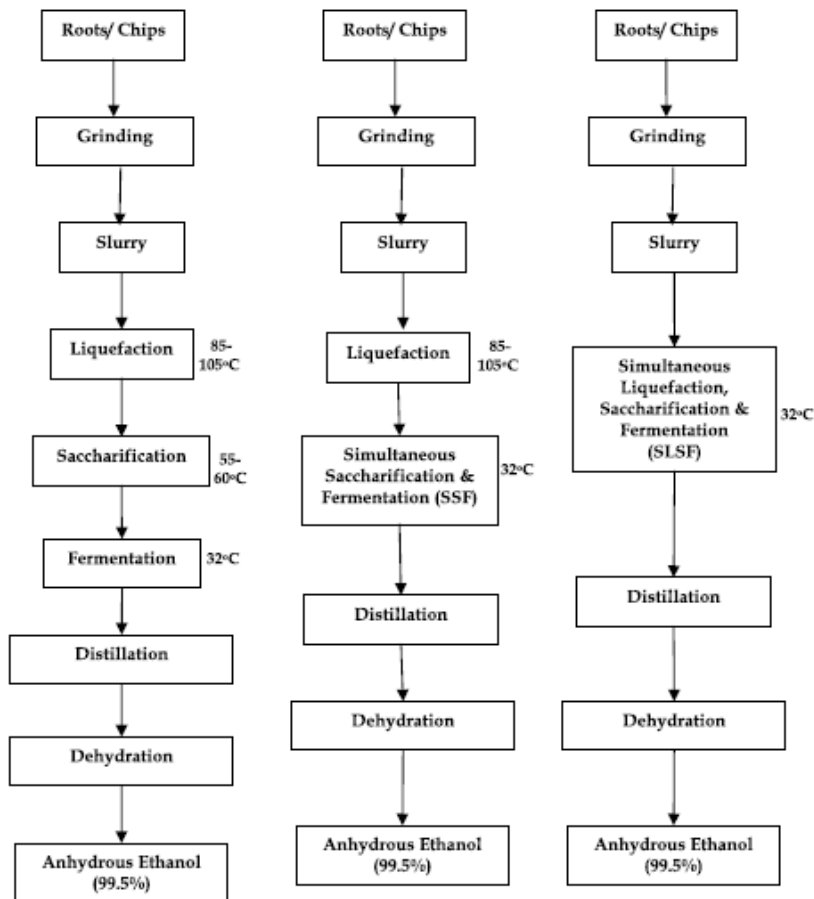


Figura 1-5. Representación del proceso de producción de etanol a partir de la yuca (a) proceso tradicional, (b) SSF, Sacarificación y Fermentación Simultáneas y (c) SLSF, Licuefacción, Sacarificación y Fermentación simultáneas. Tomado de Sriroth *et al.* (2012).

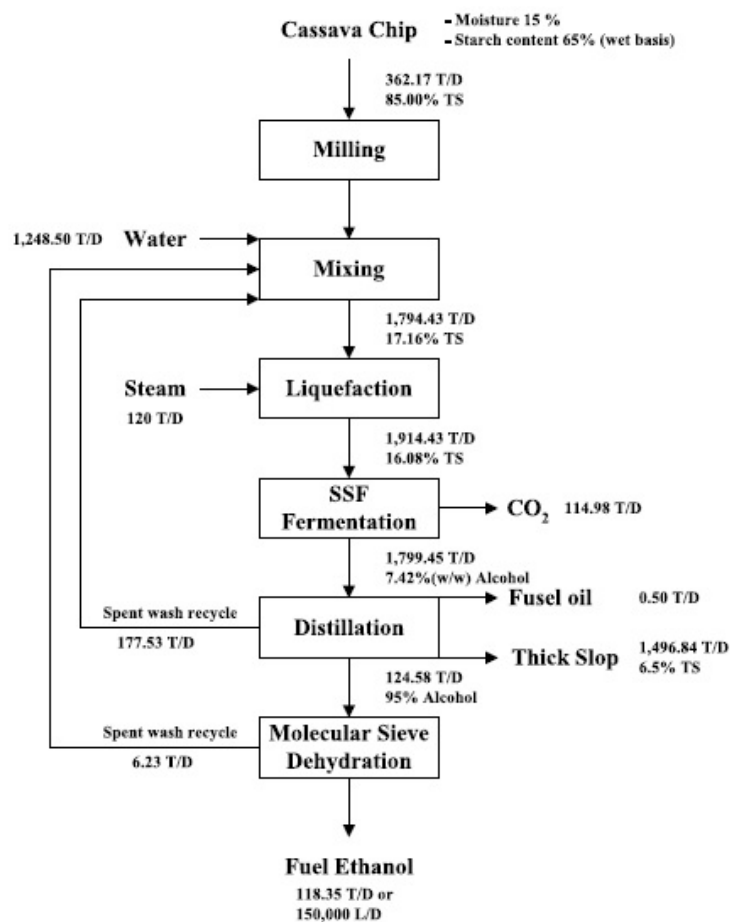


En el proceso SSF, el almidón de la yuca debe ser inicialmente cocinado y licuado antes del proceso SSF. Recientemente, se ha desarrollado una enzima que hidroliza los gránulos de almidón para producir azúcares fermentables del almidón de maíz crudo o sin cocción y se puede aplicar también a los chips de yuca (Sriroth *et al.*, 2012). Esta enzima puede atacar directamente los gránulos de almidón sin cocción, permitiendo que la licuefacción, sacarificación y en presencia de levadura la fermentación ocurran de manera simultánea en un solo paso a temperatura ambiente sin cocción, este proceso es llamado Licuefacción, Sacarificación y Fermentación Simultáneas o SLSF Figura 1-5 (c).

El balance de materiales del proceso de producción de etanol con una capacidad de 150.000 litros/día, un tamaño recomendado para las plantas de etanol para optimizar costos, manejo factible de la materia prima y un tratamiento efectivo del

agua de desecho, a partir de chips de yuca seca por el proceso de Sacarificación y Fermentación Simultáneas (SSF) se ha estimado a partir de datos colectados durante pruebas piloto (trabajando a 2500 litros volumen) y encuestas a fábricas (Sriroth *et al.*, 2012) (Figura 1-6). La relación de conversión de materia prima (kg) a etanol (L) es aproximadamente 2.5:1 para chips de yuca secos o 6:1 para raíces frescas, estos factores de conversión dependen de la cantidad de almidón presente en la materia prima (Sriroth *et al.*, 2012).

Figura 1-6. Balance de masa para la producción de etanol a partir de yuca chips por el proceso SSF (Sacarificación y Fermentación Simultáneas). T/D: Toneladas/día, T/S: Solidos totales, L/D: Litros/día (Eficiencia de fermentación 90%, eficiencia de la destilación 98.5%. Fuente: Sriroth *et al.*, 2012).

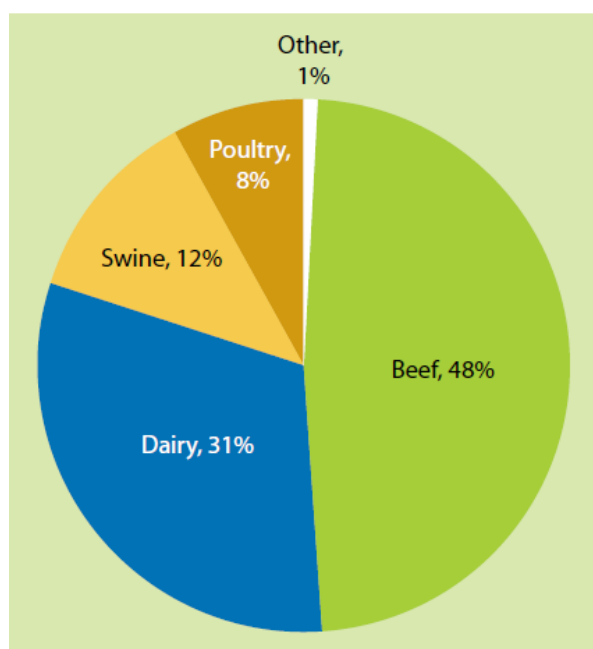


1.2.11 Producción y uso de los subproductos del etanol de maíz en los Estados Unidos

Se estima que una tonelada de maíz produce 106 galones de etanol y 0.3125 toneladas de DDGS. Durante el año 2012 la industria del etanol en los Estados

Estados Unidos uso 4.8 billones de bushels de maíz (1 US Bushel = 56 lb) para producir un aproximado de 13.300 millones de galones de etanol y 36.7 millones de toneladas métricas de alimento de alta calidad para el ganado (RFA, 2013). Esto incluye 33.3 millones de toneladas métricas de DDGS y 3.4 millones de toneladas de gluten feed. Durante el año 2012 el consumo de DDGS estuvo dominado por la ganadería la cual consumió aproximadamente el 79% de los DDGS producidos (Figura 1-7). Por otro lado, Estados Unidos es el principal exportador de DDGS a nivel mundial, en el año 2012 exportó cerca de 7.500.000 toneladas de DDGS a diferentes países.

Figura 1-7. Consumo de granos del destilador por especie durante el año 2012 en los Estados Unidos. Fuente: RFA (2013) Ethanol Industry Outlook 2013.



1.3 Origen del destilado de yuca y los granos de destilería

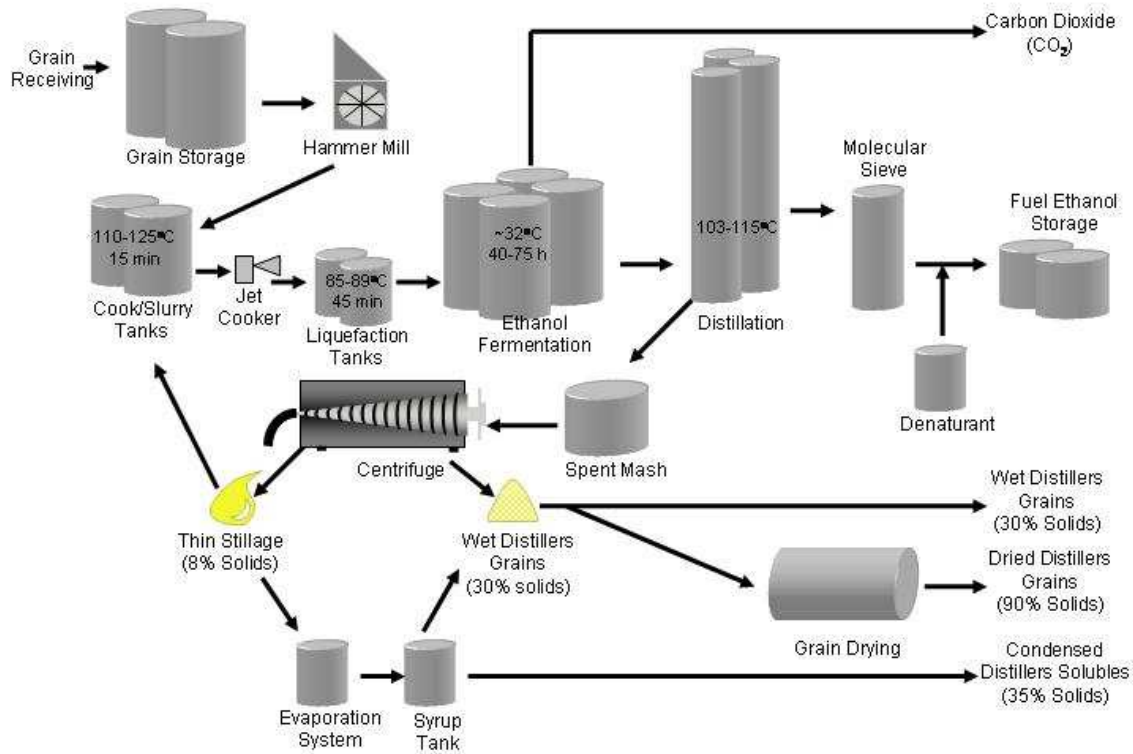
El destilado de yuca es el producto sólido que se obtiene mediante el secado de los residuos del proceso de obtención de etanol como biocombustible, a partir de un ingrediente rico en almidón como lo es la harina de yuca (65 – 75% almidón). La fermentación de la yuca para producir etanol produce una vinaza de la cual el destilado húmedo es obtenido por medio de la filtración y prensado o centrifugación de la vinaza una vez se ha removido el etanol en la etapa de destilación.

Los subproductos de destilería (entre ellos los granos de destilería) se obtienen mediante el secado de los residuos del proceso de obtención de alcohol para bebidas o de etanol para su utilización como biocombustible, a partir de ingredientes ricos en almidón. Como el proceso de producción de etanol consiste en convertir los almidones y azúcares de la materia prima inicial en etanol, en el producto final (destilado) se reduce drásticamente el contenido de almidones y azúcares y se concentra proporcionalmente el porcentaje del resto de nutrientes (proteína, grasa, fibra, minerales) (FEDNA, 2010). Así los granos de destilería contienen fundamentalmente los residuos no fermentados de los productos originales y levadura. Las características del producto final dependen de la calidad del producto inicial y de las condiciones del proceso, pero en términos generales se concentran entre 2.2 y 3 veces el contenido de fibra, proteína, extracto etéreo, cenizas y lignina en relación con el producto original mientras se reduce drásticamente el contenido de almidones y azúcares (FEDNA, 2010).

Según Rosentrater (2011) el proceso de molienda seca (dry grind) se ha convertido en el método predominante para la producción de etanol en los últimos años (Figura 1-8). El proceso industrial de la obtención de los DDG, consta de 5 fases: 1) selección, limpieza y molienda del grano; 2) sacarificación o paso del almidón a glucosa, mediante la utilización de enzimas apropiadas; 3) fermentación de la glucosa para producir etanol, utilizando levaduras (cada molécula de glucosa produce 2 moléculas de etanol y 2 de CO₂); 4) destilación del etanol mediante proceso de vaporización por calentamiento, y 5) recolección de los residuos y secado de los mismos con aire caliente hasta un 10-12% de humedad, para su posterior comercialización en forma de gránulo.

Según FEDNA (2010) este proceso da lugar a dos tipos de subproductos: los granos de destilería (DG, distillers grains) y los solubles (DS, distillers solubles, vinazas o "thin stillage"). Los DG contienen fundamentalmente residuos no fermentados de los granos originales. Los DS contienen levaduras, nutrientes solubles y las partículas de granos más finas. A veces estos productos se suministran en húmedo, y por separado, a cebaderos de terneros localizados cerca de la industria; los DG mezclados con el pienso y los DS, que sólo tienen un 5% de materia seca, como sustitutivos del agua. En la mayoría de los casos ambos productos se desecan y se comercializan conjuntamente (DDGS compuestos por 75% DDG y 25% DDS, aproximadamente) (FEDNA, 2010).

Figura 1-8. Representación esquemática de la obtención del etanol a partir de maíz y sus co-productos por medio del proceso de molienda seca. Fuente: http://www.inspection.gc.ca/DAM/DAM-animals-animaux/STAGING/images-images/feebet_distillers_1329117566389_eng.jpg.



1.3.1 Características de la vinaza sub-producto resultante del proceso de producción de bioetanol

La producción de bioetanol a partir de la yuca genera grandes cantidades de efluente como sub-producto del proceso (Patiño *et al.*, 2012). Este efluente es conocido comúnmente como vinaza, se produce en grandes volúmenes y debe ser manejado apropiadamente en vista de sus potenciales efectos negativos sobre el ambiente. Esta vinaza tiene el aspecto de un líquido orgánico oscuro, con un pH muy bajo (3.5 – 4.3) y se genera como resultado de la fermentación de los carbohidratos (p.e jugos de la caña de azúcar y sorgo dulce y la pasta de yuca o batata) y la subsecuentes destilación de la masa de fermentación. Esta vinaza contiene un alto porcentaje de materia orgánica representada en ácidos orgánicos y levadura, minerales (principalmente potasio, calcio, magnesio y azufre) y los constituyentes no fermentables de la materia prima original (Tabla 1-2) (Patiño *et al.*, 2012).

Tabla 1-2. Composición química de cuatro tipos de vinaza proveniente del proceso de producción de bioetanol a partir de varios cultivos ricos en almidón y azúcar.

Nutriente/parámetro	Fuente de vinaza
---------------------	------------------

	Yuca	Caña de azúcar	Batata	Sorgo dulce
Materia seca (%)	8.5	13	2.6	3.4
Materia orgánica (%)	93.5	-	92.8	90.8
Proteína cruda (%)	11.6	2	12.5	7.2
Almidón (%)	0.7	-	-	-
Extracto etéreo (%)	4.9	0.4	22.3	0.8
Fibra cruda (%)	60.4	-	27	-
DIVMS (%)	64.7	-	-	-
Cenizas (%)	5.2	32.3	7.2	9.2
NDT (%)	-	-	74.5	77.8
P (%)	1.42	0.45	0.39	-
Ca (%)	5.38	1.04	0.5	-
K (%)	1.49	2.08	1.9	-
Mg (%)	0.40	0.24	0.63	-
S (%)	0.48	0.3	0.18	-
Na (%)	0.34	-	0.31	-
Zn (mg/kg)	40	-	44	-
B (mg/kg)	16	-	10	-
Mn (mg/kg)	105	-	58	-
Fe (mg/kg)	3305	86	584	-
Cu (mg/kg)	14	1	17	-
Al (mg/kg)	3121	-	-	-

Fuente: Patiño *et al.*, (2012)

En promedio por cada litro de etanol se producen entre 10 y 15 litros de efluente líquido dependiendo de la materia prima empleada, tiempo de cosecha, proceso de molienda, la tecnología de fermentación y destilación, el tipo de suelo y nivel de fertilidad y otros parámetros (Mutton, *et al.*, 2010). Históricamente, la vinaza ha sido usada como fertilizante, siendo Brasil el pionero en el desarrollo de sistemas de fertirrigación empleando vinaza de caña de azúcar (Patiño *et al.*, 2012). Sin embargo, la aplicación continua de vinaza en suelos agrícolas puede crear serios problemas en términos de la calidad del cultivo y la contaminación de fuentes de agua (Patiño *et al.*, 2012).

Además de su uso como fertilizante, la vinaza puede concentrarse por evaporación o secado y emplearse en la preparación de alimentos para animales (Albers, 2007). Sin embargo, esta alternativa tiene limitaciones debido al alto costo energético del proceso de concentración. Un uso alternativo de la vinaza es la producción de biogás por medio de un proceso de fermentación anaeróbica por bacterias metanogénicas, lo cual reduce también el impacto ambiental de la vinaza por medio de la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO). Otra alternativa para el manejo de la vinaza es la producción de compost para su uso como fertilizante (Patiño *et al.*,

2012). Esta última tecnología a pesar de ser un proceso amigable con el medio ambiente requiere de altas inversiones en área, capital y tiempo para su operación.

1.4 Composición química de los granos de destilería

1.4.1 Composición química general

Cromwell *et al* (1993) evaluaron las propiedades físicas, químicas, y nutricionales de los DDGS provenientes de 9 fuentes diferentes (dos de bebidas y siete de sistemas de producción de etanol como combustible) y encontraron una variabilidad considerable entre el contenido de nutrientes y las propiedades físicas entre muestras de DDGS. En base seca el porcentaje de proteína vario de 26.0% a 31.7%, la grasa de 9.1% a 14.1%, cenizas de 3.7% a 8.1% FDA de 11.4% a 20.8%, y FDN de 33.1 a 43.9%, el coeficiente de variación para estos nutrientes vario de 5.3% a 27.7%. Los valores medios para proteína, grasa, cenizas, carbohidratos totales, FDA y FDN fueron 29.7%, 10.7%, 5.3%, 54.3%, 15.9% y 38.8% respectivamente (Tabla 1-3).

Tabla 1-3. Composición química general de los DDGS provenientes de diferentes plantas y años reportados por diferentes investigadores.

Fuente	Cromwell <i>et al.</i> (1993)			Spiels <i>et al.</i> (2002)			Belyea <i>et al.</i> (2004)			Liu (2008)		
	Promedio	Rango	CV(%) ^a	Promedio	Rango ^b	CV(%)	Promedio	Rango ^c	CV(%) ^c	Promedio	Rango	CV(%)
No. de datos	9	9	9	118	10	118	235	5	5	6	6	6
Materia seca	90.5	87.1–92.7	1.8	88.9	87.2–90.2	1.7						
Proteína cruda	29.7	26.0–31.7	5.3	30.2	28.7–31.6	6.4	31.4	30.8–33.3	6.3	27.4	25.8–29.1	4.0
Grasa	10.7	9.1–14.1	6.5	10.9	10.2–11.4	7.8	12.0	10.9–12.6	5.6	11.7	11.0–12.2	4.0
Cenizas	5.3	3.7–8.1	27.7	5.8	5.2–6.7	14.7	4.6	4.3–5.0	5.7	4.4	4.0–4.9	7.8
Almidón							5.3	4.7–5.9	9.7	4.9	3.2–5.7	25.7
Carbohidratos totales	54.3			53.1			52.1		5.2	56.5	55.7–57.9	1.6
Fibra cruda				8.8	8.3–9.7	8.7	10.2	9.6–10.6	3.7			
FDA	15.9	11.4–20.8	21.1	16.2	13.8–18.5	28.4	16.8	15.4–19.3	9.3			
FDN	38.8	33.1–43.9	10.0	42.1	36.7–49.1	14.3						

Nota: Todos los valores están expresados en o convertidos a % materia seca.

^a CV = Coeficiente de variación.

^b Rango de valores para el promedio de 10 muestras (locaciones).

^c Rango and CV (%) para el promedio de cinco grupos de muestras (por año).

Fuente: Adaptado de Liu. (2011).

Posteriormente, Spiehs *et al* (2002) evaluaron el contenido de nutrientes y su variabilidad en los DDGS de un total de 118 muestras provenientes de 10 plantas de etanol entre 1997 y 1999 en los estados de Minnesota y Dakota del Sur, E. U. Ellos encontraron que los valores medios en base seca de proteína, grasa, cenizas, fibra cruda, FDA y FDN fueron 30.2, 10.9, 5.8, 8.8, 16.2 y 42.1%, respectivamente. El coeficiente de variación varió desde 6.4% para proteína a 28.4% para FDA. El valor medio para el contenido de materia seca fue 88.9% con un CV de 1.7%. Dichos valores no fueron sustancialmente diferentes de aquellos reportados por Cromwell *et al* (1993), pero ambos autores mostraron alta variación en el contenido de cenizas y baja variación en el contenido de materia seca.

Por su parte Belyea *et al* (2004) analizaron cerca de 235 muestras de DDGS provenientes de una planta de etanol para combustible en Minnesota, E.U., y encontraron que los valores medios (en base seca) para proteína, grasa, cenizas, fibra cruda y FDA fueron 31.4, 12.0, 4.6, 10.2 y 16.8%, respectivamente (Tabla 1-3), además, también reportaron un contenido medio de almidón residual de 5.3%. Por lo tanto, estos autores reportaron valores medios más altos para proteína, grasa y fibra cruda y valores más bajos de cenizas que Spiehs *et al* (2002).

En otra evaluación, Liu (2008) mostro que los valores medios de seis muestras de DDGS provenientes de plantas de etanol para proteína, grasa, cenizas y almidón fueron 27.4, 11.7, 4.4, y 4.9% en base seca, respectivamente. La estimación más baja del valor de proteína comparada con los tres estudios previos puede ser debida al uso de 5.75 como factor de conversión para el nitrógeno en vez de 6.25 (Tabla 1-3).

1.4.2 Contenido de aminoácidos

En un estudio llevado a cabo por Cromwell *et al* (1993) reportaron que entre nueve diferentes fuentes de sistemas de producción de alcohol para bebida y combustible, en base seca la lisina varió de 0.48% a 0.97%, metionina de 0.49% a 0.61%, treonina de 0.99% a 1.28% y triptófano de 0.18% a 0.25%. La lisina fue el más variable de los 11 aminoácidos medidos con un CV de 18.71%.

En el estudio de Spiehs *et al* (2002) se analizó el contenido de 10 aminoácidos esenciales en 119 muestras de DDGS. En base seca, el contenido medio de lisina fue 0.85% variando de 0.72% a 1.02%, de nuevo, la lisina fue el más variable de los 10 aminoácidos con un CV promedio de 17.3%. Los valores de metionina variaron de 0.49% a 0.69% con un valor medio de 0.55%. Los valores medios para triptófano y treonina fueron 0.25% y 1.13%, respectivamente. Los valores medios para arginina, histidina, fenilalanina, isoleucina, leucina y valina fueron 1.20, 0.76, 1.47, 1.12, 3.55 y 1.50, respectivamente. Estos valores no

difieren sustancialmente de aquellos reportados por otros investigadores, por ejemplo, Cromwell *et al* (1993) y Spiehs *et al* (2002) solamente analizaron aminoácidos esenciales, mientras que otros investigadores (Batal and Dale, 2006; Kim *et al.*, 2008; y Han y Liu, 2010) analizaron no solo aminoácidos esenciales sino además los no esenciales. Al igual que en la composición química, existe variación en aminoácidos individuales entre reportes y entre fuentes de las muestras (Tabla 1-4). Las causas de dicha variación en el contenido de aminoácidos de los DDGS han sido atribuidas principalmente a diferencias en el contenido de dichos nutrientes en las materias primas, las cuales a su vez pueden presentar variaciones en el contenido de aminoácidos según la especie y variedad cultivada. Quizás el efecto más importante es ejercido por la levadura, sin embargo, el efecto de la levadura sobre la cantidad y calidad (perfil de aminoácidos) de la proteína de los DDGS no ha sido bien documentado (Liu, 2011). Tras la fermentación las concentraciones de algunos aminoácidos aumentan, otras disminuyen mientras otras permanecen iguales (Liu, 2011).

Han y Liu (2010) propusieron que la composición de aminoácidos en los DDGS es una función del contenido de aminoácidos del maíz y el contenido de aminoácidos de la levadura, basados en un modelo de regresión lineal múltiple de la forma $Y = AX_1 + BX_2 + C$ donde Y es el % relativo (en base a proteína) de aminoácidos; X_1 es el % relativo de aminoácidos en el maíz molido; X_2 es el % relativo de aminoácidos en la levadura; A es un valor fijo que indica la magnitud de la contribución de los aminoácidos del maíz; B es un valor fijo que indica la magnitud de la contribución de los aminoácidos de la levadura y C es el intercepto en el eje Y. Basados en este modelo se concluyó que la levadura influye aproximadamente con el 20% del perfil de aminoácidos en los DDGS, mientras que el maíz influye con el restante 80%.

1.4.3 Contenido de minerales

Varios estudios han documentado la composición de minerales de los DDGS (Tabla 1-5) (Spiehs *et al.*, 2002; Batal y Dale, 2003; Belyea *et al.*, 2006; Liu and Han, 2011). Como en otros materiales biológicos los principales minerales en los DDGS son Ca, P, K, Mg, S y Na. Las concentraciones medias varían de 0.05% para Ca a 1.15% para K, los otros cuatro permanecen entre estos valores. Los micro minerales en los DDGS incluyen Zn, Mn, Cu, Fe, Al, y Se, entre otros y sus concentraciones varían de 6 ppm para Cu hasta 149 ppm para Fe, entre varios reportes.

La alta concentración y la alta variabilidad en el contenido de minerales son dos características que impactan la utilización práctica y por lo tanto la comercialización de los DDGS como alimento para animales (Spiehs *et al.*, 2002; Batal and Dale, 2003; Belyea *et al.*, 2006; Liu and Han, 2011). Una alta concentración puede conducir no solo a desordenes nutricionales sino también a

un exceso de minerales en los desechos. Así por ejemplo, concentraciones excesivas de S en la dieta han sido asociadas con deficiencia de tiamina, la cual a su vez causa poliencefalomalacia (PEM) en rumiantes (Gould, 1998; Niles *et al.*, 2002). Este también ha sido relacionado, junto con alto contenido de nitrógeno, a un aumento en el olor del estiércol (Spiehs and Varel, 2009). La alta concentración de fósforo en los DDGS, la cual varía de 0.5% a 1.0% (Spiehs *et al.* 2002) ha mostrado causar un incremento en la excreción de fósforo en los desechos del ganado (Koelsch y Lesoing, 1999; Spiehs and Varel, 2009).

La variación en el contenido de minerales es mucho mayor que en otros nutrientes. Para algunos minerales (tales como S, Na y Ca), los valores del coeficiente de variación, son mayores del 25%. La adición exógena de algunos compuestos minerales durante el proceso puede ser una explicación para esta alta variabilidad. Por ejemplo, las plantas de etanol pueden utilizar hidróxido de sodio para desinfectar los equipos. Así mismo, lo pueden utilizar en conjunto con el ácido sulfúrico para ajustar el pH del mosto para una actividad enzimática óptima durante la licuefacción y/o llenar los requerimientos de la levadura durante la fermentación (Belyea *et al.* 2006).

1.4.4 Contenido de lípidos

Los lípidos en los DDGS se originan del alimento utilizado en la producción de etanol (p.e., granos). En los Estados Unidos el principal alimento utilizado es el maíz amarillo, aunque sorgo y otros granos son también utilizados en una extensión limitada. Así los perfiles lipídicos en los DDGS se asemejan mayoritariamente a los del maíz, excepto por el aumento de cerca de tres veces en la concentración (Liu, 2011). El principal lípido son los triglicéridos, mientras los menores incluyen fitoesteroles, tocoferoles, tocotrienoles y carotenoides, entre otros (Winkler *et al.*, 2007; Leguizamón *et al.*, 2009; Winkler-Moser y Vaughn, 2009; Majoni y Wang, 2010; Moreau *et al.*, 2010; Moreau *et al.*, 2011a).

Sin embargo, a diferencia del aceite de la materia prima original, se ha encontrado que los DDGS contienen cantidades inusualmente altas de ácidos grasos libres (6% – 8% vs. 1% - 2% en el maíz, en base al peso del aceite extraído) (Winkler- Moser y Vaughn, 2009; Majoni y Wang, 2010; Moreau *et al.*, 2010, Moreau *et al.*, 2011a).

Tabla 1-4. Composición de aminoácidos de los DDGS reportados por diferentes autores.

Fuente	Cromwell <i>et al.</i> (1993)			Spiels <i>et al.</i> (2002)			Batal and Dale (2006)		Han and Liu (2010)			Kim <i>et al.</i> (2008)
	Media	Rango	C.V (%) ^a	Media	Rango ^b	C.V (%) ^a	Media	C.V (%) ^a	Media	Rango	C.V (%) ^a	
Número de datos	9	9	8	118	10	118	8	8	3	3	3	1
<i>AA Esenciales</i>												
Arginina	1.18	0.95–1.33	9.70	1.20	1.11–2.17	9.1	1.09	14.68	1.29	1.16–1.40	9.45	1.4
Histidina	0.80	0.65–0.93	12.65	0.76	0.72–0.82	7.8	0.69	8.70	0.91	0.82–1.01	10.41	0.8
Isoleucina	1.13	1.06–1.26	5.89	1.12	1.05–1.17	8.7	0.97	6.19	1.03	0.91–1.25	18.85	1.1
Leucina	3.69	3.05–4.40	12.56	3.55	3.51–3.81	6.4	3.05	4.59	3.50	3.18–3.91	10.62	3.3
Lisina	0.78	0.48–0.97	18.71	0.85	0.72–1.02	17.3	0.71	22.54	1.04	0.88–1.15	13.63	1.0
Metionina	0.57	0.49–0.61	6.65	0.55	0.49–0.69	13.6	0.54	11.11	0.72	0.65–0.76	8.45	0.6
Fenilalanina	1.61	1.39–1.91	9.48	1.47	1.41–1.57	6.6	1.31	3.05	1.50	1.37–1.76	14.79	1.4
Treonina	1.13	0.99–1.28	10.00	1.13	1.07–1.21	6.4	0.96	6.25	1.17	1.06–1.26	8.67	1.1
Triptófano	0.22	0.18–0.25	11.09	0.25	0.21–0.27	6.7	0.20	25.00				
Valina	1.49	1.30–1.64	7.18	1.50	1.43–1.56	7.2	1.33	5.26	1.56	1.40–1.80	13.72	1.5
<i>No esenciales</i>												
Alanina							1.78	3.93	2.07	1.86–2.27	9.91	1.9
Ácido aspártico							1.75	11.43	1.97	1.77–2.16	9.91	1.7
Cisteína	0.59	0.49–0.66	9.52				0.56	7.14	0.57	0.53–0.60	6.33	0.5
Ácido glutámico							3.49	6.88	5.48	4.94–6.01	9.76	3.3
Glicina									1.19	1.11–1.31	8.72	1.1
Prolina							1.99	5.03	2.19	1.94–2.63	17.32	2.0
Serina							1.09	6.42	1.45	1.32–1.58	9.00	1.2
Tirosina							0.96	9.38	1.02	0.87–1.29	22.65	1.2

Nota: Los valores de nutrientes están expresados en o convertidos a % en base seca, excepto para los datos de Batal and Dale (2006), los cuales fueron expresados en base húmeda (tal cual).

^a CV = Coeficiente de variación.

^b Rango de valores para el promedio de 10 orígenes de muestras (locaciones).

Fuente: Adaptado de Liu. (2011)

Tabla 1-5. Concentraciones de minerales en los DDGS reportadas por diferentes autores.

Fuente	Parámetros	K (mg/g)	P (mg/g)	Mg (mg/g)	S (mg/g)	Na (mg/g)	Ca (mg/g)	Fe (µg/g)	Zn (µg/g)	Mn (µg/g)	Cu (µg/g)
Spiels <i>et al.</i> (2002)	No. muestras	118	118	118	118	118	118	118	118	118	118
	Mínimo	6.9	7.0	2.5	3.3	1.2	0.3	75.3	44.7	10.7	4.7
	Máximo	10.6	9.9	3.7	7.4	5.1	1.3	156.4	312.0	21.3	7.6
	Promedio	9.4	8.9	3.3	4.7	2.4	0.6	119.8	97.5	15.8	5.9
	CV(%)	14.00	11.70	12.10	37.10	70.50	57.20	41.10	80.40	32.70	20.40
Batal y Dale(2003)	No. muestras	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Mínimo	6.7	5	2.1	5.8	0.9	0.1	67	44	9	3
	Máximo	9.9	7.7	3.3	11	4.4	7.1,325	88	48	18	
	Promedio	9.1	6.8	2.8	8.4	2.5	2.9	149	61	22	10
	CV(%)	12.08	12.29	14.28	25.00	60.00	93.00	57.70	21.30	50.00	43.00
Belyea <i>et al.</i> (2006)	No. muestras	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	Mínimo	9.31	7.10	2.99	3.44	0.60	0.25	90.0	75.0	15.6	4.9
	Máximo	12.40	9.43	3.79	8.27	2.30	0.34	109.0	170.0	19.3	6.8
	Promedio	11.22	8.52	3.48	5.76	1.30	0.28	98.7	113.7	17.0	5.6
	CV(%)	9.60	8.71	7.70	25.06	40.99	11.14	5.87	36.52	7.04	10.92
Liu y Han (2011)	No. muestras	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Mínimo	10.72	8.35	3.24	6.03	2.16	0.31	17.52	63.36	14.57	5.01
	Máximo	12.42	9.28	3.63	7.94	2.94	0.48	26.63	67.28	17.98	6.07
	Promedio	11.44	8.73	3.45	6.83	2.63	0.37	21.47	65.15	15.81	5.55
	CV(%)	7.66	5.60	5.79	14.56	15.56	26.02	21.75	3.04	11.93	9.52

Nota: Valores expresados en base seca. CV = coeficiente de variación.

Fuente: Adaptado de Liu, (2011).

1.4.5 Contenido de carbohidratos y otros compuestos de bajo peso molecular

Durante el proceso llamado molido seco, el almidón del maíz es convertido a azúcares simples, los cuales son luego fermentados a etanol y dióxido de carbono. Sin embargo, otros carbohidratos (CHO), tales como los de la pared celular permanecen relativamente sin cambios químicos. Los DDGS también contienen compuestos orgánicos de bajo peso molecular que están presentes en la materia prima original o son producidos durante el procesamiento. Ya que la conversión del almidón no puede ser completada bajo las condiciones de procesamiento normales, hay algún almidón residual y azúcares en el coproducto (Liu, 2008).

Por otra parte, Dowd *et al* (1993) reportaron que los compuestos orgánicos de bajo peso molecular presentes en los solubles procedentes del maíz fueron ácido láctico (10.40 g/L), glicerol (5.8 g/L) y alanina (aminoácido libre 4.08 g/L), así como pequeñas cantidades de etanol y varios ácidos nitrogenados y no nitrogenados, poli hidroxil alcoholes, azúcares y glucósidos.

Wu (1994), midió el contenido de varios tipos de azúcares en los DDGS, granos secos de destilería (DDG), y los solubles secos de destilería (DDS) por medio de la hidrólisis de las muestras con ácido tricloroacético (TCA) seguido por análisis de HPLC. Dichos análisis revelaron que estos coproductos del etanol contenían muchos azúcares neutros después de la hidrólisis con TCA, incluyendo glicerol, arabinosa, xilosa, manosa, glucosa y galactosa. Los DDS presentaron el mayor contenido de azúcares (38.7%), seguidos por los DDGS (38.0%) y los DDG (35.8%). La composición de azúcares también difirió entre los tres coproductos, así por ejemplo, los azúcares en los DDGS, la mayor cantidad fue glucosa (11.9%), seguida por xilosa (8.5%), glicerol (7.8%), arabinosa (6.4%), galactosa (1.9%) y manosa (1.6%), azúcares que no estaban presentes en forma libre, sino como un carbohidrato complejo, comúnmente visto en las paredes celulares.

Tradicionalmente, los DDGS han sido usados principalmente como alimento para los animales, y por lo tanto el análisis composicional ha sido centrado en componentes clave tales como proteína, grasa y minerales, entre otros, sin embargo, con la creciente demanda por el etanol para combustible, los DDGS han sido apreciados como una materia prima potencial para la producción de etanol por medio de un método celulósico (Liu, 2011). Con este propósito, Kim *et al* (2008) desarrollaron un nuevo método analítico, cuyo objetivo fue la determinación de una composición química más detallada, especialmente para los azúcares poliméricos, tales como celulosa, almidón y xilano, que liberan azúcares fermentables debido a la acción de enzimas celulósicas. Los DDGS presentaron un mayor contenido de solubles en agua que los DDG (Tabla 1-6),

mientras que los solubles como parte de los DDGS, contenían más azúcares simples.

Adicionalmente, los solubles en éter pueden ser considerados como el contenido de grasa cruda, mientras que los solubles en agua pueden ser considerados carbohidratos solubles y compuestos relacionados tales como glicerol y ácido láctico (Liu, 2011). En la tabla 1-6, se asume que el complejo de carbohidratos consta de glucano (el cual incluye almidón residual y celulosa), xilano, y arabinosa, por la adición de los cuatro constituyentes más los solubles en agua, se puede tener un total de carbohidratos de 59.4%, como parte de la materia seca.

Tabla 1-6. Análisis composicional de la biomasa celulósica de los granos de destilería húmedos (DWG) y DDGS.

Constituyente	DWG	DDGS
Materia seca (% base húmeda)	35.3	88.8
Solubles en éter	9.6	11.6
Proteína cruda	36.6	24.9
Cenizas	2.0	4.5
Carbohidratos totales por calculo	51.8	59.0
Solubles en agua	8.8	24.7
<i>Glucosa</i>	18.5	21.2
Celulosa	12.6	16.0
Almidón	5.9	5.2
Xilano y arabinosa	20.9	13.5
Xilano	14.9	8.2
Arabinosa	5.5	5.3
Carbohidratos totales	48.2	59.4

Fuente: Adaptado de Kim *et al.*, 2008.

Nota: Todos los valores están expresados en base seca a menos que se indique lo contrario.

1.4.6 Aporte de energía

Birkelo *et al* (2004) determinaron el valor de energía de los DWG para vacas lactantes, con valores de energía digerible (ED), energía metabolizable (EM) y energía neta de lactancia (ENL) de 4.09, 3.36, y 2.27 Mcal/kg, respectivamente, cantidades de energía de 7% a 11.0% y 10% a 15% mayores que los valores previamente reportados en las publicaciones del NRC 1989 y 2001. Estos valores mayores son probablemente atribuibles a un aumento en la concentración de grasa así como a más fibra altamente digerible determinadas en los granos de destilería que los asumidos por NRC, 2001 (Kalscheur *et al*, 2012).

Sobre la base de lo anterior, los subproductos de destilería son una fuente excelente de energía, lo cual es atribuido a su alto contenido de fibra en

detergente neutro digerible (FDN), con promedio entre 40 – 45%, la cual es altamente digerible, por lo tanto esto puede reemplazar otras fuentes dietarias de almidón y reducir el riesgo de acidosis ruminal (Schroeder, 2003).

1.4.7 Causas de variación en el contenido de nutrientes de los DDGS

Las concentraciones medias de varios nutrientes en los DDGS disponibles actualmente en el mercado pueden variar bastante entre fuentes, esto se evidencia por los altos valores de C.V (tablas 1-1 a 1-3). Así por ejemplo la proteína en los DDGS tiene un CV entre 4% y 6.4% mientras que la proteína de la torta de soya generalmente tiene un CV menor al 2% (Liu, 2011). Esta variación en la composición química de los DDGS reduce su calidad nutritiva y su valor comercial; las causas de la variación en el contenido de nutrientes de los DDGS son múltiples y han sido objeto de estudio, estas incluyen diferencias en las especies vegetales empleadas como materias primas, composición química de las mismas, modificaciones en los métodos de procesamiento tales como la remoción de una o más fracciones no fermentables, parámetros de procesamiento (tales como la cantidad de solubles agregados durante el proceso) o la utilización de NaOH para la desinfección de los equipos y ácido sulfúrico para ajustar el pH del mosto, efecto de la levadura y metodología de análisis, entre otros.

Belyea *et al* (2010) encontraron efectos interactivos de planta por periodo de muestreo al analizar muestras de DDGS y del maíz correspondiente provenientes de nueve plantas de etanol localizadas en el medio oeste de los Estados Unidos indicando que los baches de fermentación fueron las más importantes fuentes de variación, más que las plantas de producción o el período (tiempo) de muestreo.

Así mismo, señalan que la variación entre baches puede ser debida a diferencias en la composición o forma física del maíz molido o a las desviaciones en las condiciones de procesamiento, puesto que la distribución del tamaño de partícula del maíz molido puede afectar la hidrólisis del almidón y la fermentación, los tamaños de partícula pueden variar de planta a planta así como también de bache a bache dentro de una misma planta (Liu, 2008; Rausch *et al*, 2005).

De manera que las condiciones de procesamiento pueden variar entre baches de fermentación, así por ejemplo, en el paso de la fermentación del mosto puede haber diferencias en la concentración de sólidos, temperatura, tipos y cantidades de aditivos, composición y cantidad de la recirculación y la calidad del agua, entre otros.

La fermentación causa el aumento más notorio en el contenido de minerales en los DDGS comparados con el grano de origen, debido principalmente a la

disminución en el contenido de almidón. Los minerales que suelen presentar mayor variación en los DDGS son el Na, el S y el Ca en relación con el grano de origen, Se ha propuesto que esta variación se debe a la adición o no de fuentes exógenas de estos elementos, en la caso del Na, la utilización de NaOH en el proceso de limpieza y desinfección de los equipos en algunas plantas puede dejar residuos que se transfieren a los DDGS, así mismo en el caso del Ca y el S puede ser el resultado de la adición de ácido sulfúrico o cal a la masa de fermentación para ajustar el pH del medio entre 5.5 y 6.0 en el paso de cocción y licuefacción.

1.5 Degradabilidad ruminal de los granos de destilería provenientes de diferentes granos de cereales

Hay poca relación ente la degradabilidad de la proteína en el grano de cereal de origen y los DDGS resultantes. La degradabilidad efectiva de la proteína de la mayoría de los DDGS es más baja que en los granos de cereales, disminuyendo cerca de 17.8, 18.4, 31.5 y 26.7 puntos porcentuales en los DDGS del trigo, cebada, triticale y centeno (Kalscheur *et al.*, 2012). El maíz es una excepción, en el cual la degradabilidad efectiva de la proteína de los DDGS aumento cinco unidades porcentuales (llegando al 48%) comparado con el grano. Resultados similares han sido observados para la velocidad de degradación de la proteína, la cual disminuye en todos los DDGS comparados con el grano. Además puede notarse que los DDGS del triticale tienen menos proteína degradable (47.5) y la más baja tasa de degradación (3.6%/hora) (Kalscheur *et al.*, 2012), tablas 1-7 y 1-8.

Tabla 1-7. Parámetros de la cinética de degradación ruminal *in situ* de la proteína y degradabilidad efectiva de diferentes granos de cereales.

Parámetro	Maíz	Sorgo	Trigo	Cebada	Triticale	Centeno
a	11.0	5.0	27.0	29.0	34.0	27.0
b	82.0	73.0	67.0	65.0	56.0	69.0
c	4.0	5.5	16.0	11.0	23.0	16.0
DE	43.0	39.0	76.0	71.0	79.0	77.0

Notas: Los parámetros de cinética fueron estimados de acuerdo a la ecuación $P = a + b(1 - e^{-ct})$ de Ørskov and McDonald, 1979. a = fracción soluble (%). b = fracción potencialmente degradable (%). c = tasa de degradación (%/hora). DE = Degradabilidad efectiva (%). Para el cálculo de la DE se asumió una tasa de pasaje $k = 0.06/h$ y fue calculada según la ecuación $DE = a + bc/(k + c)$ de Ørskov and McDonald, 1979. Fuente Kalscheur *et al.* (2012).

Tabla 1-8. Parámetros de la cinética de degradación ruminal *in situ* de la proteína y degradabilidad efectiva de los granos de destilería provenientes de diferentes granos de cereales.

Parámetro	DDGS Maíz	DDGS Trigo	DDGS Cebada	DDGS Triticale	DDGS Centeno
a	18.4	27.2	17.3	17.4	14.6
b	75.2	66.5	68.5	80.3	78.6
c	3.9	5.6	6.4	3.6	5.0
DE	48.0	58.2	52.6	47.5	50.30

Notas: Los parámetros de cinética fueron estimados de acuerdo a la ecuación $P = a + b(1 - e^{-ct})$ de Ørskov and McDonald, 1979. a = fracción soluble (%). b = fracción potencialmente degradable (%). c = tasa de degradación (%/hora). DE = Degradabilidad efectiva (%). Para el cálculo de la DE se asumió una tasa de pasaje $k = 0.06/h$ y fue calculada según la ecuación $DE = a + bc/(k + c)$ de Ørskov and McDonald, 1979. Fuente Kalscheur *et al.* (2012).

1.6 Alimentación del ganado lechero con subproductos del bioetanol

Con el desarrollo de la industria de los biocombustibles se han generado grandes perspectivas en el uso de los co-productos en la alimentación animal y la fabricación de alimentos (Applegate, *et al.*, 2008). Actualmente se investiga el uso de los DDGS en la alimentación de ganado de carne y leche, porcino, avicultura de postura, engorde y piscicultura. Los subproductos del etanol han sido usados por más de 100 años, pero es solo en la actualidad que se dispone de grandes cantidades y a precios competitivos (Schingoethe, 2008).

1.6.1 Alimentación de vacas lactantes con granos de destilería

Según Kalscheur *et al.* (2012) los subproductos del etanol comúnmente empleados en la alimentación de ganado lechero incluyen los granos secos de destilería con solubles (DDGS), granos húmedos de destilería con solubles (DWGS), granos húmedos de destilería modificados con solubles (DMWGS) y los solubles condensados del destilador (CDS).

Se han conducido numerosos estudios en los que se ha evaluado la adición de subproductos del etanol en dietas para vacas lecheras en los Estados Unidos desde 1982. Más de 35 ensayos de investigación con más de 140 comparaciones de tratamientos han sido llevados a cabo, en los cuales granos de destilería tanto húmedos como secos han sido suministrados a vacas lactantes. Antes de finalizar la década de los 1990's muchos experimentos en los que se evaluaron lo DDGS en dietas para ganado usaron DDGS originados a partir de la producción de alcohol para bebidas. Desde entonces la mayoría de los DDGS evaluados en

estudios con vacas lecheras han usado DDGS provenientes de modernas plantas productoras de etanol para combustible (Kalscheur *et al*, 2011).

1.6.2 Los granos de destilería como como fuente de proteína para vacas lactantes

Desde que los DDGS fueron reconocidos primero como una fuente no costosa de proteína, la investigación ha sido conducida para probar que estos son una fuente alternativa de proteína cruda y proteína no degradable en rumen en las dietas para vacas lecheras.

En la mayoría de los estudios preliminares se usaron DDGS como sustituto de la torta de soya solos o con maíz. Palmquist y Conrad (1982) encontraron diferentes respuestas a la producción de leche en vacas Holstein comparadas con vacas Jersey alimentadas con dietas isoproteicas que contenían DDGS. Las vacas Jersey respondieron positivamente a la adición de 24% de DDGS secos mientras que las vacas Holstein no fueron afectadas por la adición de DDGS. Van Horn *et al* (1985) reportaron una disminución en la producción de leche y el porcentaje de proteína cuando los DDGS fueron suministrados a razón de 22.5% y 41.6% de la dieta para proveer 14% y 18% de proteína cruda dietaria. Estos autores atribuyeron la disminución en la producción de leche a la alta concentración de nitrógeno insoluble en detergente ácido (NIDA) en los DDGS utilizados. En otro experimento Weiss *et al* (1989) usaron DDGS producto de la mezcla de 65% cebada y 35% maíz, los DDGS fueron suministrados hasta el 12.9% de la materia seca de la dieta sin afectar el consumo de materia seca (CMS) o la producción de la producción de leche y la composición de la misma.

Owen y Larson (1991) reportaron los resultados de un estudio comparando DDGS y torta de soya en dietas para vacas en lactancia temprana. La producción de leche aumentó cuando los DDGS fueron ofertados a razón de 18.8% de la materia seca de la dieta, debido posiblemente a causa de un incremento en la PNDR dietaria, pero la producción disminuyó cuando los DDGS fueron incluidos a razón de 35.8% de la materia seca de la dieta; estos autores concluyeron que la baja digestibilidad de la proteína y baja concentraciones de lisina contribuyeron a la disminución del desempeño en las vacas a las que se les suministró 35.8% DDGS. La disminución en el porcentaje de proteína de la leche de vacas alimentadas con dietas a base de ensilaje de maíz y DDGS en este estudio indica que la lisina disponible pudo haber sido deficiente (Kalscheur *et al*, 2011).

En otra evaluación, Powers *et al* (1995) compararon tres diferentes fuentes de DDGS con torta de soya a dos concentraciones de proteína cruda dietaria (14% y 18%). A 14% de proteína cruda, los DDGS se incluyeron a razón del 13% de la dieta, mientras que al 18% PC, los DDGS se incluyeron a razón del 26% de la

dieta (en base seca). Designados por fuente, DDGS1 y DDGS2 fueron bajos en NIDA, mientras que DDGS3 fueron altos de NIDA. El consumo de materia seca no fue afectado por la fuente de DDGS o por la concentración de proteína cruda. Las vacas alimentadas con DDGS1 y DDGS2 produjeron más leche que las vacas sin DDGS (0%, dieta con torta de soya) y la dieta con DDGS3, además las vacas alimentadas con DDGS, adicionados a razón del 26% de la materia seca de la dieta produjeron más leche que aquellas alimentadas con 13% DDGS.

Kleinschmit *et al* (2006) compararon tres diferentes fuentes de DDGS provenientes de modernas plantas de producción de etanol para combustible, cada una de estas tres fuentes de DDGS fueron procesadas de una forma diferente, para intentar reducir el daño a la proteína. La fuente de DDGS tuvo muy poco impacto sobre el desempeño general en la lactancia, el consumo de materia seca no cambió, pero las vacas alimentadas con dietas que contenían DDGS (20% de la materia seca de la dieta) produjeron más leche que las vacas alimentadas con la dieta control sin DDGS. El porcentaje de grasa de la leche no cambio con la adición de DDGS, pero el porcentaje de proteína de la leche disminuyó de 3.28 a 3.16 con la adición de DDGS.

Puesto que los DDGS son usados con frecuencia como una fuente de PNDR, Pamp *et al* (2006) compararon DDGS con la proteína de la soya para investigar el efecto de la fuente y el nivel de PNDR en dietas para vacas lactantes. La proteína de la soya incluyó una combinación de torta de soya, soya extruida, cascarilla de soya y torta de soya expeller. Estos alimentos fueron combinados para obtener un contenido de nutrientes similar al de los DDGS, las dietas resultantes se formularon para contener 5.3%, 6.8% y 8.3% de PNDR (en base seca) y los DDGS se incluyeron a 0%, 11%, y 22% como fuente de PNDR. La producción de leche aumentó con el aumento en PNDR y fue mayor en las vacas alimentadas con DDGS vs proteína de soya. El porcentaje de grasa de la leche no fue afectado por la adición de PNDR pero si por su fuente, pero el porcentaje de proteína de la leche fue mayor en las vacas alimentadas con DDGS comparadas con las vacas alimentadas con proteína de soya (2.85% vs. 2.80%). Estos resultados, permiten concluir que los DDGS pueden remplazar la proteína de soya como fuente de PNDR sin reducir la producción de leche y el porcentaje de proteína de la leche si las dietas son formuladas apropiadamente (Kalscheur *et al.*, 2011).

Por otra parte, los DDGS son una buena fuente de metionina, pero son bajos en lisina, por lo tanto la suplementación con lisina protegida podría teóricamente permitir la maximización de los DDGS en dietas para vacas lecheras, en este sentido, Nichols *et al* (1998) reportaron un aumento en la producción de leche cuando las vacas fueron alimentadas con lisina y metionina protegidas en dietas donde los DDGS fueron incluidos a razón del 20.25% de la materia seca de la dieta; sin embargo en un experimento posterior, Liu *et al* (2000) no observaron un aumento en la producción de leche cuando la lisina y metionina protegidas fueron suministradas a vacas con 18.85% de DDGS en la dieta.

En general, los resultados de los experimentos de alimentación con DDGS, usando la suplementación de aminoácidos protegidos o con alimentos tales como harina de sangre para proveer lisina han sido variables, pero en general los DDGS son una buena fuente de proteína de calidad que pueden con frecuencia ser usados como la única fuente de proteína suplementaria (Kalscheur *et al* 2011).

Recientemente, Mjoun *et al* (2010) evaluaron la inclusión de DDGS bajos en grasa (3.5% grasa cruda) sobre la producción de leche y la utilización de aminoácidos por vacas lechera en la mitad de la lactancia. A las vacas se les oferto el 0%, 10%, 20% o 30% DDGS, en base seca. Como se esperaba, la lisina disminuyó con el aumento en el nivel de DDGS. El aumento en la inclusión de DDGS no afectó el consumo de materia seca o la producción de leche, pero el porcentaje de proteína de la leche respondió positiva y cuadráticamente con los niveles 10% y 20% de inclusión, pero disminuyó con 30% DDGS. Aunque las concentraciones arteriales de lisina disminuyeron linealmente con la inclusión de DDGS, la extracción de lisina por la glándula mamaria aumentó. En este experimento, a pesar de que las concentraciones de lisina fueron menos de lo recomendado cuando se agregaron DDGS, el porcentaje de proteína de la leche no disminuyó hasta que los DDGS fueron incluidos al nivel de 30% de la dieta, lo que sugiere que la lisina no fue limitante para la síntesis de proteína hasta que las vacas fueron alimentadas con 30% de DDGS en la dieta (Kalscheur *et al* 2011).

1.6.3 Los granos de destilería como fuente de carbohidratos para vacas lactantes

Dado que los granos de destilería contienen altos niveles de FDN, se puede pensar en reemplazar FDN del forraje con FDN de los granos de destilería cuando se formulan las dietas. Es importante aclarar que el FDN de los granos de destilería no es fibra efectiva debido a su pequeño tamaño de partícula y la alta fermentabilidad en rumen (Kalscheur *et al.*, 2011).

También se han llevado a cabo investigaciones con el propósito de evaluar la capacidad de los DDGS para reemplazar una porción de los forrajes comúnmente empleados en las dietas para vacas lecheras. Puesto que los DDGS presentan un alto contenido de FDN, es tentador reemplazar algo del FDN suministrado por los forrajes por FDN proveniente de los DDGS.

En este sentido, Clark y Armentano (1993) evaluaron los efectos sobre la producción y composición de la leche del reemplazo de FDN de alfalfa por FDN proveniente de los DDGS. El reemplazo de 12.7% de la materia seca de la alfalfa con DDGS resultó en un incremento en la producción de leche y el porcentaje de proteína. La producción de grasa de la leche no fue alterada con la inclusión de

DDGS, aunque la proporción de alfalfa en la dieta se redujo de 44% a 31% de la materia seca de la dieta.

Una de las preocupaciones sobre el remplazo de la FDN del forraje en dietas para vacas lecheras es, que la remoción de fibra físicamente efectiva puede alterar la función normal del rumen causando una depresión en el contenido de grasa de la leche. Cyriac *et al* (2005) evaluaron el efecto del remplazo de fibra del forraje de ensilaje de maíz con fibra no forrajera proveniente de DDGS. Las dietas se formularon para incluir 0%, 7%, 14%, y 21% de DDGS remplazando una porción igual de ensilaje de maíz; la dieta basal consistía de 40% ensilaje de maíz y 45% concentrado, todas las dietas contenían 15% heno de alfalfa. El consumo de materia seca aumentó con el aumento en el nivel de inclusión de DDGS en las dietas, pero la producción de leche no fue afectada. El porcentaje de grasa de la leche, sin embargo disminuyó (3.34%, 3.25%, 3.04% y 2.85%) y la proteína verdadera de la leche aumentó (2.82%, 2.90%, 2.93%, y 3.04%) a medida que el porcentaje de DDGS aumentó en la dieta. Cuando se formulan dietas con DDGS, se bene tener en cuenta incluir suficiente fibra físicamente efectiva proveniente del forraje, para prevenir cambios en la composición de la grasa de la leche (Kalscheur *et al.*, 2011).

A medida que los DDGS van siendo competitivos en precio con el maíz, ha habido un gran interés en remplazar la energía suministrada por el almidón en el grano de maíz con fibra no forrajera proveniente de los DDGS (Kalscheur *et al.*, 2011). A este respecto, Ranathunga *et al.* (2010) evaluaron el remplazo del maíz con DDGS y cascarilla de soya de modo que la concentración de almidón en la dieta disminuyo de 29% a 20% de la dieta (en base seca). El remplazo del almidón del maíz con fibra no forrajera de los DDGS y cascarilla de soya no afectó la producción de leche o su composición. Esto hizo, sin embargo, disminuir el consumo de materia seca, resultando en una tendencia a aumentar la eficiencia alimenticia. La mayor conversión de alimento a leche combinada con bajos costos de alimentación ha mostrado mejorar la rentabilidad cuando fuentes de fibra no forrajera remplazan el maíz en las dietas para vacas lactantes (Kalscheur *et al.*, 2011).

1.6.4 Los granos de destilería como fuente de grasa para vacas lactantes

Además de proveer fibra fermentable y proteína en las dietas para vacas lecheras, los DDGS han sido ampliamente reconocidos como un suplemento alto en energía para las vacas lecheras lactantes (Kalscheur *et al.*, 2011). En el año 1952, Loosli *et al.* reportaron aumentos en la producción de leche y grasa cuando las vacas fueron alimentadas con DDGS.

Comúnmente los DDGS contienen 9% a 11% de grasa, la cual a su vez representa 25% a 30% del contenido de energía de los DDGS (Kalscheur *et al.*, 2011). Técnicamente la grasa contenida en los DDGS es más apropiado llamarla aceite, ya que este permanece líquido a temperatura ambiente debido a su alto grado de insaturación. Durante el proceso de molido seco, el aceite es normalmente extraído de los subproductos para ser comercializado como aceite de maíz. Sin embargo, para la producción de etanol por el proceso de molido seco, el aceite no es usualmente extraído de los granos de destilería o los solubles (Kalscheur *et al.*, 2011). Los valores reportados para extracto etéreo (aceite) en los solubles varía de 18.5% a 21.5% de la materia seca (DaCruz *et al.*, 2005; Kalscheur *et al.*, 2008, Sasikala-Appukuttan *et al.*, 2008). Por lo tanto, la cantidad de aceite en los solubles del maíz agregados a los granos de destilería, aumenta el extracto etéreo de estos últimos de 8.9% a 11.7% para la mayoría de los DDGS dependiendo de la cantidad de solubles agregados a los granos de destilería por el procesador (Noll *et al.*, 2007).

Respecto al contenido de ácidos grasos del aceite en los granos de destilería y los solubles, estos contienen un perfil de ácidos grasos similar al aceite de maíz con aproximadamente 53.3% de ácido linoleico (C18:2), 25.7% de ácido oleico (C18:1), 14.6% de ácido palmítico (C16:0) y 1.6% de ácido linolénico (Leonardi *et al.*, 2005).

Debido a la gran cantidad de ácidos grasos insaturados, hay preocupación por los efectos negativos del aceite presente en los granos de destilería sobre la síntesis de grasa láctea creando una depresión en la grasa de la leche (Kalscheur *et al.*, 2011). La depresión en la grasa de la leche consiste en una reducción en la producción de grasa en la leche, que ha sido asociada con la presencia de ciertos intermediarios de la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados de 18 carbonos derivados de la alteración microbiana de aquellos presentes en el rumen, proceso que ha sido descrito y explicado el papel regulatorio que estos intermediarios tienen en la síntesis de la grasa de la leche (Bauman and Griinari, 2003),

Si se siguen las recomendaciones de formulación cuando se alimenta con granos de destilería u otros coproductos del maíz, una depresión en el contenido de grasa de la leche probablemente no ocurrirá (Kalscheur *et al.*, 2011). Una de las recomendaciones para prevenir una depresión en la grasa de la leche es la inclusión de una cantidad adecuada de fibra efectiva. Un meta-análisis de la investigación sobre la alimentación de vacas lecheras con granos de destilería llevado a cabo por Kalscheur (2005) reporta que los porcentajes de grasa de la leche disminuyeron levemente cuando se incluyeron DDGS en las dietas a razón de 20% a 30% de la materia seca de la dieta, pero no a 40%. Un análisis posterior reveló que esas disminuciones en la grasa de la leche estuvieron más relacionados con el contenido de forraje de las dietas, ya que en las dietas con más de 50% de la materia seca como forraje, la producción de grasa láctea no cambió comparada con las dietas control.

Los datos de campo sobre la disminución de la grasa de la leche cuando las dietas contienen más de 10% de la materia seca de la ración como granos de destilería húmedos no están soportados por resultados de investigación. Estas investigaciones no han mostrado disminuciones en el contenido de grasa de la leche, cuando dietas que contenían granos de destilería húmedos o secos a cualquier nivel, incluso tan alto como 40% del consumo de materia seca, incluso el contenido de grasa de la leche fue más alto numéricamente en dietas que contenían granos de destilería (Schingoethe, 2008).

Se han realizado varios experimentos sobre el uso de DDGS en producción de grasa en la leche, así Mpapho *et al.* (2006) alimentaron vacas Holstein y Pardo Suizo con dietas con 50% forraje y DWGS a razón del 15% de la materia seca durante una lactancia completa. Los porcentajes de grasa promediaron 4.1% para vacas alimentadas con DWGS comparado con 3.7% para las dietas sin DWGS. En un estudio donde se compararon granos de destilería incluidos a razón de 10% y 20% de la dieta y DWGS versus DDGS, obtuvieron los mayores rendimientos de grasa de la leche con dietas que contenían granos de destilería en ambas formas comparados con la dieta control (Anderson *et al.*, 2006)

Del mismo modo, Kleinschmit *et al.* (2006) observaron un aumento en la producción de grasa cuando se agregaron a las dietas diferentes fuentes de DDGS a razón del 20% de la materia seca. Las vacas alimentadas con dietas que contenían DDGS produjeron 1.26 kg/d de grasa láctea comparadas con 1.14 kg/d para las vacas alimentadas con la dieta control. En ambos estudios anteriores, las dietas control y tratamiento no fueron normalizadas para el contenido total de lípidos, con una concentración de grasa 2% a 3% mayor en las dietas que contenían granos de destilería, de manera que los resultados obtenidos en estos experimentos reflejan las observaciones de Loosli (1952), quien reporta un aumento en la producción de grasa de la leche cuando se agregan granos de destilería a las dietas de vacas lecheras.

Griinari *et al.* (1998) demostraron una severa disminución en la grasa de la leche cuando se agregó grasa insaturada del aceite de maíz a dietas con una disminución en el contenido de forraje, generando información sobre los efectos potenciales de la grasa de los granos de destilería sobre la producción de grasa de la leche cuando los contenidos de forraje de la dieta son marginales. Más recientemente, Cyriac *et al.* (2005) mostraron una disminución lineal en el contenido de grasa de la leche cuando DDGS y cascarilla de soya remplazaron el ensilaje de maíz en una relación uno a uno por el contenido de FDN, demostrando la necesidad de mantener la fibra efectiva del forraje cuando se alimenta con dietas que contienen DDGS (Kalscheur *et al.*, 2011).

En cambio, en dietas que contienen menos forraje (45% MS de la dieta), Leonardi (2005), encontró una disminución lineal en el porcentaje de grasa de la leche a medida que los DDGS aumentaron de 0% a 15% de la materia seca de la dieta; sin embargo, las cantidades de grasa de la leche no disminuyeron, igualmente

Hippen *et al.* (2010), reportan disminuciones en los porcentajes y cantidades de grasa de la leche cuando se alimentó a vacas con dietas que contenían 20% DDGS y 43% de forraje y menos de 20% MS de la dieta como FDN del forraje.

La relativa disponibilidad física del aceite contenido en los granos de destilería también tiene impacto sobre su posibilidad para crear una depresión en la grasa de la leche, así Abdelqader *et al.* (2009) suministraron dietas que contenían 2.5% de aceite como suplemento proveniente de germen de maíz, DDGS o aceite de maíz. Las concentraciones de grasa de la leche promediaron 3.88%, 3.80%, 3.59% y 3.5% para los tratamientos control, germen de maíz, DDGS y aceite de maíz, respectivamente. En este experimento las dietas contenían 55% de forraje con 22.7% de FDN proporcionado por el forraje. Las diferencias en las concentraciones de grasa de la leche fueron atribuidas a la relativa disponibilidad de ácidos grasos en los productos y su susceptibilidad a la biohidrogenación ruminal. Igualmente, estos autores observaron una disminución lineal en las concentraciones de grasa de la leche a medida que los DDGS se incrementaron hasta el máximo nivel de inclusión (15% de la materia seca de la dieta), pero las concentraciones de grasa fueron similares cuando las vacas fueron alimentadas con aceite de maíz a 1.5%.

Respecto a los perfiles lipídicos de la leche, estos no han cambiado significativamente cuando se han suministrado granos de destilería y la producción de grasa de la leche es normal. Pero cuando ocurre una disminución en la grasa de la leche como consecuencia de la alimentación con granos de destilería, los perfiles de ácidos grasos de la leche se han alterado significativamente, con un aumento en las concentraciones de ácidos grasos de cadena larga y una disminución en las concentraciones de ácidos grasos de cadena corta a partir de la síntesis de novo (Kalscheur *et al.*, 2011).

Se han observado pequeños aumentos en los ácidos grasos trans y conjugados (Leonardi *et al.*, 2005; Anderson *et al.*, 2006; Abdelqader *et al.*, 2009; Owens *et al.*, 2009), lo que sugiere que el mecanismo de depresión en la grasa de la leche de los granos de destilería parece ser atribuible a vías alteradas de la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados (Kalscheur *et al.*, 2011).

En síntesis, la alimentación con granos de destilería tendrá efectos mínimos sobre, y puede aumentar la producción de grasa de la leche cuando se siguen las recomendación de alimentación. Para evitar la depresión en la grasa de la leche cuando se suministran granos de destilería, se deben proveer cantidades adecuadas de fibra efectiva, y se debe considerar además la fermentabilidad ruminal del almidón y la dieta como un todo. Las dietas que proveen unos patrones de fermentación ruminal saludables, serán probablemente candidatas exitosas para la inclusión de granos de destilería con efectos mínimos sobre la grasa de la leche (Kalscheur *et al.*, 2011).

1.6.5 Los granos de destilería como fuente de minerales para vacas lactantes

Los granos de destilería son una fuente relativamente alta de fósforo (P), aunque el maíz es alto en P fítico se ha teorizado que este sufre hidrólisis durante el proceso de fermentación en la planta de etanol resultando DDGS con P altamente soluble (Kalscheur *et al.*, 2011). Lo que fue corroborado por Mjoun *et al.* (2008) quienes encontraron que la desaparición ruminal de P fue más alta para los DDGS.

En otro estudio, cuando se sustituyeron los DDGS por soya y P inorgánico en dietas para vacas lactantes, la adición de DDGS no afectó la utilización de P, ni aumentó la excreción de P por la vaca, comparada con las fuentes tradicionales de P dietario (Mjoun *et al.*, 2007). Este estudio demostró que la alimentación con DDGS a concentraciones necesarias para satisfacer, pero no exceder los requerimientos de P es clave para formular dietas que no aumenten la excreción de P.

Otros minerales no han sido estudiados extensamente en vacas lecheras lactantes, pero hay considerable variación en el contenido de S en los DDGS, por lo tanto los niveles de S se deben considerar para prevenir toxicidades (Kalscheur *et al.*, 2011).

1.6.6 Niveles de inclusión de los granos de destilería en las raciones para vacas lactantes

A menudo surgen preguntas sobre la cantidad máxima de granos de destilería que pueden ser utilizados en la ración de vacas lecheras. Varios estudios en los que se han evaluado niveles de inclusión de DDGS en las dietas para vacas lecheras han sido llevados a cabo, así Anderson *et al.* (2006) suministraron dietas isoproteicas formuladas para incluir 0%, 10% y 20% DDGS y que contenían 50% de forraje, del cual la mitad fue ensilaje de maíz y la otra mitad heno de alfalfa; la producción de leche fue mayor para las vacas alimentadas con las dietas que contenían 20% DDGS (39.8, 40.9 y 42.5 kg/d para 0%, 10% y 20%, respectivamente), y la composición de la grasa de la leche y la proteína no fueron afectadas por los DDGS.

En otro experimento, Hippen *et al.* (2004), usaron DDGS hasta un 40% de la dieta en base seca, las dietas fueron formuladas para incluir DDGS al 0%, 13%, 27% y 40% de la dieta, aunque no fueron isoproteicas, el contenido de proteína cruda aumentó de 16.5% a 18.9%, y el ensilaje de maíz fue el forraje predominante en

este estudio. La producción de leche fue mayor al 13% de inclusión de DDGS y disminuyó a medida que estos aumentaron en la dieta (40.7, 41.7, 39.1, 36.3 kg/d para cada porcentaje de inclusión de DDGS), pero el porcentaje de grasa de la leche disminuyó de 3.40% a 3.16% para las vacas alimentadas con la dieta control versus las dietas con DDGS.

Más recientemente, Janicek *et al.* (2008) evaluaron la inclusión de DDGS hasta un 30% de la dieta en base seca y fueron formuladas para incluir DDGS al 0%, 10%, 20% y 30% de la dieta, reemplazando tanto forraje como ingredientes del concentrado. El consumo de materia seca (CMS), aumentó linealmente con la inclusión de DDGS en la dieta (21.4, 22.4, 23.0, y 24.0 kg/d), al igual que la producción de leche (27.4, 28.5, 29.3, y 30.6 kg/d) y el contenido de grasa y proteína de leche fue similar para todas las dietas.

Grings *et al.* (1993) agregaron DDGS al 0%, 10.1%, 20.8%, y 31.6% de la materia seca en la dieta a base de alfalfa y fueron formuladas para proveer 13.9%, 16.0%, 18.1%, y 20.0% PC con el aumento en el contenido de DDGS. Aunque el CMS no varió entre las dietas, la producción de leche y el porcentaje de proteína aumentaron linealmente con el aumento en el contenido de DDGS en la dieta. Se debe resaltar que el porcentaje de proteína de esas dietas no se mantuvo constante; por lo tanto a medida que los DDGS aumentaron en la dieta, lo mismo ocurrió con el contenido de PC. Las vacas alimentadas con 31.6% DDGS produjeron la misma cantidad de leche que aquellas alimentadas con la dieta cuya adición de DDGS fue del 20.8%, por lo tanto las vacas alimentadas con 31.6% DDGS en la dieta, fueron alimentadas en exceso de su requerimiento de proteína y consecuentemente, no hubo una respuesta en producción de leche (Kalscheur *et al.*, 2011).

Investigadores de la Universidad Estatal de Dakota del Sur (Estados Unidos) han sugerido que un máximo de 20% de granos de destilería debería ser incluido en la ración de vacas lecheras (en base a materia seca), puesto que a niveles mayores del 20% de la dieta, pueden presentarse problemas de palatabilidad y excesivo consumo de proteína (Schroeder, 2003).

Finalmente, alrededor de 24 investigaciones con más de 100 comparaciones de tratamientos se han conducido en Estados Unidos desde 1982 (Schingoethe, 2008), en las cuales los DDG de maíz húmedos o secos, fueron suministrados a vacas lactantes, en cantidades que variaron entre el 4.2% y el 41.6% del total de la materia seca de la dieta (Broderick *et al.*, 1990, Van Horn *et al.*, 1985).

La producción de leche fue mayor o igual, tanto cuando se suministraron granos de destilería como cuando se suministraron dietas control en prácticamente todos los experimentos, excepto posiblemente cuando se dieron cantidades muy altas (p.e., 30% o más de la materia seca de la dieta) en la forma de granos de destilería húmedos (Kalscheur, 2005). Parte de la producción adicional ha sido atribuible al contenido alto de grasa en las dietas con granos de destilería, porque

el contenido de grasa de las dietas no siempre fue balanceado entre las dietas en todos los experimentos. Sin embargo, en experimentos tales como el de Pamp *et al.* (2006), que comparó granos de destilería con proteína de soya como suplemento de proteína, la producción fue similar o mayor, aun cuando los granos de destilería y las dietas a base de soya fueron formuladas para ser iguales en el contenido de proteína no degradable en rumen (PNDR) y grasa; en cambio la producción fue similar cuando se suministraron granos de destilería de whiskey o etanol (Powers *et al.*, 1995), pero en ambos casos la producción fue mayor que cuando se suministró una dieta control a base de torta de soya.

1.6.7 Análisis de los estudios con granos de destilería

Kalscheur *et al.* (2005) llevaron a cabo un meta-análisis de los estudios de alimentación previos con granos de destilería para valorar el impacto de su inclusión sobre el desempeño en la lactancia. Un total de 23 estudios en los que se investigó la inclusión de granos de destilería en dietas para vacas lecheras fueron compilados en una base de datos con 96 comparaciones de tratamientos.

Un resumen de este amplio estudio se presenta en la tabla 1-9. En general el CMS aumentó cuando los granos de destilería fueron incluidos hasta en un 20% de la materia seca en dietas para vacas lecheras; sin embargo mientras el CMS de las vacas alimentadas con DWGS (Granos de Destilería de Trigo) fue mayor a bajos niveles de inclusión (< 20% MS), las vacas alimentadas con DDGS (Granos Secos de Destilería con Solubles) incrementaron el CMS hasta el 30% de inclusión.

La producción de leche no fue afectada por la forma de los DDG (húmedos o secos), pero hubo una respuesta curvilínea ante el aumento de los DDG en dietas para vacas lecheras. Las vacas que fueron alimentadas con dietas que contenían 4% a 30% de granos de destilería produjeron cantidades similares de leche, aproximadamente 0.4 kg/d más que las vacas alimentadas con dietas que no contenían granos de destilería. Cuando las vacas fueron alimentadas con el mayor nivel de inclusión (>30%), la producción de leche disminuyó (Kalscheur *et al.*, 2011).

El porcentaje de grasa de la leche vario entre niveles de inclusión pero no fue afectado significativamente por el nivel de inclusión o la forma de los granos de destilería (Tabla 1-8). Con el conjunto de datos actuales, la inclusión de granos de destilería no explica la teoría de que la alimentación con granos de destilería resulta en una depresión en el contenido de grasa de la leche, puesto que muchos factores juegan un rol importante en la depresión de la grasa de la leche (Kalscheur *et al.*, 2011; Kalscheur *et al.*, 2012).

Respecto al porcentaje de proteína en leche, no fue diferente para vacas alimentadas con dietas entre el 0% al 30% de inclusión de granos de destilería y la forma (húmedos o secos) de los DDG no alteró los contenidos (Tabla 1-9).

Tabla 1-9. Desempeño en la lactancia de vacas lecheras alimentadas con niveles crecientes de granos de destilería húmedos o secos.

Nivel de inclusión (en base a MS)	CMS (kg/d)			Leche (kg/d)			Grasa	Proteína	EF ^a
	DDGS	DWGS	General	DDGS	DWGS	General	%	%	
0%	23.5d	20.9c	22.2c	33.2	31.4	33.0	3.39	2.95b	1.41
0%–10%	23.6c,d	23.7b	23.7b	33.5	34.0	33.4	3.43	2.96b	1.44
10%–20%	23.9b,c	22.9b,c	23.4b,c	33.3	34.1	33.2	3.41	2.94b	1.44
20%–30%	24.2b	21.3b,c	22.8b,c	33.6	31.6	33.5	3.33	2.97b	1.42
>30%	23.3c,d	18.6d	20.9d	32.2	31.6	32.2	3.47	2.82c	1.48
SEM	0.8	1.3	0.8	1.5	2.6	1.4	0.08	0.06	0.06

Fuente: Adaptado de Kalscheur, 2005.

^a Eficiencia alimenticia(EA) = Leche corregida por energía/CMS.

^{b,c,d} Valores en la misma columna seguidos por una letra diferente difieren significativamente ($P < 0.05$). Sin superíndice indica no diferencia significativa entre tratamientos.

Por otra parte, el porcentaje de proteína de la leche disminuyó 0.13 unidades porcentuales cuando los DDG fueron incluidos a concentraciones mayores al 30% de la dieta comparada con vacas alimentadas con la dieta control; a niveles de inclusión mayores al 30% de la dieta, los DDG pueden posiblemente remplazar todas las demás fuentes de suplementación con proteína (Kalscheur *et al.*, 2011). Consecuentemente, la disminución en la digestibilidad intestinal de la proteína, la disminución en la concentración de lisina y un perfil desbalanceado de aminoácidos pueden todos contribuir a un bajo porcentaje de proteína en la leche.

Sin embargo, debe notarse que los bajos porcentajes de proteína de la leche fueron más evidentes en los estudios conducidos en las décadas de 1980s y 1990s (Kalscheur *et al.*, 2011). Estudios más recientes no son consistentes en mostrar este efecto, ya que la lisina es muy sensible al calor, y puede ser negativamente afectada por el procesamiento y secado. El mejoramiento de los procedimientos de procesamiento y secado en las nuevas plantas de etanol pudo mejorar la calidad de los aminoácidos del producto (Kalscheur *et al.*, 2011).

En este meta análisis del uso de DDG en la eficiencia alimenticia, definida como leche corregida por energía (kg/d)/CMS (kg/d) tendió a aumentar ($p = 0.06$) con la inclusión de granos de destilería en las dietas (Tabla 1-10). Esto indica que las dietas formuladas con granos de destilería mejoran (2% al 5%) la conversión de nutrientes del alimento a leche comparados con los alimentos tradicionales dependiendo del nivel de inclusión (Kalscheur *et al.*, 2011).

En la revisión de Kalscheur *et al.* (2012), se encontró que el tipo de forraje no tiene impacto sobre el CMS, la producción de leche o la composición de la grasa de la leche para dietas que contenía granos de destilería. El tipo de forraje, sin embargo, afectó la composición de la proteína de la leche, puesto que las vacas alimentadas con dietas que contenían 55% a 75% de ensilaje de maíz produjeron leche con la mayor concentración de proteína (3.04%). Vacas alimentadas 100% alfalfa/pasto con 0% ensilaje de maíz presentaron la más baja concentración de proteína en la leche (2.72%), en cambio vacas alimentadas con 45% a 54% de ensilaje de maíz o con 100% ensilaje de maíz produjeron leche con niveles intermedios de proteína (2.98% y 2.82%, respectivamente); pero vacas alimentadas con dietas con una mezcla de ensilaje de maíz y alfalfa produjeron leche con un mayor porcentaje de proteína, sugiriendo que las dietas formuladas con un una fuente de forraje son probablemente más deficientes en aminoácidos necesarios para maximizar el porcentaje de proteína de la leche (Kalscheur *et al.*, 2011).

La relación forraje:concentrado es otro factor dietario que puede afectar el desempeño en lactancia de la vaca lechera cuando los granos de destilería se incluyen en la dieta. Para evaluar el efecto de las relaciones forraje:concentrado, se compararon tratamientos (Kalscheur *et al.*, 2012) en una de tres categorías: dietas con <50% forraje, dietas 50% forraje – 50% concentrado y dietas con >50% forraje.

En este caso, el consumo de materia seca (CMS), la producción de leche y el porcentaje de proteína de la leche no fueron afectados por la relación forraje:concentrado (Tabla 1-10), el porcentaje de grasa de la leche, sin embargo, disminuyó 0.36 unidades porcentuales en las dietas con <50% forraje.

Tabla 1-10. Efecto de la relación forraje:concentrado en la dieta sobre el desempeño en lactancia.

% Forraje en la dieta	CMS (kg/d)	Leche (kg/d)	Grasa (%)	Proteína (%)
<50% forraje	23.1	34.1	3.21b	2.95
50% forraje	23.7	32.3	3.57a	2.90
>50% forraje	22.4	32.5	3.46a	2.97
SEM	1.10	2.18	0.072	0.078

Fuente: Adaptado de Kalscheur, 2005.

^{a,b} Valores en una misma columna seguidos por una letra diferente difieren significativamente ($P < 0.05$). Una columna sin letras puede indicar que no hay diferencia significativa.

Esto podría ser explicado por la carencia de forraje en la dieta, atribuido probablemente a insuficiencia de fibra efectiva, ya que es el principal factor que contribuye a una disminución en el porcentaje de grasa de la leche más que la inclusión de granos de destilería en la dieta. Kalscheur *et al.*, (2011), en su

revisión, no encontró una fuerte relación entre la inclusión de granos de destilería y la depresión en la grasa de la leche, sin embargo puede haber interacciones entre la concentración de grasa en los granos de destilería y una carencia de fibra efectiva en las dietas, lo cual puede resultar en una depresión en la grasa de la leche.

El último factor que fue evaluado en dicha revisión, fue la formulación para aminoácidos, en el análisis se incluyeron experimentos en los cuales la lisina y la metionina protegidas o una fuente de lisina, como harina de sangre, fue agregada a las dietas. La lisina puede ser deficiente en dietas donde subproductos del maíz son los ingredientes predominantes y en este caso, el porcentaje de proteína de la leche tiende a aumentar cuando las dietas incluyen una fuente de lisina (Kalscheur *et al.*, 2011).

Hay factores dietarios adicionales a considerar cuando se decide cuantos granos de destilería incluir en la dieta de una vaca lactante, en este caso, las dietas deben ser formuladas apropiadamente para prevenir disfunciones ruminales. La fibra provista por los granos de destilería puede mejorar la fermentación en rumen siempre y cuando no sustituya la fibra del forraje necesaria para la función del rumen (Kalscheur *et al.*, 2011).

Respecto a este tema, recientemente Hollmann *et al.* (2011) llevaron a cabo un meta análisis, sobre como la fermentabilidad de la dieta influye sobre el desempeño en la lactancia en respuesta a los granos de destilería. Para este fin utilizaron una base de datos de medias de tratamientos (n=44) reportados en 16 artículos científicos publicados desde 1985 hasta 2008. La base de datos incluyo la respuesta a una dieta con granos de destilería de maíz comparada con la dieta control (sin granos de destilería) para las variables producción de leche, % y cantidad de grasa en la leche, contenido de granos de destilería de la dieta y composición de las dietas control y tratamiento (% materia seca de la dieta).

Adicionalmente, la fermentabilidad de los granos de maíz fue clasificada como alta humedad (n=7) o secos (n=37). Las concentraciones dietarias de granos de destilería variaron desde 4.2% hasta 42% entre estudios. Las respuestas a los granos de destilería de maíz fueron 0.5 ± 2.10 kg/vaca por día para producción de leche, 0.05 ± 0.178 unidades porcentuales para la concentración de grasa en la leche, y 26 ± 77.6 g/vaca para la producción de grasa de la leche. Solamente la respuesta en producción de leche estuvo relacionada con el incremento en las concentraciones de granos de destilería en la dieta y registró un máximo de 1.2 kg/vaca por día con un 21% de granos de destilería.

La fermentabilidad de la dieta estuvo asociada con las respuestas, así la mayor respuesta en producción de leche a los granos de destilería se presentó con 24% ensilaje de maíz o 23% de almidón, y concentraciones mayores al 47% de ensilaje de maíz o 32% de almidón resultaron en una respuesta negativa en la producción de leche (Hollmann *et al.*, 2011). Estas respuestas en producción de

leche fueron diferentes por nivel de producción de leche y con frecuencia fueron más evidentes en vacas de alta producción (> 30 kg leche/d) que en vacas de baja producción.

1.6.8 Alimentación de vacas lecheras en pastoreo con granos de destilería

Relativamente poca investigación ha sido conducida en la alimentación de vacas lecheras en pastoreo con DDGS, situación dominante en el país y en las zonas lecheras de clima frío de Antioquia. Puesto que los DDGS representan una buena fuente de PNDR y tienen un alto contenido de energía, esto provee un complemento dietario ideal para pastos, los cuales típicamente tienen altas concentraciones de PDR y bajos valores de energía.

En este sentido, Shaver *et al.* (2009) evaluaron los DDGS como suplemento para vacas lecheras en pastoreo de raigrás en fincas lecheras de Chile; los DDGS fueron ofertados a razón de 2 kg/d en 5 kg de concentrado, remplazando maíz y torta de soya. Los efectos de los DDGS variaron por época, pero la alimentación con DDGS tendió a aumentar la producción de leche de 1.8 a 1.9 kg/d independientemente de la época del año. El porcentaje de grasa de la leche disminuyó durante la primavera cuando la calidad del pasto fue mayor y contenía más fibra altamente digerible.

Por otro lado, Nyoka *et al.* (2007) con vacas lecheras en pastoreo de alfalfa examinaron los efectos de la suplementación de vacas con forrajes almacenados y concentrados para suministrar la mitad de sus requerimientos diarios. Los suplementos variaron por inclusión de (1) DDGS razón del 15% del CMS diario o DDGS remplazados por (2) torta de soya y soya extruida o (3) harina de pescado y aceite de soya. En respuesta a estos tratamientos, no hubo efectos dietarios sobre la producción de leche, la cual promedió 31.5 kg/d, además no se observaron efectos de los suplementos proteicos sobre la producción de leche, pero las concentraciones de grasa y proteína en la leche fueron mayores para vacas suplementadas con harina de pescado y aceite de soya, y con las vacas suplementadas con DDGS en segundo lugar para las concentraciones de grasa y proteína en la leche.

Estos resultados indican que aunque la calidad de la proteína de los DDGS puede limitar las respuestas en producción, comparados con harina de pescado cuando se dan a ganado en pastoreo, los DDGS parecen ser preferibles como suplemento de proteína para vacas lecheras en pastoreo comparados con torta de soya.

La mayoría de los ensayos de investigación llevados a cabo para evaluar el efecto de los granos de destilería han sido de corta duración (periodos de cuatro o cinco semanas) en experimentos de tipo cuadrado latino (Schingoethe, 2008). Sin embargo, los productores suelen estar más preocupados sobre las respuestas en producción a largo plazo y si los experimentos llevados a cabo en periodos cortos de tiempo reflejan con precisión la respuesta esperada cuando las vacas se alimentan con granos de destilería por largos períodos de tiempo. Por lo tanto, se realizó un experimento en el que las vacas fueron alimentadas con granos de destilería húmedos, a razón de 15% de la materia seca de la dieta durante la lactancia completa, durante el período seco, y en la segunda lactancia. Después del primer año, no hubo diferencias en la producción (31.7 y 33.6 kg/d para el control y granos de destilería húmedos), mientras que el porcentaje de grasa (3.75% y 4.07%), porcentaje de proteína (3.29% y 3.41%), y la eficiencia alimenticia (1.30 y 1.57 LCG kg/kg MSC), fueron mayores en vacas alimentadas con granos de destilería húmedos. La respuesta durante el periodo seco y los primeros 70 días de la próxima lactancia fue similar para las vacas alimentadas con la dieta control y los granos de destilería húmedos (Mpapho *et al.*, 2006).

La alimentación con granos de destilería probablemente no afecta el sabor de la leche o el proceso de elaboración de varios productos derivados de la misma, sin embargo, no se tiene conocimiento de ninguna investigación que evalúe los efectos de la alimentación con granos de destilería sobre este aspecto, no obstante no hay razón para esperar problemas (Schingoethe, 2008).

1.6.9 Alimentación de vacas lecheras con diferentes tipos de granos de destilería con solubles (DDGS)

Kalscheur *et al.*, (2012) resumieron el efecto de la alimentación de vacas lecheras con diferentes tipos de DDGS, no hubo efecto sobre la producción de leche, CMS, y actividad en el rumen en ocho experimentos con vacas lecheras lactantes alimentadas con DDGS de maíz sustituidos por otros granos de destilería.

En otro estudio (Weiss *et al.*, 1989) compararon el efecto de la sustitución parcial o total de torta de soya con DDGS de cebada en 60 vacas en segundo tercio de lactancia. Estos autores no encontraron efecto de diferentes fuentes de proteína sobre la producción de leche, la producción de grasa de la leche y el CMS, pero hubo una tendencia a disminuir la proteína de la leche a medida que los DDGS aumentaron en la dieta y los coeficientes de digestibilidad de la MS, FDN, FDA, lignina y PC de cada dieta no fueron afectados por la fuente de proteína en la dieta.

En otro trabajo de Al-Suwaiegh *et al.* (2002), no encontraron diferencias significativas en producción de leche, CMS, pH ruminal, AGV y digestibilidad total

de FDN y FDA entre dietas para lactancia temprana que contenían DDGS de sorgo o maíz, a un nivel de inclusión de 15% de la materia seca de la dieta. Shelford y Tait (1986) también observaron resultados similares con dietas para lactancia media que incluyeron DDGS de centeno o maíz a niveles de inclusión similares a los empleados por Al-Suwaiegh *et al.* (2002).

Los investigadores Greter *et al.* (2008), suministraron una dieta donde el 21% de la materia seca fue aportada por DDGS de triticale o maíz como única fuente de proteína a vacas en lactancia media, se observó que aunque las concentraciones en plasma de algunos aminoácidos esenciales y el nitrógeno ureico en leche fueron mayores en vacas alimentadas con DDGS de maíz que en aquellas alimentadas con DDGS de triticale, el CMS y la producción de leche no fueron afectados por el tipo de DDGS. También encontraron interacciones significativas entre número de partos y tratamiento para producción de leche, concentración de grasa en la leche y leche corregida por grasa al 4%. Las vacas multíparas alimentadas con DDGS de triticale tuvieron mayor concentración de grasa de la leche comparadas con vacas primíparas, pero tales diferencias no se encontraron en vacas alimentadas con DDGS de maíz.

En otro experimento, (Oba *et al.*, 2010) evaluaron DDGS de triticale, DDG de maíz, pasta de canola, y torta de soya como fuentes primarias de proteína en dietas para vacas lecheras lactantes. El tipo de DDGS (maíz vs triticale) en las dietas no afectó el CMS, producción de leche o composición de aminoácidos y metabolitos en plasma, ni la digestibilidad de la MS, MO, PC, almidón y FDN de la dieta. La concentración de proteína en la leche fue menor en vacas alimentadas con cualquiera de los DDGS que en aquellas suplementadas con torta de soya. La dieta con DDGS de maíz produjo menos proteína en la leche que la dieta con pasta de canola. Las concentraciones en plasma de arginina, lisina y treonina fueron mayores en vacas alimentadas con pasta de canola y torta de soya que aquellas alimentadas con DDGS de maíz, sin embargo, la concentración en plasma de leucina y fenilalanina fue mayor en las vacas alimentadas con DDGS de maíz. En general los experimentos sugieren que los DDGS de triticale pueden reemplazar los DDGS de maíz, pasta de canola y torta de soya en dietas para vacas lecheras sin efectos adversos sobre la producción de leche (Kalscheur *et al.*, 2012).

Recientemente, se llevaron a cabo dos experimentos en Canadá para evaluar el efecto de la sustitución parcial de ensilaje de cebada con DDGS de trigo como sustituto del forraje. En el experimento de Zhang *et al.* (2010) se evaluaron tres dietas experimentales (1) dieta control (50% ensilaje de cebada + 50% concentrado, en base seca); (2) una dieta donde el ensilaje de cebada fue reemplazado con DDGS de trigo a razón del 20% de la materia seca de la dieta; y (3) una dieta donde el ensilaje de cebada fue reemplazado con DDGS de trigo y heno de alfalfa (20 y 10% de la materia seca de la dieta, respectivamente). Si bien las vacas alimentadas con DDGS gastaron menos tiempo rumiando, tuvieron un bajo pH del rumen y menores relaciones acetato:propionato que las vacas

alimentadas con la dieta control, el CMS, la producción de leche, la proteína de la leche y la lactosa fueron mayores en vacas alimentadas con DDGS. La concentración de grasa en la leche fue mayor para la dieta control y menor para la dieta que contenía heno de alfalfa, sin embargo, no hubo diferencias en la producción de grasa de la leche.

Penner *et al.*, (2009) encontraron resultados idénticos en producción y actividad ruminal cuando compararon una dieta control con una dieta en la que reemplazaron 10% de ensilaje de cebada con una mezcla de DDGS de maíz y trigo. En este mismo estudio también se probaron dos dietas que incluyeron DDGS de maíz o trigo reemplazando el 10% de una fuente proteica en la dieta control. La sustitución parcial de la fuente proteica con DDGS no tuvo efecto sobre la producción de leche y sus componentes o en la actividad del rumen, y el tipo de DDGS (maíz o trigo) no tuvo efecto sobre los parámetros de producción. Igualmente, Urdl *et al.* (2006) también observaron similar CMS, producción de leche, y composición de la leche cuando DDGS de maíz o trigo reemplazaron una mezcla de pasta de canola torta de soya y al igual que Penner *et al.* (2009), no encontraron diferencias atribuibles al tipo de DDGS.

1.7 Conclusiones

Los granos de destilería han sido usados en alimentos para animales desde hace más de 100 años en los Estados Unidos, pero es solo en la actualidad que se dispone de grandes cantidades de estos y a precios competitivos debido principalmente al desarrollo de la industria del etanol para combustible. Son el principal co-producto de la producción de etanol, el cual se elabora principalmente a partir de maíz. Son una buena fuente de proteína cruda (>30% PC), poseen un alto contenido de proteína no degradable en rumen (~55% PC) y son una buena fuente de energía (ENL aproximadamente 2.25 Mcal/Kg de materia seca).

En las últimas tres décadas se han llevado a cabo más de 35 investigaciones con más de 140 comparaciones de tratamientos en las cuales DDGS de maíz tanto húmedos como secos fueron suministrados a vacas lactantes. Los resultados han demostrado que usualmente el desempeño animal es similar cuando se suministran granos de destilería secos o húmedos, aun cuando algunos resultados tienden a favorecer el producto húmedo. Las respuestas en producción de leche a los DDGS son usualmente similares con todos los forrajes, aunque se han observado leves aumentos en la producción de leche cuando los DDGS han sido suministrados en conjunto con alfalfa, con respecto a dietas a base de ensilaje de maíz debido posiblemente a una mejora en el aporte de aminoácidos de la mezcla DDGS-alfalfa.

Las actuales recomendaciones con respecto al nivel de inclusión de los granos de destilería en las dietas para vacas lecheras lactantes son incluirlos hasta un 20% y 15% de la materia seca dietaria para los granos de destilería secos y húmedos, respetivamente.

De otra parte, hay poca relación entre la degradabilidad de la proteína en el grano de cereal de origen y los DDGS resultantes. La degradabilidad efectiva de la proteína de la mayoría de los DDGS es más baja que en los granos de cereales siendo el maíz una excepción.

Usualmente la composición de la leche no es afectada por la alimentación con DDGS a menos que no se sigan las recomendaciones rutinarias de formulación de la ración, tales como suministrar suficientes cantidades de fibra efectiva en la misma. Las investigaciones no han mostrado disminuciones en el contenido de grasa de la leche cuando se han suministrado dietas con DDGS húmedos o secos a cualquier nivel, incluso tan altos como 40% de la materia seca de la dieta. El contenido de proteína de la leche es raramente afectado por la alimentación con DDGS a menos que la proteína sea limitante en la dieta. Así mismo, no se espera que el contenido de ácidos grasos de la grasa de la leche sea afectado notablemente cuando las vacas se alimentan con DDGS aunque esto solo ha sido evaluado en pocos estudios.

Literatura citada

- Abdelqader, M. M., Hippen, A. R., Kalscheur, K. F., Schingoethe, D. J., y García, A. D. 2009. Isolipidic additions of fat from corn germ, corn distillers grains, or corn oil in dairy cow diets. *Journal of Dairy Science* 92: 5523–5533.
- Albers, M. 2007. Tratamento da Vinhaça: Concentração e outros. *In: Workshop Tecnológico sobre Vinhaça. Projeto Políticas Públicas FAPESP. Realizado em 10/10/2007, na FCA/UNESP – Campus Jaboticabal. [en línea] <http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/Position_paper_sessao4_monica_VS.pdf>. [citado en noviembre 20 de 2013].*
- Alkasrawi, M., Eriksson, T., Borjesson, J., Wigren A., Galbe, M, Tjerneld, F., y Zacchi, G. 2003. The Effect of Tween 20 on Simultaneous Saccharification and Fermentation of Softwood to Ethanol. *Enzyme and Microbial Technology* (33):71-78.
- Al-Suwaiegh, S., Fanning, K.C., Grant, R.J., Milton, C.T. y Klopfenstein, T.J. 2002. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 80: 1105–1111.

- Anderson, J. L., Schingoethe, D. J., Kalscheur, K. F., y Hippen, A. R. 2006. Evaluation of dried and wet distillers grains included at two concentrations in the diets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89: 3133–3142.
- Angelov, M. N, Sun, J, Byrd, G.T, Brown, R.H, y Black, C. C. 1993. Novel characteristics of Cassava, *Manihot esculenta* Crantz, a reputed C3-C4 intermediate photosynthesis species. *Photosynth Res.*;38:61-72.
- Applegate, T. J., Latour, M., Ileleji, K. E., Hoffstetter, U., y Rodrigues, I. 2008. Nuevas perspectivas en el uso de co-productos de la industria del bioetanol en la fabricación de piensos. XXIV Curso de Especialización FEDNA: AVANCES EN NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Eds.: P.G.A. Rebollar, C. de Blas y G.G. Mateos. Madrid, España.
- Baguma, Y. 2004. Regulation of starch synthesis in cassava. Tesis Doctoral. Department of Plant Biology and Forest Genetics, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.
- Balat, M, y Balat, H. 2009. Recent trends in global production and utilization of bioethanol fuel. *Appl Energy*. 86:2273-2282.
- Batal, A. B., y Dale, N. M. 2003. Mineral composition of distillers dried grains with solubles. *Journal of Applied Poultry Research* 12: 400–403.
- Batal, A. B., y Dale, N. M. 2006. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with solubles. *Journal of Applied Poultry Research* 15: 89–93.
- Bauman, D. E., y Griinari, J. M. 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition* 23: 203–227.
- Belyea, R. L., Clevenger, T. E., Singh, V., Tumbleson, M., y Rausch, K. D. 2006. Element concentrations of dry-grind corn-processing streams. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 134(2): 113–128.
- Belyea, R. L., Rausch, K. D., Clevenger, T. E., Singh, V., Johnston, D. B., y Tumbleson, M. E. 2010. Sources of variation in composition of DDGS. *Animal Feed Science and Technology* 159 (2010) 122 - 130.
- Belyea, R. L., Rausch, K. D., y Tumbleson, M. E. 2004. Composition of corn and distillers dried grains with solubles from dry grind ethanol processing. *Bioresource Technology* 94: 293–298.

- Birkelo, C.P., Brouk, M.J. y Schingoethe, D.J. 2004. The energy content of wet corn distillers grains for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87: 1815–1819.
- Broderick, G.A., Ricker, D.B. y Driver, L.S. 1990. Expeller soybean meal and corn byproducts versus solvent soybean meal for lactating dairy cows fed alfalfa silage as the sole silage. *Journal of Dairy Science*, 73: 453–462.
- Castaño, H y Mejía C. 2008. Producción de etanol a partir del almidón de yuca utilizando la estrategia de proceso sacarificación – fermentación simultáneas (SSF). *Vitae Volumen* 15:2 p 251-258.
- Castaño, H., Cardona, M. y Mejía, C. Producción de etanol a partir de harina de yuca en un sistema de hidrólisis enzimática y fermentación simultánea. *Dyna*. Año 78. No. 169. pp 158-166.
- Castaño, H.I. 2008. La yuca como alternativa para la producción de alcohol carburante. *Politécnica* No.6 Enero-Junio 2008. pp 25 – 38.
- Ceballos, H. La yuca en Colombia y el mundo: nuevas perspectivas para un cultivo milenario. En: Ospina, P.B, Ceballos, H, Álvarez, E, Belloti, A. C, Calvert, L. A, Arias, V. B *et al.*, editores. *La yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. Cali: CIAT; 2002.
- CERAT (Centro de Raíces y Tubérculos Tropicales). 2007. Materias primas amiláceas con fines energéticos. *Memorias de Seminario de Tecnologías en agroindustria de tubérculos tropicales*. Botucatu. CERAT, 2007.
- Clark, P. W., y Armentano, L. E. 1993. Effectiveness of neutral detergent fiber in whole cottonseed and dried distillers grains compared to alfalfa haylage. *Journal of Dairy Science* 76: 2644–2650.
- Consortio latinoamericano y del caribe de apoyo a la investigación y desarrollo de la yuca. 2006. Yuca en la producción de alcohol carburante. *Boletín electrónico* N° 6.<http://www.clayuca.org>.
- Consortio latinoamericano y del caribe de apoyo a la investigación y desarrollo de la yuca. 2007. Yuca en la producción de alcohol carburante. *Boletín electrónico* N° 7.<http://www.clayuca.org>.
- Cortés, S, Chavarriaga, P., y López, C. 2010. Biocombustibles y biotecnología: La yuca (*Manihot esculenta*) como modelo de investigación. *Acta biol. Colomb.*, Vol. 15 No. 1, 2010 3 – 24.

- Cromwell, G. L., Herkelman, K. L. y Stahly, T. S. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *Journal of Animal Science* 71: 679–686.
- Cyriac, J., Abdelqader, M. M., Kalscheur, K. F., Hippen, A. R. y Schingoethe, D. J. 2005. Effect of replacing forage fiber with non-forage fiber in lactating dairy cow diets. *Journal of Dairy Science* 88(Suppl. 1): 252 (Abstr.).
- Da Cruz, C. R., Brouk, M. J., y Schingoethe, D. J. 2005. Lactational response of cows fed condensed corn distillers solubles. *Journal of Dairy Science* 88: 4000–4006.
- Dai D, Hu Z, Pu G, Li H, y Wang C. 2006. Energy efficiency and potentials of cassava fuel ethanol in Guangxi region of China. *Energy Convers. Manage.*47:1686-1699.
- Demirbas, A. 2007. Progress and recent trends in biofuels. *Prog Energy Combust Sci.* 33:1-18.
- Dien, B.S, Bothast, R.J, Nichols, N.N, y Cotta, M. 2002. The U. S. corn ethanol industry: an overview of current technology and future prospects. *Int. Sugar J.* 103:204-208.
- Dowd, M. K., Reilly, P. J., y Trahanovsky, W. S. 1993. Low molecular weight organic composition of ethanol stillage from corn. *Cereal Chemistry* 70: 204–209.
- Edwards, G. E, Sheta, E, Moore, B, Dai, Z, Franceschi, V. R, *et al.* 1990. Photosynthetic Characteristics of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz), a C3 Species with Chlorenchymatous Bundle Sheath Cells. *Plant Cell Physiol.* 31:1199.
- Ekanayake J, Osiuru D, Porto M. 1997. Morphology of cassava. IITA Reseach Guide. 1997 61. 20pp.
- FAO, 2004. Global cassava market study. Business opportunities for the use of cassava. Proceedings of the Validation Forum on the Global Cassava Development Strategy, vol. 6. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- FAO. 2011. [en línea] <<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>>. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. [Citado en 8 de Noviembre de 2013].
- FEDNA [Federación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal]. 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la

- fabricación de piensos compuestos (3ª edición). C. de Blas, G.G. Mateos y P. García-Rebollar. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid. 502 pp. Madrid, España.
- Goldemberg, J. 2007. Ethanol for a sustainable energy future. *Science*. 315:808-810.
- Gould, D. H. 1998. Polioencephalomalacia. *Journal of Animal Science* 76: 309–314.
- Gray, K. A, Zhao, L, y Emptage, M. 2006. Bioethanol. *Curr Opin Chem Biol*. 10:141-146.
- Greter, A.M., Penner, G.B., Davis, E.C. y Oba, M. 2008. Effects of replacing corn dry distillers' grains with triticale dry distillers' grains on lactation performance and plasma metabolites of dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 88: 129–132.
- Griinari, J. M., Dwyer, D. A., McGuire, M. A., Bauman, D. E., Palmquist, D. L., y Nurmela, K. V. 1998. Trans- octadecenoic acids and milk depression in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81: 1251–1261.
- Grings, E. E., Roffler, R. E., y Deitelhoff, D. P. 1992. Responses of dairy cows to additions of distillers dried grains with solubles in alfalfa-based diets. *Journal of Dairy Science* 75: 1946–1952.
- Han, J. C., y Liu, K. S. 2010. Changes in proximate composition and amino acid profile during dry grind ethanol processing from corn and estimation of yeast contribution toward DDGS proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 3430–3437.
- Hippen, A. R., Kalscheur, K. F., Schingoethe, D. J., y Garcia, A. D. 2004. Increasing inclusion of dried corn distillers grains in dairy cow diets. *Journal of Dairy Science* 87(6): 1965. (Abstr.).
- Hippen, A. R., Schingoethe, D. J., Kalscheur, K. F., Linke, P., Rennich, D. R., Abdelqader, M. M., y Yoon, I. 2010. *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in dairy cow diets containing dried distillers grains plus solubles. *Journal of Dairy Science* 93: 2661–2669.
- Hollmann, M., Allen, M.S., y Beede, D.K. 2011. Diet fermentability influences lactational performance responses to corn distillers grains: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 94: 2007–2021.

- Ihemere U. 2003. Somatic Embryogenesis and Transformation of Cassava for Enhanced Starch Production. Tesis Doctoral. Department of Horticulture and Crop Science, Ohio State University, Columbus.
- Janicek, B. N., Kononoff, P. J., Gehman, A. M., y Doane, P. H. 2008. The effect of feeding dried distillers grains plus solubles on milk production and excretion of urinary purine derivatives. *Journal of Dairy Science* 91: 3544–3553.
- Jansson, C, Westerbergh, A, Zhang, J, Hu, X, y Sun C. 2009. Cassava, a potential
- Kalscheur, K. F, García, A. D. Schingoethe, D. J., Díaz Royón, F., y Hippen, R. A. 2012. Feeding biofuel co-products to dairy cattle. En: FAO, 2012. Biofuel co-products as livestock feed - Opportunities and Challenges. Editado por Harinder P.S. Makkar. Roma. P 115 - 135.
- Kalscheur, K. F, Hippen, R. A., y García, A. D. 2011. Feeding Etanol Coproducts to Dairy Cattle. En: KeShun Liu and Kurt A. Rosentrater Eds. Distillers Grains. Production, Properties and Utilization. Boca Ratón, Florida. E.U. p 269 – 276.
- Kalscheur, K. F. 2005. Impact of feeding distillers grains on milk fat, protein, and yield. Proceedings Distillers Grains Technology Council, 9th Annual Symposium, Louisville, KY. Distillers Grains Technical Council, Louisville, KY.
- Kalscheur, K., A. Garcia, K. A. Rosentrater, and C. Wright. 2008. Ethanol coproducts for ruminant livestock diets. Fact Sheet 947. Brookings, SD: South Dakota State University, Cooperative Extension Service. [en línea] <http://pubstorage.sdstate.edu/AgBio_Publications/articles/FS947.pdf> [citado en 5 de febrero 2013].
- Kim, Y., Mosier, N. S., Hendrickson, R., Ezeji, T., Blaschek, H., Dien, B., Cotta, M., Dale, B. E., y Ladisch, M. 2008. Composition of corn dry-grind ethanol by-products: DDGS, wet cake, and thin stillage. *Bioresource Technology* 99: 5165–5176.
- Kleinschmit, D. H., Schingoethe, D. J., Kalscheur, K. F., y Hippen, A. R. 2006. Evaluation of various sources of corn distillers dried grains plus solubles for lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 89: 4784–4794.
- Koelsch, R., y Lesoing, G. 1999. Nutrient balance on Nebraska livestock confinement systems. *Journal of Animal Science* 77: 63–71.
- Lan, T, Nguyen T, y Gheewala S. 2008. Fossil energy, environmental and cost performance of ethanol in Thailand. *J Clean Prod.* 16:1814-1821.

- Leguizamon, C., Weller, C. L., Schlegel, V. L., y Carr, T. P. 2009. Plant sterol and policosanol characterization of hexane extracts from grain sorghum, corn and their DDGS. *Journal of the American Oil Chemists Society* 86(7): 707–716.
- Leonardi, C., Bertics, S., y Armentano, L. E. 2005. Effect of increasing oil from distillers grains or corn oil on lactation performance. *Journal of Dairy Science* 88: 2820–2827.
- Li, SZ, y Chan-Halbrendt, C. 2009. Ethanol production in (the) People's Republic of China: potential and technologies. *Applied Energy* 86 (2009) S162–S169.
- Liu, C., Schingoethe, D. J., y Stegeman, G. A. 2000. Corn distillers grains versus a blend of protein supplements with or without ruminally protected amino acids for lactating cows. *Journal of Dairy Science* 83: 2075–2084.
- Liu, K. S. 2008. Particle size distribution of distillers dried grains with solubles (DDGS) and relationships to compositional and color properties. *Bioresource Technology* 99: 8421–8428.
- Liu, K. S. 2011. Chemical Composition of DDGS. En: KeShun Liu and Kurt A. Rosentrater Eds. *Distillers Grains. Production, Properties and Utilization*. Boca Ratón, Florida. E.U. p 143 – 152.
- Liu, K. S., y Han, J. C. 2011. Changes in mineral concentrations and phosphorus profile during dry-grind process of corn into ethanol. *Bioresource Technology*. 102: 3110–3118.
- Loosli, J. K., Turk, K. L., y Morrison, F. B. 1952. The value of distillers feed for milk production. *Journal of Dairy Science* 35: 868–873.
- Majoni, S., y Wang, T. 2010. Characterization of oil precipitate and oil extracted from condensed corn distillers solubles. *Journal of the American Oil Chemists Society* 87(2): 205–213.
- Ministerio de Minas y Energía. 2007. El programa de biocombustibles en Colombia. [en línea]. <<http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/hidrocarburos/Programa.pdf>>. [Citado en Noviembre 15 de 2013].
- McLaren, J. S. 2005. Crop biotechnology provides an opportunity to develop a sustainable future. *Trends Biotechnol.* 23:339-342.

- Mjoun, K., Kalscheur, K. F., Hippen, A. R., Schingoethe, D. J., y Little, D. E. 2010. Lactation performance and amino acid utilization of cows fed increasing amounts of reduced-fat dried distillers grains with solubles. *Journal of Dairy Science* 93: 288–303.
- Mjoun, K., Kalscheur, K. F., Pamp, B. W., Schingoethe, D. J., y Hippen, A. R. 2007. Phosphorus utilization in dairy cows fed increasing amounts of dried distillers grains with solubles. *Journal of Dairy Science* 90(Suppl. 1): 451. (Abstr.).
- Mjoun, K., Kalscheur, K.F., Hippen, A.R., Schingoethe, D. J. y Little, D. E. 2008. Lactation Performance and Amino Acid Utilization of Cows Fed Increasing Amounts of De-oiled Dried Distillers Grains with Solubles. *J. Dairy Sci.* 91(Suppl.1): 121-122 (Abstr.).
- Moreau, R. A., Hicks, K. B., Johnston, D. B., y Laun, N. P. 2010. The composition of crude corn oil recovered after fermentation via centrifugation from a commercial dry grind ethanol process. *Journal of the American Oil Chemists Society* 87: 895–902.
- Moreau, R. A., Liu, K. S., Winkler-Moser, J. K., y Singh, V. 2011a. Changes in lipid composition during dry grind ethanol processing of corn. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 88:435–442.
- Moreau, R.A., Nghiem, N.P., Rosentrater, K. A., Johnston, D. B., y Hicks, K. B. 2011b. Ethanol Production from Starch-Rich Crops Other than Corn and the Composition and Value of the Resulting DDGS. En: KeShun Liu and Kurt A. Rosentrater Eds. *Distillers Grains. Production, Properties and Utilization*. Boca Raton, Florida. E.U. p 103 – 115.
- Mpapho, G. S., Hippen, A. R., Kalscheur, K. F., y Schingoethe, D. J. 2006. Lactational performance of dairy cows fed wet corn distillers grains for the entire lactation. *Journal of Dairy Science* 89: 1811 (Abstr.).
- Mutton, M.A., Rosetto, R. y Mutton, M.J.R. 2010. Utilização Agrícola da Vinhaça. pp. 423–440, in: L.A.B. Cortez (Editor). *Bioetanol de cana de açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. Blucher, São Paulo, Brasil.
- National Research Council. 1989. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 6th rev. ed. Washington, DC: Natl.Acad. Sci.
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, 7th rev. ed. Washington, DC: Natl. Acad. Sci.
- Nguyen, T. L., Gheewala, S.H, y Garivait, S. 2007. Full chain energy analysis of fuel ethanol from cassava in Thailand. *Environ Sci Technol*. 41:4135-4142.

- Nichols, J. R., Schingoethe, D. J., Maiga, H. A., Brouk, M. J., y Piepenbrink, M. S. 1998. Evaluation of corn distillers grains and ruminally protected lysine and methionine for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81: 482–491.
- Niles, G. A., Morgan, S., Edwards, W. C., y Lalman, D. 2002. Effects of dietary sulfur concentrations on the incidence and pathology of polioencephalomalacia in weaned beef calves. *Veterinary and Human Toxicology* 44: 70–72.
- Noll, S. L., Brannon, J., y Parsons, C. 2007. Nutritional value of corn distiller dried grains with solubles (DDGs): Influence of solubles addition. *Poultry Science* 86(Suppl. 1): 68. (Abstr.).
- Nyoka, R., Hippen, A.R. y Kalscheur, K.F. 2007. Supplementation of grazing dairy cows with high-fat dietary protein sources. *Journal of Dairy Science*, 90(Suppl. 1): 103 (Abstract).
- Oba, M., Penner, G.B., Whyte, T.D y Wierenga, K. 2010. Effects of feeding triticale dried distillers grains plus solubles as a nitrogen source on productivity of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93: 2044–2052.
- Ørskov, E.R. y McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science*, 92: 499–503.
- Ospina, B., Gallego, S., Patiño, H. y Gil J.L. 2012. Producing Hydrated Bioethanol from Cassava. *In: Ospina B; Ceballos H (eds.). Cassava in the Third Millennium. Modern Production, Processing, Use and Marketing Systems. International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Latin American and Caribbean Consortium to Support Cassava Research and Development (CLAYUCA). Cali, Colombia. p. 463-478.*
- Ospina, P.B, Ceballos, H, Álvarez, E, Bellotti A. C, Calvert, L. A, *et al.* 2002. La yuca en el Tercer Milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT: Cali 2002.
- Owen, F. G., y Larson, L. L. 1991. Corn distillers dried grains versus soybean meal in lactation diets. *Journal of Dairy Science* 74: 972–979.
- Owens, T. M., Hippen, A. R., Kalscheur, K. F., Schingoethe, D. J., Prentice, D. L., y Green, H. B. 2009. High fat or low-fat distillers grains with dry or high-moisture corn in diets containing monensin for dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92(E-Suppl. 1): 377. (Abstr.).

- Palmquist, D. L., y H. R. Conrad. 1982. Utilization of distillers dried grains plus solubles by dairy cows in early lactation. *Journal of Dairy Science* 65: 1729–1741.
- Pamp, B. P., Kalscheur, K. F., Hippen, A. R., y Schingoethe, D. J. 2006. Evaluation of dried distillers grains versus soybean protein as a source of rumen-undegraded protein for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89(Suppl. 1): 403. (Abstr.).
- Parikka, M. 2004. Global biomass fuel resources. *Biomass Bioenerg.* 27:613-620.
- Patiño, H., Ospina, B., Gallego, S. y Gil, J.L. 2012. Sustainable and competitive use as livestock feed of some co-products, by-products and effluents generated in the bio-ethanol industry. En: Makkar H (ed.). *Biofuel Co-products as Livestock Feed*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, IT. p. 275-290.
- Penner, G.B., Yu, P. y Christensen, D.A. 2009. Effects of replacing forage or concentrates with wet or dry distillers' grains on the productivity and chewing activity of dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 153: 1–10.
- Powers, W. J., VanHorn, H. H., Harris, Jr B., y Wilcox, C. J. 1995. Effects of variable sources of distillers dried grains plus solubles on milk yield and composition. *Journal of Dairy Science* 78: 388–396.
- Proexport. 2012. Sector de Biocombustibles en Colombia. [en línea]. <http://www.inviertaencolombia.com.co/images/Perfil_Biocombustibles_2012.pdf> [citado en 5 de febrero 2013].
- Ranathunga, S. D., Kalscheur, K. F., Hippen, A. R., y Schingoethe, D. J. 2010. Replacement of starch from corn with non-forage fiber from distillers grains and soy hulls in diets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93: 1086–1097.
- Rausch, K.D., Belyea, R.L., Eilersieck, M.R., Singh, V., Johnston, D.B., Tumbleson, M.E., 2005. Particle size distributions of ground corn and DDGS from dry grind processing. *Am. Soc. Agric. Eng.* 48, 273–277.
- Renewable Fuels Association. 2013. 2013 Ethanol industry outlook. 32 pp. [en línea] <http://ethanolrfa.3cdn.net/dc207800043a5aa5aa_y5im6rokb.pdf>. [Citado en 12 de Noviembre de 2013].
- Sasikala-Appukuttan, A. K., Schingoethe, D. J., Hippen, A. R., Kalscheur, K. F., Karges, K., y Gibson, M. L. 2008. The feeding value of corn distillers solubles for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91: 279–287.

- Schingoethe, D. J. 2008. Use of Distillers Co-products in diets fed to dairy cattle. En: Using Distillers Grains in the U.S. and International Livestock and Poultry Industries. Edited by Bruce A. Babcock, Dermot J. Hayes y John D. Lawrence. Published by the Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center at the Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University, Ames, Iowa, U.S.A.
- Schroeder, J. W. 2003. Distillers grains as a protein and energy supplement for dairy cattle. NDSU Extension Service, North Dakota State University of Agriculture and Applied Science, Fargo, North Dakota.
- Seixas M. 2006. Estrategias para construir una plataforma de cooperación horizontal sobre agro energía y biocombustibles. [Reporte]. IICA 2006.
- Shaver, R., Ehrenfeld, R., Olivares, M., y Cuellar, J. 2009. Feeding distiller's dried grains to lactating dairy cows in the pasture-region of Chile: Field trial results. [en línea] <<http://www.uwex.edu/ces/dairynutrition/documents/cooprinsemnewsletterDDGS.pdf>> [Citado en 5 de febrero de 2013].
- Shetty, J. K., Chotani, G., Gang, D., y Bates, D. 2007. Cassava as an alternative feedstock in the production of renewable transportation fuel. International Sugar Journal 109: 3–11.
- Somerville, C. 2007. Biofuels. Curr Biol. 17:R115-119.
- Spiehs, M. J., Whitney, M. H., y Shurson, G. C. 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. Journal of Animal Science 80: 2639–2645.
- Spiehs, M. J., y Varel, V. H. 2009. Nutrient excretion and odorant production in manure from cattle fed corn wet distillers grains with solubles. Journal of Animal Science 87: 2977–2984.
- Sriroth, K., Wanlapatit, S., y Piyachomkwan, K. 2012. Cassava Bioetanol. Prof. Marco Aurelio Pinheiro Lima (Ed.), ISBN: 978-953-51-0008-9. [en línea]. <<http://www.intechopen.com/books/bioethanol/-cassava-bioethanol>>. P 3-32. [Citado en 5 de Noviembre de 2013].
- Sureh K., Sree K, y Rao, V. 1998. Utilization of Damaged Sorghum and Rice Grains for Ethanol Production by Simultaneous Saccharification and Fermentation. Biosources Technology (68): 301-304.
- Tonukari, N. J. 2004. Cassava and the future of starch. Electron. J Biotechnol 7(1):5-8.

- Urbachuk, J. 2012. Contribution of biofuels to the global economy. Global Renewable Fuels Association. [en línea]. <http://globalrfa.org/file_download/2/GRFA_Commissioned_Report_on_the_Global_Economic_Impact_of_Biofuels.pdf> [Citado en 25 de Octubre de 2013].
- Urdl, M., Gruber, L., Häusler, J., Maierhofer, G., y Schauer, A. 2006. Influence of dried distillers grains with solubles (Starprot) in dairy cow feeding. *Slovak Journal of Animal Science*, 39: 43–50.
- Van Horn, H. H., Blanco, O., Harris, Jr. B., y Beede, D. K. 1985. Interaction of protein percent with caloric density and protein source for lactating cows. *Journal of Dairy Science* 68: 1682–1695.
- Weiss, W. P., Erickson, D. O., Erickson, G. M., y Fisher, G. R. 1989. Barley distillers grains as a protein supplement for dairy cows. *Journal of Dairy Science* 72: 980–987.
- Winkler, J. K., Rennick, K. A., Eller, F. J., y Vaughn, S. F. 2007. Phytosterol and tocopherol components in extracts of corn distiller's dried grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 6482–6486.
- Winkler-Moser J. K., y Vaughn, S. F. 2009. Antioxidant activity of phytochemicals from distillers dried grain oil. *Journal of the American Oil Chemists Society* 86: 1073–1082.
- Wu, Y. V. 1994. Determination of neutral sugars in corn distillers dried grains, corn distillers dried solubles, and corn distillers dried grains with solubles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42: 723–726.
- Zhang, S.Z., Penner, G.B., Abdelqader, M. y Oba, M. 2010. Effects of feeding alfalfa hay on chewing, rumen pH, and milk fat concentration of dairy cows fed wheat dried distillers grains with solubles as a partial substitute for barley silage. *Journal of Dairy Science*, 93: 3243–3252.

2 Capítulo 2. Composición química del destilado de yuca y su efecto sobre los parámetros de la fermentación ruminal del pasto kikuyo *in vitro*

W García¹ y L A Giraldo^{1,2}

¹ Grupo de investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo BIORUM. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. wdegarcia@unal.edu.co

² Profesor Titular. Departamento de producción Animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. conisilvo@une.net.co

Resumen

El objetivo de este trabajo fue caracterizar la composición química del destilado de yuca y evaluar el efecto de la suplementación con este subproducto de la producción de bioetanol a partir de harina de yuca, reemplazando 0% (DY0), 5% (DY5), 10% (DY10) y 15% (DY15) de la proteína en tres forrajes de pasto kikuyo de calidad nutritiva contrastante (alta, media y baja) por proteína proveniente del destilado de yuca en dos experimentos. Nuestra hipótesis es que el reemplazo de proteína del pasto por proteína proveniente del destilado de yuca en presencia de una fuente energética mejora los parámetros de la fermentación ruminal del pasto kikuyo.

La composición química del destilado de yuca difirió bastante de los destilados procedentes de otros granos de cereales, el destilado de yuca presenta un bajo contenido de materia seca (10.7%), proteína cruda (9-12.2%), FDN (50.87%), FDA (42.46%), extracto etéreo (2.03%), lignina (16.59), cenizas (11.12%) materia orgánica (88.88%), DIVMS (74.58%), energía bruta (4.359 Kcal/Kg MS), Azufre(0.073%), Calcio (0.722%), Cobre (18.094 mg/kg), Fósforo (0.463%), Hierro (622.643 mg/kg), Magnesio (0.237%), Manganeso (50.620 mg/kg), Potasio (3.009%), Sodio (0.469%) y Zinc (39.961 mg/kg).

En el *experimento 1* se empleó un incubador DAISY II con una mezcla de un medio de cultivo y líquido ruminal en relación 4:1; cada forraje se analizó independientemente y a 48 horas de fermentación se midieron la degradabilidad de las fracciones materia seca (DMS), FDN (DFDN) y FDA (DFDA), los datos obtenidos se analizaron mediante un diseño de bloques completos al azar.

En el kikuyo de alta calidad DMS fue mayor en los tratamientos DY10 y DY15 (70.5; 70.1%) comparados con DY0 y DY5 (60.1; 62.4%). Mientras que DFDA fue mayor en DY0 (56.0%) comparado con DY5, DY10 y DY15 (52.6; 52.8 y 47.6%) respectivamente. En el kikuyo de media calidad DMS fue menor en los tratamientos DY10 y DY15 (53.3 y 54.9%) comparados con DY0 y DY5 (58.6 y 58.1%), respectivamente. DFDN también fue menor en los mismos tratamientos (39.4 y 37.1%) (49.7 y 46.0%) al igual que DFDA (34.2 y 34.7%) (45.6 y 43.0%). En el kikuyo de baja calidad DMS fue mayor en los tratamientos DY10 y DY15 (51.6 y 51.2%) comparados con DY0 y DY5 (45.4 y 46.8%). Así mismo, DFDN fue mayor en los mismos tratamientos (42.1 y 40.7%) comparados con DY0 y DY5 (33.1 y 34.7%), respectivamente. Finalmente, DFDA fue mayor en DY10 (37.1%) comparado con DY15 (34.7%), DY0 (24.2%) y DY5 (26.2%), mientras que DY0 y DY5 no difirieron entre sí. El reemplazo de proteína del pasto por proteína del destilado de yuca tuvo un efecto positivo sobre DMS, DFDN y DFDA en los pastos de alta y baja calidad nutritiva, mientras que tuvo un efecto negativo sobre estos parámetros en el pasto de media calidad nutritiva.

En el *experimento 2* se empleó la técnica de producción de gases *in vitro*, aproximadamente 0.5 gramos de cada uno de los tratamientos experimentales se depositaron en botellas de vidrio, se sellaron con un tapón de caucho y se incubaron a 39°C, utilizando cuatro repeticiones por tratamiento, a 24 y 48 horas de fermentación se midieron la producción de gas, pH, N-NH₃ ácidos grasos volátiles (AGV) y la degradabilidad de la materia seca (DMS), FDN (DFDN) y FDA (DFDA) y se analizaron mediante un diseño de bloques completos al azar.

En el kikuyo de alta calidad a las 24 horas de fermentación tanto la producción de gas como DMS, DFDN y DFDA fueron mayores en DY10 y DY15 comparados con DY0 y DY5 mientras que N-NH₃ fue menor en dichos tratamientos. Así mismo, AGV total, y las concentraciones de acetato y propionato fueron mayores en DY10 y DY15 mientras que valerato e isovalerato fueron menores en estos tratamientos. A las 48 horas de fermentación, la producción de gas fue menor en los tratamientos que incluían destilado de yuca, DFDN y DFDA fueron más bajas en DY10 y DY15 comparados con DY0 y DY5. La concentración de propionato fue mayor en DY15 mientras que valerato e isovalerato disminuyeron a medida que aumento DY en los tratamientos. La relación acetato:propionato fue menor en DY15 (1.95).

En el kikuyo de media calidad a las 24 horas de fermentación, la producción de gas, DMS, DFDN y DFDA fueron mayores en DY10 y DY15. Así mismo, AGV total y la concentración de acetato, propionato, butirato y valerato fueron mayores

en DY10 y DY15, mientras que la relación acetato:propionato fue menor en los tratamientos DY5, DY10 y DY15 comparados con DY0. A las 48 horas de fermentación la concentración de N-NH₃ fue superior en DY10 y DY15 comparado con los demás tratamientos.

En el kikuyo de baja calidad, a las 24 horas de fermentación DMS fue superior en DY15 comparado con los demás tratamientos al igual que DFDN. DFDA por su parte fue mayor en DY10 y DY15. Las concentraciones de butirato fueron más bajas en los tratamientos con destilado de yuca al igual que las de isovalerato, por otro lado, la mayor concentración de valerato se dio en DY10, siendo superior a la de DY5 y DY15. A las 48 horas de fermentación, la concentración de N-NH₃ fue menor en DY15 al igual que la concentración de isovalerato.

Los resultados indican que el reemplazo de proteína del pasto por proteína proveniente del destilado de yuca puede mejorar algunos parámetros de la fermentación ruminal cuando se emplean niveles relativamente altos de reemplazo de la proteína (10 y 15%). Sin embargo, la respuesta es más pronunciada cuando la calidad nutritiva del pasto es alta ya que se requieren cantidades más altas de destilado de yuca para alcanzar la equivalencia del reemplazo de proteína.

Palabras clave: Rumiantes, ácidos grasos volátiles, amoníaco, producción de gas

Chemical composition of cassava distillate and its effect on ruminal fermentation parameters of kikuyu grass *in vitro*

Abstract

The aim of this study was to characterize the chemical composition of the cassava distillers and assess the effect of supplementation with this byproduct of bioethanol production from cassava flour replacing (0 %, 5 %, 10 % and 15 % , named DY0, DY5 , DY10 and DY15 , respectively) of the protein of three kikuyu grass samples with contrasting nutritional quality (high, medium and low) for protein from cassava distillers in two experiments . Our hypothesis is that the replacement of grass protein for protein from cassava distillate in the presence of an energy source improves rumen fermentation parameters of kikuyu grass .

The chemical composition of the cassava distillers differed greatly from the distillers from other cereal grains , cassava distillate has a low dry matter content

(10.7 %) and crude protein (9-12.2%) moderate NDF (50.87%); ADF (42.46%), low ether extract (2.03%) , high lignin (16.59%), ash (11.12%) organic matter (88.88%) high IVDMD (74.58%), gross energy (4359 kcal/kg DM) , sulfur (0.073%), calcium (0.722%), Copper (18,094 mg/kg) , phosphorus (0.463%) , iron (622,643 mg/kg) , Magnesium (0.237%) , Manganese (50,620 mg/kg) , Potassium (3.009%), sodium (0.469%) and Zinc (39,961 mg/kg).

In experiment 1 was employed an DAISY II incubator with a mixture of culture media and ruminal fluid 4 to 1 ; each forage was analyzed independently and to 48 hours of fermentation was measured dry matter (DMD) , NDF (NDFD) and ADF (ADFD) degradabilities, the data obtained were analyzed using a complete randomized block design.

In high quality kikuyu DMD was higher in treatments DY10 and DY15 (70.5, 70.1 %) compared with DY0 and DY5 (60.1, 62.4 %). While ADFD was higher in DY0 (56.0 %) compared to DY5, DY10 and DY15 (52.6, 52.8 and 47.6 %) respectively. In the medium quality kikuyu DMD was lower in DY10 and DY15 treatments (53.3 and 54.9 %) versus DY5 DY0 and (58.6 and 58.1 %) respectively. NDFD was also lower in the same treatments (39.4 and 37.1 %) (49.7 and 46.0%) as well as DADF (34.2 and 34.7%) (45.6 and 43.0%). In the low quality kikuyu DMD was higher in the treatments DY10 and DY15 (51.6 and 51.2%) compared to DY0 and DY5 (45.4 and 46.8 %). Likewise, NDFD was higher in the same treatments (42.1 and 40.7%) versus DY5 and DY0 (33.1 and 34.7%) respectively. Finally, ADFD was higher in DY10 (37.1 %) compared to DY15 (34.7%), DY0 (24.2 %) and DY5 (26.2 %), whereas DY5 and DY0 no differed from each other. The replacement of protein of kikuyu grass for protein from cassava distillate had a positive effect on DMD, NDFD and ADFD in grasses with high and low nutritional quality, while it had a negative effect on these parameters in the middle nutritional quality grass.

In Experiment 2, we employed the *in vitro* gas production technique, approximately 0.5 grams of each of the experimental treatments were placed into glass bottles, sealed with a rubber stopper and incubated at 39°C, using four replicates per treatment, at 24 and 48 hours of fermentation was measured gas production , pH, N-NH₃, volatile fatty acids (VFA) and the degradability of dry matter (DMD), NDF (NDFD) and ADF (ADFD) and data was analyzed using a complete randomized block design.

In high quality kikuyu grass at 24 hours of fermentation gas production, DMD, NDFD and ADFD were higher in DY10 and DY15 compared to DY0 and DY5 while N-NH₃ was lower in such treatments. Likewise, total VFA concentration and acetate and propionate concentrations were higher in DY10 and DY15 while valerate and isovalerate were lower in these treatments. Within 48 hours of fermentation, gas production was lower in treatments including cassava distillate, NDFD and ADFD were lower in DY10 and DY15 compared to DY0 and DY5. Propionate concentration was higher in DY15 while valerate and isovalerate was

lower as DY increase in treatments. The acetate to propionate ratio was lower in DY15 (1.95).

In medium quality kikuyu grass after 24 hours of fermentation, gas production, DMD, NDFD and ADFD were higher in DY10 and DY15. Likewise, total VFA concentration and acetate, propionate, butyrate and valerate concentrations were higher in DY10 and DY15, while the acetate to propionate ratio was lower in DY5, DY10 and DY15 compared with DY0. After 48 hours of fermentation, the N-NH₃ concentration was higher in DY10 and DY15 compared to the other treatments.

Finally in the low quality kikuyu grass after 24 hours of fermentation, DMS was higher in DY15 compared to the other treatments as well as NDFD. ADFD meanwhile was higher in DY10 and DY15. Butyrate concentration were lower in treatments with cassava distilled as well as isovalerate concentration, on the other hand, the highest valerate concentration was in DY10, being superior to DY5 and DY15. After 48 hours fermentation, the N-NH₃ concentration was lower in DY15 as well as isovalerate concentration.

The results indicate that replacement of the grass protein by protein from cassava distillate can improve some parameters of ruminal fermentation when using relatively high levels of replacement of the protein (10 and 15%). However, the response is more pronounced when the nutritional quality of the grass is high as it requires higher amounts of cassava distillate to achieve the equivalence of protein replacement of forage.

Keywords: Ruminants, volatile fatty acids, ammonia, gas production

2.1 Introducción

El uso de los subproductos de la industria del alcohol en la alimentación animal se ha documentado desde hace más de 100 años en los estados unidos (Schingoethe *et al.*, 2009; Kalscheur *et al.*, 2012) pero es solo en la actualidad que se dispone de grandes cantidades de estos a precios competitivos debido a la expansión de la industria del alcohol carburante (Schingoethe *et al.*, 2009). Estos subproductos tradicionalmente llamados destilados o granos del destilador son reconocidos como una buena fuente de proteína no degradable en rumen, fibra digerible y minerales y todos ellos pueden ser utilizados en dietas para rumiantes (Cao *et al.*, 2009), sus diferentes usos han sido ampliamente estudiados y documentados tanto en la alimentación de ganado de leche como ganado de carne en los Estados Unidos.

A pesar de contar con una importante producción de etanol para combustible basada en la caña de azúcar, no existe en nuestro país información alguna sobre el uso de los sub productos de dicha industria en la alimentación de ganado y su impacto sobre el ambiente ruminal y la producción. Recientemente se ha venido

impulsando iniciativas tendientes a fomentar la producción de etanol a partir de materias primas alternativas (MADR, 2009).

La yuca es una de las materias primas alternativas para la producción de alcohol carburante en nuestro país. Varios antecedentes refuerzan esta alternativa: Colombia es el tercer productor de yuca en América, después de Brasil y Paraguay, con una producción de 2 millones de toneladas/año (Global Cassava Market FAO, 2004); en el año 2008 el área total cultivada fue de 182.465 hectáreas con una producción total de 1.994.741 toneladas y un rendimiento promedio de 10.9 toneladas/ha (Agronet, 2010).

El destilado de yuca se define como el producto sólido que se obtiene mediante el secado de los residuos del proceso de obtención de etanol como biocombustible, a partir de un ingrediente rico en almidón como lo es la harina de yuca (65 – 75% almidón). La fermentación de la yuca para producir etanol produce una vinaza de la cual el destilado de yuca húmedo es obtenido por medio de la filtración y el prensado de la vinaza una vez se ha removido el etanol de los tanques de fermentación. Dado que la composición de nutrientes de los subproductos de la industria del bioetanol depende de la composición de la materia prima original es necesario llevar a cabo investigaciones sobre la composición química del destilado de yuca con miras a su empleo como un ingrediente en las dietas para el ganado. Los objetivos del presente trabajo fueron determinar la composición química del destilado de yuca y evaluar el efecto del reemplazo de diferentes niveles de proteína del pasto kikuyo por proteína proveniente del destilado de yuca sobre los principales parámetros de la fermentación ruminal *in vitro*.

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Localización

Los experimentos se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Biotecnología Ruminal (BIORUM) de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, el cual se encuentra a una altura de 1.538 msnm y temperatura promedio de 24°C.

2.2.2 Tratamientos

Se utilizaron tres muestras de forraje del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) de calidad nutritiva alta, media y baja según su composición química, las de calidad alta y media procedieron del municipio de San Pedro de los Milagros, el cual está localizado en el norte de Antioquia a 2.600 msnm, temperatura promedio de 14°C y zona de vida bh-MB, mientras que la de baja calidad

procedió del corregimiento de Santa Elena perteneciente al municipio de Medellín y localizado a una altura de 2.600 msnm y zona de vida bh-MB.

En los experimentos 1 y 2, para cada pasto (alta, media y baja calidad) se reemplazó el 0% (DY0), 5% (DY5), 10% (DY10) y 15% (DY15) de la proteína por proteína procedente del destilado de yuca y se agregó una cantidad constante de harina de yuca equivalente al 10% de la materia seca total, exceptuando en el tratamiento DY0.

2.2.3 Experimento 1

Para la determinación de la degradabilidad *in vitro* de las fracciones materia seca (DMS), FDN (DFDN) y FDA (DFDA) se siguió el protocolo recomendado por el fabricante del equipo DAISY^{II} utilizando bolsas F57 (ANKOM Technology Corp., Fairport, NY, USA) con un tamaño de poro de 25 μ m y dimensiones de 5 x 4 cm fabricadas de poliéster/polietileno con filamentos extruidos en una matriz de tres dimensiones, en cada una de las cuales se depositaron 0,50 gramos de cada dieta/tratamiento, se utilizaron 4 repeticiones por tratamiento.

Las bolsas se sellaron con calor y se depositaron en el incubador DAISY^{II} (ANKOM Technology Corp., Fairport, NY, USA) junto con 1600 ml de medio de cultivo (Goering y Van Soest 1970), que contenía $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{MnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; Na_2HPO_4 ; KH_2PO_4 ; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; NaHCO_3 ; $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$; Resarzurina; Na_2S ; L-Cisteína HCl, sin tripticasa y líquido ruminal para una relación 4:1, las jarras se sellaron y se incubaron a 39°C durante 48 horas.

Para la determinación de la degradabilidad *in vitro* de la materia seca se retiraron las bolsas de las jarras, se lavaron con agua del grifo hasta que esta corrió clara y se procedió a su secado en una estufa de aire forzado a 60°C durante 48 horas y posteriormente fueron pesadas utilizando una balanza de precisión para determinar la materia seca residual, la degradabilidad de la materia seca (DMS) se calculó como la relación entre la materia seca degradada (calculada por diferencia entre la materia seca incubada y la materia seca residual) y la materia seca incubada; para determinar la degradabilidad de la pared celular la materia seca residual se sometió a determinación del contenido de FDN y FDA siguiendo el método propuesto por Goering y Van Soest (1970) en un analizador de fibra ANKOM 200 (ANKOM Technology Corp. Fairport NY). La degradabilidad de la FDN y la FDA se calculó como la relación entre la FDN o FDA degradada y la FDN o FDA incubada (gr).

El líquido ruminal fue colectado de 4 vacas de la raza Holstein canuladas al rumen las cuales consumieron una dieta compuesta por una mezcla de pasto kikuyo (*P. clandestinum*), falsa poa (*H. lanatus*) y oloroso (*A. odoratum*), sin

suplemento alimenticio, este líquido ruminal se recolectó en termos precalentados a una temperatura de 39°C y se obtuvo por medio del filtrado de contenido ruminal a través de dos capas de muselina con un tamaño de poro de 0.45 mm, el cual fue manejado bajo constante gaseo con CO₂.

2.2.4 Experimento 2

Se utilizó la técnica de producción de gas *in vitro* descrita por Theodorou *et al* (1994). Para ello, se depositaron aproximadamente 0.50 gramos de materia seca de cada uno de los tratamientos en frascos de 110 ml de volumen junto con una mezcla de medio de cultivo (Goering y Van Soest 1970) con la composición descrita anteriormente y líquido ruminal en una relación 4:1, luego se sellaron los frascos con un tapón de caucho y un agrafe de aluminio y se incubaron a 39°C en una estufa de aire forzado durante 24 y 48 horas.

Se utilizó una serie de frascos como blancos los cuales contenían medio de cultivo e inóculo pero no sustrato o forraje, con el propósito de corregir los valores del gas generado por el gaseado con CO₂ y el producido por la fermentación de los microorganismos ruminales presentes en el inóculo (Theodorou *et al.*, 1994; López *et al.*, 1998).

El líquido ruminal fue colectado de 4 vacas de la raza Holstein canuladas al rumen las cuales consumieron una dieta compuesta por una mezcla de pasto kikuyo (*P. clandestinum*), falsa poa (*H. lanatus*) y oloroso (*A. odoratum*). El líquido ruminal se recolectó en termos precalentados a una temperatura de 39°C y se obtuvo por medio del filtrado de la digesta ruminal a través de dos capas de muselina. El líquido ruminal fue manejado bajo constante gaseo con CO₂ y temperatura de 39°C.

2.2.4.1 Variables evaluadas a 24 y 48 horas de fermentación

2.2.4.1.1 Determinación del volumen de gas

Se midió el volumen de gas producido en cada frasco después del respectivo tiempo de fermentación por medio de un transductor de presión manual modelo T453CEPA (Bailey & Mackey Ltd UK), al cual se le acopló una válvula de tres salidas. La primera salida conectada a una aguja (0.8 mm), la segunda conectada al transductor de presión y la tercera a una jeringa plástica de 100 ml, utilizada para medir el volumen de gas producido durante la fermentación.

2.2.4.1.2 Determinación del pH del medio producto de la fermentación

El pH del efluente de cada botella, se cuantificó al final del período de fermentación (24 y 48 horas) por potenciometría utilizando un pH-metro marca Schott Instruments modelo Lab 850 (SI Analytics Gmb. Mainz, Alemania).

2.2.4.1.3 Cuantificación de la concentración de amoníaco (N-NH₃) en el efluente

Para la determinación de la concentración de amoníaco en el efluente se utilizó el método volumétrico (AOAC 1984), para ello se tomó un muestra del efluente de cada botella una vez terminado el periodo de fermentación, y se depositaron en un tubo falcon el cual contenía una solución de ácido clorhídrico 0.5N, luego se centrifugaron las muestras en una centrifuga refrigerada durante 4 minutos, de este se colecto el sobrenadante y se depositaron en una probeta de vidrio, a la que se adiciono NaOH al 32%, y agua destillada, para luego proceder a su destilación en una unidad automática de destilación VELP® Scientifica UDK142 (VELP® Scientifica srl, Usmate (MB), Italia), recolectando el destilado en un erlenmeyer con ácido bórico al 4%. Posteriormente el destilado se tituló en una unidad automática marca Metrohm modelo 702 SM Titrino (Metrohm AG Suiza), en presencia de ácido sulfúrico 0.01 N.

2.2.4.1.4 Medición de la degradabilidad de la materia seca (DMS)

Para la determinación de la degradabilidad de la materia seca de las dietas evaluadas el contenido de las botellas fue filtrado con la ayuda de una bomba de vacío BÜCHI V-700 (BÜCHI Labortechnik AG, Suiza) y crisoles filtrantes marca Schott (Schott AG Alemania) con un poro de 0.5 mm. Luego se procedió al secado de los crisoles con los residuos de la muestra en la estufa a una temperatura de 60°C durante 48 horas, posteriormente se pesaron utilizando una balanza de precisión para determinar la materia seca residual y la degradabilidad se calculó de la misma forma como en el experimento 1.

2.2.4.1.5 Cuantificación de la degradabilidad de la fibra en detergente neutro (DFDN) y fibra en detergente ácido (DFDA)

Para determinar la degradabilidad de la pared celular, la materia seca residual de todas las botellas se depositó en bolsas filtrantes Ankom F57 (ANKOM Technology Corp Fairport NY) y se determinó el contenido de FDN y FDA siguiendo el método propuesto por Goering y Van Soest (1970) en un analizador de fibra ANKOM 200 (ANKOM Technology Corp Fairport NY). La degradabilidad de FDN y FDA se calculó de la misma forma que en el experimento 1.

2.2.4.1.6 Medición de la cantidad de ácidos grasos volátiles (AGV), producto de la fermentación ruminal *in vitro*

De cada botella luego de la fermentación *in vitro*, se tomaron 0.8 mL del efluente a los cuales se agregó una solución desproteinizante y acidificante, luego la muestra se centrifugó por 12 minutos a 4°C y se tomó 1 mL del sobrenadante en un vial para cromatografía y se conservó a 4°C hasta su análisis.

Para la determinación de la concentración de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico, isobutírico, valérico e isovalérico) se usó un cromatografo de gases Shimadzu modelo GC-2014 (Shimadzu Corporation, Japón) equipado con una columna capilar de polietilenglicol Agilent HP-FFAP. Las condiciones empleadas en el proceso de separación fueron: Temperaturas: 260°C para el puerto de inyección Split; temperatura de detección 280°C detector FID; gas de arrastre Helio a velocidad constante (42 cm/segundo). El volumen inyectado fue 1µL para las muestras y los estándares, usando un automuestreador. El procedimiento de cuantificación se basa en un proceso en el que las muestras de calibración (estándares) y las muestras problemas se analizan bajo las mismas condiciones y de forma comparativa.

2.3 Análisis estadístico

Puesto que en los experimentos 1 y 2 no se agregó 10% de harina de yuca en el tratamiento control fue necesario recurrir al análisis de regresión, para ajustar los datos de las variables de respuesta para este tratamiento. El análisis consistió en realizar una regresión lineal para cada variable de respuesta utilizando como variable independiente el nivel de reemplazo de proteína del pasto kikuyo y como variable dependiente cada una de las variables de respuesta. Como todos los tratamientos tenían 10% de inclusión de harina de yuca teóricamente el intercepto de la recta con el eje Y corresponde a la respuesta del pasto + 10% de harina de yuca (DY0). Luego, una vez se obtuvieron los parámetros de la regresión (pendiente e intercepto) se procedió al ajuste de los datos del tratamiento control restando al intercepto de la recta al promedio de dicho tratamiento, esta diferencia se consideró como el efecto de agregar 10% de harina de yuca en el control y con ella se ajustaron todos los datos de dicho tratamiento en los experimentos 1 y 2. Posteriormente el análisis estadístico de cada experimento se llevó a cabo como se describe a continuación.

2.3.1 Experimento 1

Los datos de DMS, DFDN y DFDA de cada tratamiento fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del programa estadístico SAS (2001) versión 9.1.3 bajo un diseño de bloques completos al azar que incluyó los efectos de animal donador de líquido ruminal (bloque) y tratamiento como fuentes de variación, cuando se detectó un efecto significativo las medias de los tratamientos se compararon por medio de la prueba de la diferencia mínima significativa (LSD) a un nivel de significancia de 0.05 y se declararon tendencias cuando $0.05 \leq p \leq 0.10$.

2.3.2 Experimento 2

Los datos de Volumen de gas, DMS, DFDN, DFDA, pH, concentración de amoníaco y producción de ácidos grasos volátiles (AGV) de cada tratamiento fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del programa estadístico SAS (2001) versión 9.1.3 bajo un diseño de bloques completos al azar que incluyó los efectos de animal donador de líquido ruminal (bloque) y tratamiento como fuentes de variación, cuando se detectó un efecto significativo las medias de los tratamientos se compararon por medio de la prueba de la diferencia mínima significativa (LSD) a un nivel de significancia de 0.05 y se declararon tendencias cuando $0.05 \leq P \leq 0.10$.

2.4 Resultados

2.4.1 Composición química del destilado de yuca y los tratamientos evaluados

La composición química del destilado de yuca obtenido como subproducto en la fabricación de etanol a partir de la harina de yuca se presenta en la Tabla 2-1. Este se caracteriza por presentar un bajo contenido de materia seca (10.7% en base húmeda), el contenido de fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA) y Lignina es superior al de los DDGS (Tabla 1-2), así mismo, el contenido de minerales (cenizas) es aproximadamente dos veces superior en el destilado de yuca comparado con los DDGS de varias fuentes presentados en la Tabla 1-2, mientras que el extracto etéreo (grasa cruda) es más bajo en el destilado de yuca. En cuanto al contenido de energía bruta, este es levemente mayor en el destilado de yuca comparado con la materia prima de la cual procede (harina de yuca, 4.1 Mcal/Kg MS).

Con respecto al contenido de algunos minerales, el destilado de yuca presenta un contenido excepcionalmente bajo de azufre comparado con el contenido de este elemento en los DDGS de maíz y otras fuentes reportados en las tablas 1-3 y 1-5,

esta condición puede deberse primero a un bajo contenido de azufre en la harina de yuca empleada como materia prima y segundo, a la no utilización de la hidrólisis ácida con ácido sulfúrico en el proceso de acondicionamiento de la misma para la elaboración del etanol.

El contenido de calcio en el destilado de yuca es hasta 3.6 veces mayor que los valores reportados en las tablas 1-1 y 1-4 para los DDGS de maíz y otras especies de cereales, mientras que el contenido de P es dos veces menor a los valores reportados en esas tablas, el contenido de Mg es levemente menor a los valores reportados para los DDGS de maíz y otras fuentes, el contenido de potasio es más alto en el destilado de yuca entre 2.6 y 3.2 veces los valores reportados para los DDGS de maíz y otras fuentes en las tablas 1-2 y 1-4 al igual que el contenido de sodio (1.8 a 3.6 veces mayor en el destilado de yuca).

Tabla 2-1. Composición química del destilado de yuca obtenido como subproducto de la producción de bioetanol a partir de la harina de yuca.

Análisis	Valor	Método de análisis
Materia seca (%)	10.69	Secado en estufa a 60°C por 48 horas
Proteína cruda (%)	9.9 – 12.2	Kjeldahl
Fibra en detergente neutro (FDN) (%)	50.87	Van Soest
Fibra en detergente ácido (FDA) (%)	42.46	Van Soest
Extracto etéreo	2.03	Soxhlet
Lignina (%)	16.59	Van Soest
Cenizas (%)	11.12	Incineración directa
Materia orgánica (%)	88.88	Diferencia (100-%cenizas)
DIVMS (%)	74.58	Técnica Goering y Van Soest (1970)
Energía bruta (Kcal/kg MS)	4.359	Calorimetría
Azufre (%)	0.073	Gravimetría
Calcio (%)	0.722	Espectrofotometría A.A
Cobre (mg/kg)	18.094	Espectrofotometría A.A
Fósforo (%)	0.463	Espectrofotometría U.V-VIS
Hierro (mg/kg)	622.643	Espectrofotometría A.A
Magnesio (%)	0.237	Espectrofotometría A.A
Manganeso (mg/kg)	50.620	Espectrofotometría A.A
Potasio (%)	3.009	Espectrofotometría A.A
Sodio (%)	0.469	Espectrofotometría A.A
Zinc (mg/kg)	39.961	Espectrofotometría A.A

En cuanto al contenido de micro minerales, resalta un contenido de hierro extremadamente alto, entre 5 y 29 veces los valores reportados por diferentes investigadores para los DDGS de maíz (Tabla 1-4), el cobre es mayor en el destilado de yuca con un contenido que supera entre 1.8 y 3 veces el contenido de este elemento en los DDGS de maíz. El Mn es mayor en el destilado de yuca superando a los DDGS de maíz entre 2.3 y 3.1 veces y el contenido de Zn es menor en el destilado de yuca, siendo entre 1.5 y 2.9 veces mayor en los DDGS de maíz.

Por otro lado, referente a la composición química de los tratamientos evaluados, en la Tabla 2-2 se puede apreciar como en los kikuyos de alta y media calidad el contenido de proteína disminuyó con el aumento en los niveles de destilado de yuca siendo más notorio en el kikuyo de alta calidad. Igualmente, los valores de FDN y FDA disminuyeron con el aumento en los niveles de inclusión de destilado de yuca y aumentó el contenido de lignina en todos los tratamientos como consecuencia directa del alto contenido de lignina del destilado de yuca.

Tabla 2-2. Composición química de los tratamientos evaluados en los dos experimentos.

Tratamiento ¹	PC	EE	FDN	FDA	LDA	CEN	M.O
% MS							
<i>Kikuyo de calidad nutritiva alta</i>							
DY0	21.6	2.9	60.0	25.8	2.6	13.5	86.5
DY5	19.6	2.8	55.6	24.0	3.0	11.2	88.8
DY10	18.5	2.6	53.7	24.3	3.6	11.5	88.5
DY15	17.5	2.1	52.8	25.0	4.7	10.7	89.3
<i>Kikuyo de calidad nutritiva media</i>							
DY0	15.0	1.5	71.4	31.7	3.1	9.2	90.8
DY5	14.7	1.8	64.7	28.8	3.2	8.2	91.8
DY10	13.5	2.1	62.2	28.5	4.0	8.4	91.6
DY15	13.8	2.3	61.3	28.8	4.4	8.5	91.5
<i>Kikuyo de calidad nutritiva baja</i>							
DY0	6.0	0.8	77.7	34.0	4.1	7.6	92.4
DY5	6.7	1.0	70.2	30.4	4.0	7.2	92.8
DY10	7.1	1.0	71.3	32.4	4.1	7.3	92.7
DY15	7.0	1.2	70.9	31.6	4.6	7.2	92.8

PC: Proteína cruda; EE: extracto etéreo; M.O: Materia orgánica; FDN: Fibra en detergente neutro; FDA: Fibra en detergente ácido; LDA: Lignina en detergente ácido; CEN: Cenizas; M.O: Materia Orgánica

¹ Porcentaje de reemplazo de proteína del pasto por proteína proveniente del destilado de yuca 0% (DY0), 5% (DY5), 10% (DY10), 15% (DY15).

2.4.2 Experimento 1

2.4.2.1 Kikuyo de alta calidad nutritiva

La Tabla 2-3, muestra que la suplementación con destilado de yuca tuvo un efecto altamente significativo ($p < 0.01$) sobre la DMS y DFDA, mientras que no tuvo efecto ($p > 0.05$) sobre la DFDN. La DMS fue mayor en los tratamientos DY10

y DY15 comparados contra DY5 y DY0 respectivamente, mientras que entre DY10 y DY15 no hubo diferencias entre los valores de la DMS, Por otro lado, la DFDA fue menor en los tratamientos con destilado de yuca comparados con el control (DY0), el tratamiento DY15 presentó el valor más bajo de DFDA comparado con los demás tratamientos; pero DY5 y DY10 presentaron la misma DFDA (52.6 y 52.8% respectivamente), el tratamiento control tuvo la más alta DFDA. Los niveles de inclusión de destilado de yuca fueron 0%, 9.4%, 18.8% y 28.2% de la materia seca para DY0, DY5, DY10 y DY15 respectivamente.

Tabla 2-3. Efecto del reemplazo de la proteína del pasto por proteína procedente del destilado de yuca sobre parámetros de fermentación ruminal *in vitro*.

Calidad del pasto	Tratamiento ¹	Parámetros		
		DMS (%)	DFDN (%)	DFDA (%)
Alta	DY0	60.1 b	55.8	56.0 a
	DY5	62.4 b	54.9	52.6 b
	DY10	70.5 a	58.8	52.8 b
	DY15	70.1 a	55.5	47.6 c
	<i>p</i>	<0.0001	0.2931	0.0002
Media	DY0	58.6 a	49.7 a	45.6 a
	DY5	58.1 a	46.0 a	43.0 a
	DY10	53.3 b	39.4 b	34.2 b
	DY15	54.9 b	37.1 b	34.7 b
	<i>p</i>	0.0037	0.0017	0.0007
Baja	DY0	45.4 b	33.1 b	24.2 c
	DY5	46.8 b	34.7 b	26.2 c
	DY10	51.6 a	42.1 a	37.1 a
	DY15	51.2 a	40.7 a	34.7 b
	<i>p</i>	0.0003	<.0001	<0.0001

¹ % de reemplazo de la proteína del pasto por proteína proveniente del destilado de yuca 0% (DY0), 5% (DY5), 10% (DY10), 15% (DY15).

DMS: Degradación de la materia seca; **DFDN:** Degradación de la fibra en detergente neutro; **DFDA:** Degradación de la fibra en detergente ácido

^{abc} Promedios en la misma columna con letra diferente indican valores con diferencia estadística significativa $p < 0.05$ según la prueba de la diferencia mínima significativa.

2.4.2.2 Kikuyo de calidad nutritiva media

La suplementación con destilado de yuca tuvo un efecto altamente significativo ($p < 0.01$) sobre la DMS, DFDN y DFDA. La DMS fue significativamente mayor en DY0 y DY5 comparados con los tratamientos DY10 y DY15 los cuales a su vez presentaron la misma DMS. Este mismo comportamiento fue observado en la DFDN y DFDA, las cuales fueron significativamente menores en los tratamientos DY10 y DY15 comparados contra DY0 y DY5 (Tabla 2-3). Para este pasto los niveles de inclusión de destilado de yuca fueron 0%, 5.65%, 11.3% y 16.94% de la materia seca para DY0, DY5, DY10 y DY15, respectivamente.

2.4.2.3 Kikuyo de calidad nutritiva baja

La suplementación con destilado de yuca tuvo un efecto altamente significativo ($p < 0.01$) sobre la DMS, DFDN y DFDA. La DMS fue mayor en DY10 y DY15 comparados contra DY0 y DY5, DY0 y DY5 tuvieron las más bajas DMS sin ser diferentes entre sí, así mismo DMS no fue diferente entre DY10 y DY15. DFDN mostró el mismo comportamiento que DMS, fue mayor en DY10 y DY15 comparados contra DY0 y DY5, siendo DFDN más baja en DY0 y DY5 pero estos tratamientos no fueron diferentes entre sí al igual que DY10 y DY15. Siguiendo la misma tendencia la DFDA fue mayor en DY10 y DY15 comparados contra DY0 y DY5, DFDA fue mayor en DY10 pero no difirió de DY15, y más baja en DY0 sin ser diferente de DY5 (Tabla 2-3). Para este pasto los niveles de inclusión de destilado de yuca fueron 0%, 3.17%, 6.34% y 9.51% para DY0, DY5, DY10 y DY15, respectivamente.

2.4.3 Experimento 2

Los tratamientos evaluados fueron los mismos del experimento 1, su composición química se presentó en la Tabla 2-2.

2.4.3.1 Kikuyo de calidad nutritiva alta

A las 24 horas de fermentación hubo un efecto significativo ($p < 0.05$) de la suplementación con destilado de yuca sobre la producción de gas, DMS, DFDN, DFDA, N-NH₃, AGV total, acetato, propionato, valerato e isovalerato, mientras no hubo efecto sobre pH, butirato y la relación acetato:propionato (Tabla 2-4). La producción de gas aumento junto con el aumento en el nivel de suplementación con destilado de yuca, DY5 y DY10 tuvieron la misma producción de gas al igual que DY0 y DY5 y DY10 y DY15, la producción de gas en DY0 fue menor que la obtenida en DY10 y DY15.

La DMS también aumentó con el nivel de suplementación con destilado de yuca, siendo significativamente mayor en DY10 y DY15 comparados contra DY0 y DY5. Por su parte la DFDN y DFDA presentaron el mismo comportamiento, fueron mayores en los tratamientos DY10 y DY15 comparados con DY0 y DY5. La concentración de N-NH₃ fue menor en DY15 comparado con DY0 y DY5 y no difirió de DY10. Así mismo, la producción de AGV total, acetato y propionato aumentaron con el aumento en el nivel de suplementación con destilado de yuca.

Los AGV total fueron mayores ($p < 0.05$) en DY10 y DY15, DY10 no difirió de DY5 pero si de DY0, DY15 difirió de DY0 y DY5 pero no de DY10, la concentración de acetato presento este mismo comportamiento, mientras la producción de

propionato fue mayor en DY10 y DY15, que no fueron diferentes entre sí pero si fueron diferentes de DY0 y DY5.

La producción de valerato disminuyó con el aumento en el nivel de suplementación con destilado de yuca, fue mayor en DY0 y a su vez no difirió de DY5 y DY10, DY15 presentó la menor producción de valerato comparado con DY0 y no fue diferente de DY5 y DY10. Finalmente, la producción de isovalerato fue menor en DY15 comparado con DY0, DY5 y DY10, por otro lado, la relación acetato: propionato tendió ($p = 0.0738$) a disminuir con el nivel de suplementación con destilado de yuca (Tabla 2-4).

A las 48 horas de fermentación hubo un efecto de la suplementación con destilado de yuca sobre la producción de gas, DFDN, DFDA, la producción de propionato, valerato e isovalerato y la relación acetato:propionato; en cambio no tuvo efecto sobre DMS, pH, N-NH₃, AGV total, y la producción de acetato y butirato.

La producción de gas fue la misma en DY0, DY5 y DY10 y a su vez fue menor en DY15 comparado con DY0 y DY5 mientras no difirió de DY10. La DFDN y DFDA disminuyeron con el aumento en el nivel de suplementación con destilado de yuca, la DFDN fue mayor en DY0 y DY5 comparados contra DY10 y DY15. El tratamiento DY10 por su parte presentó la más baja DFDN pero no difirió de DY15; en cuanto a DFDA esta fue mayor e igual en DY0 y DY5 comparados con DY10 y DY15, estos últimos a su vez también fueron diferentes, siendo DFDA mayor en DY15.

La producción de propionato fue mayor en DY15 comparado con DY0, DY5 y DY10, los cuales a su vez no fueron diferentes entre sí. La producción de valerato disminuyó con el aumento en el nivel de suplementación, siendo menor en DY15 comparado con DY0 y DY5 pero no diferente de DY10, mientras que DY0 y DY5 y DY10 y DY5 y DY10 y fueron iguales. La producción de isovalerato fue mayor en DY0 y diferente de DY10 y DY15, DY10 y DY15 presentaron la misma producción de isovalerato al igual que DY0 y DY5. La relación acetato:propionato fue menor ($P < 0.05$) en DY15 comparado con DY0, DY5 y DY10, mientras que DY0 y DY10 y DY5 y DY10 presentaron la misma relación acetato:propionato (Tabla 2-4).

Tabla 2-4. Parámetros de fermentación ruminal *in vitro* a 24 y 48 horas de fermentación para el pasto Kikuyo de alta calidad nutritiva.

Parámetro	Tratamiento ¹				p
	DY0	DY5	DY10	DY15	
24 horas					
Gas (mL)	95.2 c	99.3 cb	105.8 ab	108.6 a	0.0063
DMS (%)	55.4 c	58.6 b	65.1a	66.8 a	<.0001
DFDN (%)	47.0 b	49.7 b	54.7 a	56.1 a	0.0007
DFDA (%)	41.8 b	44.8 b	51.3 a	52.6 a	0.0003
pH	6.48	6.48	6.45	6.40	0.3373
N-NH ₃ (mg/L)	229.6 a	223.1 a	221.4 ab	212.5 b	0.0148
<i>Ácidos grasos volátiles</i>					
AGV total (mmol/L)	33.17 c	36.08 cb	40.02 ab	42.41 a	0.0060
Acetato (mmol/L)	20.70 c	22.58 cb	24.06 ab	26.14 a	0.0163
Propionato (mmol/L)	8.91 b	10.02 b	11.68 a	12.52 a	0.0007
Butirato (mmol/L)	3.10	3.07	3.86	3.41	0.1689
Valerato (mmol/L)	0.33 a	0.29 a	0.29 a	0.24 b	0.0183
Isovalerato (mmol/L)	0.14 a	0.12 ab	0.13 a	0.10 b	0.0404
Acetato:Propionato	2.35	2.23	2.08	2.10	0.0738
48 horas					
Gas (mL)	113.8 a	109.9 a	108.0 ab	103.1 b	0.0133
DMS (%)	72.7	73.0	71.1	72.5	0.3800
DFDN (%)	70.0 a	69.0 a	64.6 b	65.3 b	0.0101
DFDA (%)	65.3 a	65.3 a	60.0 b	62.6 c	0.0118
pH	6.40	6.40	6.43	6.40	0.4363
N-NH ₃ (mg/L)	289.5	293.3	288.2	296.4	0.8478
<i>Ácidos grasos volátiles</i>					
AGV total (mmol/L)	47.44	48.18	47.04	48.71	0.5077
Acetato (mmol/L)	29.98	29.76	28.87	28.98	0.7256
Propionato (mmol/L)	12.61 b	13.64 b	12.99 b	14.86 a	0.0042
Butirato (mmol/L)	3.91	3.91	4.37	4.15	0.6592
Valerato (mmol/L)	0.71 a	0.66 ab	0.61 bc	0.55 c	0.0062
Isovalerato (mmol/L)	0.23 a	0.22 ab	0.20 b	0.18 c	0.0003
Acetato:Propionato	2.38 a	2.20 b	2.23 ab	1.95 c	0.0033

¹ % de reemplazo de la proteína del pasto por proteína proveniente del destilado de yuca

^{abc} Promedios en la misma fila con letra diferente indican valores con diferencia estadística significativa $P < 0.05$ según la prueba de la diferencia mínima significativa.

2.4.3.2 *Kikuyo de calidad nutritiva media*

A las 24 horas de fermentación *in vitro*, hubo un efecto de la suplementación con destilado de yuca sobre la producción de gas, DFDN, DFDA, pH, AGV total, acetato, propionato, butirato, valerato y la relación acetato:propionato, mientras que no hubo efecto sobre N-NH₃ e isovalerato. (Tabla 2-5).

La producción de gas fue mayor en DY15 y no difirió de DY10, pero DY10 y DY15 a su vez fueron diferentes de DY0 y DY5; el tratamiento DY0 presentó la menor producción de gas. La DMS fue mayor en DY15, no difiriendo de DY10 pero estos tratamientos a su vez fueron diferentes de DY0 y DY5 los que no difirieron entre sí. La DMS fue menor en DY0; la DFDN también fue mayor en DY15 y no difirió de DY10, el cual a su vez no difirió de DY5 pero si de DY0, DY0 y DY5 por su parte no fueron diferentes entre sí, pero DY0 presentó la más baja DFDN, este mismo comportamiento fue observado en DFDA. Respecto al pH, este fue mayor en DY0, pero no difirió de DY5 y DY10 pero si de DY15 el cual fue más bajo pero no fue diferente de DY5 y DY10. La producción de AGV total aumentó con el nivel de suplementación con destilado de yuca, fue más alta en DY15 comparado con DY0 y DY5 pero no difirió de DY10, DY10 a su vez no difirió de DY5 pero si de DY0, DY5 por su parte no difirió de DY0 el cual a su vez presentó la más baja producción de AGV total, este mismo comportamiento fue observado en acetato, butirato y valerato.

El propionato fue mayor en DY15 comparado con los demás tratamientos, los cuales a su vez difirieron entre sí, el tratamiento DY0 presentó la más baja producción de propionato. Finalmente, la relación acetato: propionato fue más baja en los tratamientos con destilado de yuca (DY5, DY10 y DY15) los cuales a su vez no fueron diferentes entre sí, pero si diferentes con respecto a DY0 que presentó la más alta relación acetato: propionato (Tabla 2-5).

A las 48 horas de fermentación, hubo un efecto de la suplementación con destilado de yuca sobre N-NH₃, mientras que no hubo efecto ($p > 0.05$) sobre la producción de gas, DMS, DFDN, DFDA, pH, AGV total, acetato, propionato, butirato, valerato, isovalerato y la relación acetato:propionato. La concentración de N-NH₃ fue mayor en los tratamientos con destilado de yuca (DY5, DY10 y DY15), DY15 presentó la mayor concentración de N-NH₃, el que su vez fue diferente de DY0 y DY5. El tratamiento DY0 y DY5 no fueron diferentes entre sí, al igual que DY5 y DY10 (Tabla 2-5)

Tabla 2-5. Parámetros de fermentación ruminal *in vitro* a 24 y 48 horas de fermentación para el pasto Kikuyo de calidad nutritiva media.

Parámetro	Tratamiento ¹				p
	DY0	DY5	DY10	DY15	
	24 horas				
Gas (mL)	75.6 b	83.3 b	98.5 a	102.5 a	0.0033
DMS (%)	46.0 b	48.6 b	53.0 a	54.9 a	0.0004
DFDN (%)	34.5 c	36.7 cb	37.8 ab	40.5 a	0.0076
DFDA (%)	30.4 c	33.9 cb	36.8 ab	40.5 a	0.0010
pH	6.55 a	6.50 ab	6.50 ab	6.45 b	0.0460
N-NH ₃ (mg/L)	227.0	226.4	230.7	227.6	0.9683
<i>Ácidos grasos volátiles</i>					
AGV total (mmol/L)	29.55 c	31.58 cb	33.53 ab	35.59 a	0.0051
Acetato (mmol/L)	19.15 c	20.24 cb	21.30 ab	22.37 a	0.0214
Propionato (mmol/L)	7.97 d	8.70 c	9.39 b	10.14 a	0.0003
Butirato (mmol/L)	2.27 c	2.45 cb	2.71 ab	2.85 a	0.0111
Valerato (mmol/L)	0.08 c	0.10 cb	0.12 ab	0.14 a	0.0079
Isovalerato (mmol/L)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.8148
Acetato:Propionato	2.40 a	2.30 b	2.25 b	2.23 b	0.0027
	48 horas				
Gas (mL)	120.1	115.6	115.2	108.1	0.2182
DMS (%)	64.6	65.0	65.7	66.1	0.8091
DFDN (%)	59.4	58.7	57.6	57.2	0.5190
DFDA (%)	57.1	57.0	56.2	55.9	0.7559
pH	6.38	6.40	6.40	6.43	0.2797
N-NH ₃ (mg/L)	243.0 c	249.8 cb	259.2 ab	264.5 a	0.0039
<i>Ácidos grasos volátiles</i>					
AGV total (mmol/L)	44.89	44.54	46.60	45.03	0.6132
Acetato (mmol/L)	27.95	27.72	28.98	28.02	0.6752
Propionato (mmol/L)	12.39	12.47	12.98	12.83	0.5759
Butirato (mmol/L)	3.94	3.75	4.02	3.59	0.3577
Valerato (mmol/L)	0.45	0.44	0.47	0.44	0.6707
Isovalerato (mmol/L)	0.17	0.16	0.17	0.16	0.6573
Acetato:Propionato	2.25	2.20	2.25	2.18	0.2455

¹ % de reemplazo de la proteína del pasto por proteína proveniente del destilado de yuca

^{abc} Promedios en la misma fila con letra diferente indican valores con diferencia estadística significativa $P < 0.05$ según la prueba de la diferencia mínima significativa.

2.4.3.3 *Kikuyo de calidad nutritiva baja*

A 24 horas de fermentación ruminal, hubo un efecto de la suplementación con destilado de yuca sobre DMS, DFDN, DFDA, butirato, valerato e isovalerato, mientras no hubo efecto sobre la producción de gas, pH, N-NH₃, AGV total, acetato, propionato y la relación acetato:propionato (Tabla 2-6). La concentración de N-NH₃ tendió ($p = 0.0505$) a disminuir con el aumento en el nivel de suplementación con destilado de yuca; por otro lado, la relación acetato:propionato tendió ($p = 0.0989$) a aumentar con el incremento en el nivel de suplementación con destilado de yuca siendo mayor en DY15 (Tabla 2-6).

La DMS fue mayor en DY15 comparado con DY0, DY5 y DY10, el tratamiento DY0 o control, presentó la más baja DMS mientras que DY5 y DY10 no fueron diferentes entre sí. Por su parte, la DFDN aumentó con el aumento en el nivel de suplementación con destilado de yuca, DY15 presentó la mayor DFDN mientras que DY0 la menor, pero todos los tratamientos fueron diferentes entre sí. En cuanto a la DFDA, el tratamiento DY15 presentó el valor más alto pero no difirió de DY10; DY10 y DY15 fueron diferentes de DY0 y DY5, DY0 presentó la más baja DFDA (Tabla 2-6).

La producción de butirato disminuyó con la suplementación con destilado de yuca, siendo menor en DY15 y mayor en DY0; DY0, DY5, DY10 y DY15 fueron similares al igual que DY5 y DY15. La producción de valerato fue mayor en DY10 y no difirió de DY0 pero sí de DY5 y DY15, DY0 y DY5 fueron similares al igual que DY5 y DY15. La producción de isovalerato fue mayor en DY0 y DY10 y no difirió entre estos dos tratamientos, los cuales a su vez fueron diferentes a DY5 y DY15 (Tabla 2-6).

A 48 horas de fermentación, hubo un efecto de la suplementación con destilado de yuca sobre la concentración de N-NH₃ y la producción de isovalerato, mientras no tuvo efecto sobre la producción de gas, DMS, DFDN, DFDA, pH, AGV total, acetato, propionato, butirato, valerato y la relación acetato:propionato (Tabla 2-6).

La concentración de N-NH₃ fue menor en DY15 comparada con DY0, DY5 y DY10, los cuales a su vez no fueron diferentes entre sí. La producción de isovalerato disminuyó con el aumento en el nivel de suplementación con destilado de yuca, DY15 presentó la menor producción de isovalerato, la cual fue diferente de DY0 pero no difirió de DY5 y DY10; los tratamientos DY0, DY5 y DY10 tampoco fueron diferentes entre sí. Hubo una tendencia ($p = 0.053$) a una mayor DFDA en los tratamientos DY10 y DY15, de la misma forma, hubo una tendencia ($p = 0.069$) a una menor producción de valerato en los tratamientos suplementados con destilado de yuca (Tabla 2-6).

Tabla 2-6. Parámetros de fermentación ruminal *in vitro* a 24 y 48 horas de fermentación para el forraje de pasto Kikuyo de calidad nutritiva baja.

Parámetro	Tratamiento ¹				p
	DY0	DY5	DY10	DY15	
	24 horas				
Gas (mL)	94.1	93.5	97.7	94.8	0.8922
DMS (%)	40.3 c	43.9 b	44.5 b	49.5 a	<.0001
DFDN (%)	27.9 d	31.8 c	35.1 b	39.4 a	<.0001
DFDA (%)	19.7 c	23.4 b	31.6 a	33.0 a	<.0001
pH	6.50	6.45	6.50	6.43	0.1298
N-NH ₃ (mg/L)	269.8	248.0	215.4	199.1	0.0505
<i>Ácidos grasos volátiles</i>					
AGV total (mmol/L)	33.53	32.16	30.97	29.51	0.3976
Acético (mmol/L)	20.94	20.54	19.57	19.46	0.6616
Propiónico (mmol/L)	8.66	8.28	7.81	7.47	0.2999
Butírico (mmol/L)	3.51 a	2.97 ab	3.09 a	2.23 b	0.0338
Valérico (mmol/L)	0.38 ab	0.34 b	0.45 a	0.33 b	0.0193
Isovalérico (mmol/L)	0.05 a	0.03 b	0.05 a	0.02 b	0.0210
Acetato:Propionato	2.43	2.50	2.50	2.60	0.0989
	48 horas				
Gas (mL)	110.1	110.5	110.5	111.2	0.9982
DMS (%)	56.5	56.1	57.2	56.2	0.8767
DFDN (%)	47.4	47.3	50.1	48.1	0.3339
DFDA (%)	40.4	40.6	45.1	43.1	0.0530
pH	6.35	6.38	6.38	6.40	0.6310
N-NH ₃ (mg/L)	232.8 a	226.4 a	229.8 a	218.5 b	0.0100
<i>Ácidos grasos volátiles</i>					
AGV total (mmol/L)	45.15	43.52	44.05	41.33	0.0930
Acético (mmol/L)	29.46	28.45	28.55	26.99	0.1727
Propiónico (mmol/L)	11.31	10.93	11.37	10.58	0.0765
Butírico (mmol/L)	3.94	3.74	3.76	3.44	0.1433
Valérico (mmol/L)	0.33	0.30	0.28	0.24	0.0540
Isovalérico (mmol/L)	0.11 a	0.11 ab	0.09 ab	0.08 b	0.0438
Acetato:Propionato	2.63	2.60	2.50	2.53	0.3865

¹ % de reemplazo de la proteína del pasto por proteína proveniente del destilado de yuca

^{abc} Promedios en la misma fila con letra diferente indican valores con diferencia estadística significativa $P < 0.05$ según la prueba de la diferencia mínima significativa.

2.5 Discusión

2.5.1 Composición química del destilado de yuca

Al igual que en los granos y solubles del destilador (DDGS) de granos de cereales tales como el maíz, el trigo y la cebada, entre otros, en el destilado de yuca se cumple casi estrictamente con los factores de concentración de 2.3 a 3 veces el contenido de los nutrientes diferentes a los azúcares y almidones señalados por FEDNA (2010). Comparado con los DDGS más conocidos, el contenido de proteína del destilado de yuca es muy bajo cuando se compara con los de DDGS de maíz, trigo, cebada y sorgo, esto se debe al bajo contenido de proteína presente en la harina de yuca, el cual varía entre 2.5-3.2%. Así mismo, el contenido de grasa (extracto etéreo) es muy bajo y esto se debe a que la yuca se caracteriza por su bajo contenido de grasa y ácido linoleico (FEDNA, 2010). Los contenidos de FDN, FDA y lignina son más altos en el destilado de yuca comparado con los DDGS de diversas fuentes, esto se debe principalmente a la calidad de la materia prima (harina de yuca) empleada en el proceso de elaboración del bioetanol, la harina empleada para este proceso proviene de yuca de rechazo variedad Copiblanca (no apta para comercializarse para consumo humano) y el proceso de elaboración de la harina es muy tosco, el tubérculo fue lavado, picado, triturado, deshidratado y tamizado hasta obtener un tamaño de partícula de 0,15mm (Castaño *et al.*, 2011).

Por otro lado, la composición química del destilado de yuca es bastante similar a la composición química de la vinaza de yuca reportada por Patiño *et al.* (2012), aunque presenta algunas diferencias que pueden ser atribuidas al tipo de proceso de elaboración del bioetanol empleado en cada caso. Así, el destilado de yuca contiene más materia seca que la vinaza de yuca, menos materia orgánica, extracto etéreo, menos fibra, mayor DIVMS, menores contenidos de macro minerales (Ca, P, Mg, K, S) y leves diferencias en el contenido de micro minerales. Como se mencionó antes, estas diferencias pueden ser debidas a la variedad de yuca empleada, las condiciones de cultivo propias de cada zona, el tipo de suelos, el proceso de producción del etanol y la tecnología de fermentación y destilación empleada en el proceso.

Dado que el tubérculo no se pela se presume que es debido principalmente a este hecho que en el destilado de yuca los valores de FDN, FDA y lignina sean más altos que los reportados para los DDGS de diversas fuentes. El contenido de energía bruta del destilado de yuca es aproximadamente un 6% superior al de la harina de yuca, este comportamiento también ha sido reportado para los DDGS de maíz por Birkelo *et al.* (2004), quienes lo atribuyen a un mayor contenido de grasa en los DDGS, este también podría ser el caso del destilado de yuca, ya que contiene 4 veces más grasa (extracto etéreo) que la harina de yuca de la cual procede.

2.5.2 Experimento 1

La respuesta a la suplementación con destilado de yuca dependió de la calidad del forraje, pues se observó un aumento en DMS, DFDN y DFDA en los forrajes de los pastos kikuyo de alta y baja calidad nutritiva, mientras que en el pasto kikuyo de media calidad nutritiva estos parámetros disminuyeron con el aumento en nivel de inclusión de destilado de yuca. Como la degradabilidad de la materia seca es directamente proporcional al porcentaje de inclusión de destilado e yuca (Behlke *et al* 2007) esta es una de las posibles razones por la cuales se observó una mayor degradabilidad en el kikuyo de alta calidad nutritiva puesto que a mayor contenido de proteína cruda del forraje fue necesario usar mayores cantidades de destilado de yuca para reemplazar la proteína del mismo, así los niveles de inclusión de destilado de yuca para los tratamientos DY0, DY5, DY10 y DY15 fueron (0%, 9.4%, 18.8%, 28.2%; o 0%, 5.65%, 11.3% 16.94% y 0%, 3.17%, 6.34%, 9.51%; para kikuyo de alta, media y baja calidad, respectivamente.

La DFDN no fue afectada por el nivel de inclusión de destilado de yuca en el pasto kikuyo de alta calidad nutritiva, aunque sus valores se encuentran dentro de los rangos reportados para diferentes forrajes del 25%–75% (NRC, 2001). Otros autores, Oliveros *et al* (1987) reportaron que el subproducto de la fermentación aumenta la actividad microbiana en el rumen lo que puede aumentar el suministro de energía y proteína a los rumiantes; esto soporta la teoría de que debido al contenido de nutrientes del destilado de yuca, especialmente algunos elementos menores como hierro, zinc, cobre, y manganeso, entre otros, se haya mejorado el metabolismo de los microorganismos ruminales ya que estos minerales actúan como cofactores en muchos sistemas enzimáticos, resultando así en mejores valores de DMS, DFDN y DFDA en la medida en que se incrementaron los niveles de destilado de yuca en los pastos kikuyo de alta y baja calidad nutritiva. Getachew (2004) sugirió que el efecto de FDN sobre la fermentación se hace menos importante a medida que el nivel de FDN disminuye; en la evaluación realizada en todos los tratamientos en los que se incluyó destilado de yuca, la FDN presente en esta se redujo, lo cual favoreció el aumento en los niveles de degradación de la materia seca.

El comportamiento mostrado por el pasto kikuyo de media calidad nutritiva parece reflejar una respuesta curvilínea de los parámetros DMS, DFDN y DFDA a la suplementación con destilado de yuca en función de la calidad nutritiva del forraje, presentándose un punto de inflexión cuando el contenido de proteína cruda del pasto estuvo entre 13% y 16%. Por otro lado, De Blas *et al* (2007), han sugerido que la inclusión de niveles altos de DDGS en la dieta puede afectar negativamente la degradación de la fibra debido a su alto contenido de grasa saturada tal es el caso de los DDGS de maíz, sin embargo en nuestro caso todos los tratamientos presentaron niveles bajos de grasa ($\leq 3.0\%$) por lo cual la disminución en los valores de DFDN y DFDA observados en el kikuyo de media

calidad se puede deber más a un aumento en el contenido de lignina que al contenido de grasa del destilado de yuca.

2.5.3 Experimento 2

Tanto la producción de gas como la DMS aumentaron con el aumento en el nivel de inclusión de destilado de yuca en los tratamientos, mostrando una estrecha relación entre el nivel de inclusión del destilado de yuca y la DMS dado que el destilado de yuca, al igual que los DDGS son sustratos altamente degradables en el rumen, y así mismo, existe una estrecha relación entre la degradación de la materia seca y la producción de gas (Williams, 2000). Varios autores han reportado que la composición química de los alimentos tiene un efecto sobre el volumen de gas producido. Nsahlai *et al* (1995), encontraron que la producción de gas está relacionada con la degradación de la FDN, igualmente, Pell y Schofield (1993) encontraron que la relación entre ambos conceptos es lineal, por lo que hay una tendencia al aumento de la producción de gas en aquellos forrajes donde el contenido de FDN es mayor, sin embargo, este comportamiento no siempre es así (Giraldo *et al*, 2006).

La producción de gas a las 48 horas de fermentación, fue levemente mayor a la registrada a las 24 horas, esto puede ser debido a los constituyentes del alimento tales como grasa y proteína, las cuales contribuyen poco o nada a la producción de gas pero son degradadas *in vitro* (Getachew *et al*, 2004). Recientemente Giraldo y Henao (2010) encontraron un efecto positivo sobre DMS y producción de gas del pasto kikuyo suplementado con 10% de destilado de yuca; en promedio la DMS aumentó un 12.2% y la producción de gas tan solo un 3.2% a las 24 horas de fermentación, sin detectar diferencias a las 48 horas, aunque en nuestro caso se emplearon niveles de inclusión diferentes en función del reemplazo de proteína de pasto kikuyo por proteína procedente del destilado de yuca, los resultados obtenidos mostraron un comportamiento semejante a los reportados por estos autores.

La degradación ruminal de la fibra (DFDN y DFDA), aumentó con el aumento en el nivel de suplementación con destilado de yuca a las 24 horas de fermentación en los tres forrajes de pasto kikuyo evaluados, lo cual es una consecuencia directa de la inclusión del destilado de yuca ya que este al igual que los DDGS es una fuente de fibra altamente degradable en el rumen (Mustafa *et al* 2000; Miron *et al* 2001, Getachew *et al* 2004, Schingoethe 2008, Tedeschi *et al* 2009 y Cao *et al* 2009). Sin embargo, a las 48 horas de fermentación ruminal este efecto no fue observado, en el pasto kikuyo de alta calidad la DFDN y la DFDA fueron levemente menores en los tratamientos con mayor nivel de suplementación con destilado de yuca, mientras que no fueron afectadas ambas degradabilidades de la fibra en los forrajes de kikuyo de media y baja calidad nutritiva; este efecto puede ser debido a que el destilado y la harina de yuca son suplementos altamente degradables que son aprovechados en un alto porcentaje por los

microorganismos ruminales durante las primeras 24 horas de fermentación, quedando luego de este tiempo básicamente el forraje de kikuyo el cual es de más lenta degradación en rumen.

Las concentraciones de N-NH₃ variaron en función de la calidad nutritiva del forraje, tanto en kikuyo de alta calidad nutritiva como en el de baja calidad nutritiva. El N-NH₃ disminuyó con el aumento en el nivel de inclusión de destilado de yuca en los tratamientos a las 24 horas de fermentación. Esto puede ser explicado en parte por la inclusión de la harina de yuca como fuente energética así como también por el aumento en DFDN y DFDA dado que las bacterias fermentadoras de carbohidratos estructurales utilizan el amoníaco presente en el rumen como fuente de N para su síntesis proteica (Ribeiro *et al.*, 2001). Es probable que la energía adicional suministrada por la mayor degradación de FDN y FDA haya permitido una mayor utilización del N-NH₃ ruminal para síntesis de proteína microbial (Nocek y Russell, 1988) resultando en mayores poblaciones de microorganismos ruminales y por ende mayor degradación del sustrato.

Los valores de pH siempre se mantuvieron dentro de los rangos óptimos reportados en la literatura para las diferentes especies de bacterias con muy poca variación entre las 24 y 48 horas de fermentación. Al respecto Van Soest (1994) sugirió un rango de pH óptimo entre 6.2 y 6.8 para que las bacterias fibrolíticas y los protozoos actúen de forma adecuada, mientras que Furlan *et al.* (2006) sugieren un rango de pH ideal entre 5.5 y 7.0 ya que las bacterias amilolíticas actúan mejor a valores de pH cercanos a 5.8. Por otro lado Ørskov (1988) afirma que el valor mínimo de pH para una adecuada fermentación de la fibra es 6.2.

Allen (2000) sugirió que forrajes con alta digestibilidad de la fibra pueden fermentar más rápidamente en el rumen, conduciendo a una mayor producción de ácidos grasos volátiles (AGV) producto de la fermentación, que resultan en bajos valores de pH ruminal. El pH tendió a ser más bajo en los tratamientos con mayor DFDN (suplementados con destilado de yuca), lo cual puede ser debido a que el destilado de yuca es una fuente de fibra altamente degradable en el rumen (Mustafa *et al.*, 2000; Miron *et al.*, 2001; Getachew *et al.*, 2004; Schingoethe, 2008; Tedeschi *et al.*, 2009 y Cao *et al.*, 2009).

La producción de ácidos grasos volátiles fue afectada por la suplementación con destilado de yuca. Así los AGV totales aumentaron con el nivel de inclusión de destilado de yuca solo en los forrajes de pasto kikuyo de alta y media calidad nutritiva a las 24 horas de fermentación, lo cual es consistente con mayores DMS, DFDN y DFDA en los tratamientos suplementados con destilado de yuca. Contrariamente, Kendall *et al.* (2009), no encontraron diferencias en la producción de AGV en dietas con alta y baja digestibilidad de la FDN *in vitro*, sin embargo las dietas evaluadas por estos autores presentaban bajos valores de FDN, cerca de la mitad del contenido de los tratamientos evaluados en este trabajo, a pesar del uso de destilado de yuca que presenta altos niveles de degradación de la fibra como se mencionó antes.

Las concentraciones de acetato y propionato aumentaron mientras disminuyeron las concentraciones de los ácidos valérico e isovalérico. La disminución en las concentraciones de los ácidos valérico e isovalérico se manifestó principalmente en los forrajes del pasto kikuyo de alta y media calidad nutritiva, lo que puede ser debido a la reducción en el contenido de proteína de los tratamientos. Según Getachew *et al.* (2004) existe una alta correlación positiva entre el contenido de proteína y la producción de valerato e isovalerato, indicando que la degradación de la proteína contribuye a la producción de AGV.

Además de la degradación de los carbohidratos, la degradación de la proteína también contribuye con cantidades proporcionalmente pequeñas de ácidos grasos (AG) de cadena corta, los esqueletos de carbono derivados de la desaminación dan lugar a una variedad de AGV (Allison, 1970), por ejemplo la fermentación de glicina puede producir amoníaco y ácido acético sin liberar CO₂, y la de leucina, isoleucina y valina a ácido valérico, ácido 2-metilbutírico y ácido isobutírico, respectivamente (Allison, 1970, Blackburn, 1965). La D-treonina puede producir ácido acético y la degradación del ácido DL-aspártico produce principalmente ácido propiónico (Blackburn, 1965). La extensión de la producción de AG de cadena corta a partir de proteínas, depende de la composición de aminoácidos de los alimentos y el grado de desaminación en el rumen de esos aminoácidos (Getachew *et al.*, 2004), la mayoría de estos aminoácidos han sido reportados por Correa *et al.* (2008) como presentes en el pasto kikuyo y con un contenido variable en función de la edad de rebrote y el contenido de proteína cruda del mismo.

Las proporciones molares para los principales AGVs (datos no mostrados), como el acético, propiónico y el butírico fueron semejantes a las reportadas *in vivo* por Black (1990) para animales consumiendo forrajes suplementados con concentrado. Por su parte la relación acetato:propionato se mantuvo dentro de los rangos reportados por (Blümmel *et al.*, 1999; Brown *et al.*, 2002) en fermentaciones *in vitro*. Se ha reportado que una alta relación acetato:propionato es un indicador de FDN proporcionalmente más digerible en los alimentos (Getachew *et al.*, 2004). Esto fue evidente dada la mayor relación acetato:propionato en el tratamiento control (D0) en los forrajes de pasto kikuyo de alta y media calidad nutritiva, comparado con los tratamientos en los que se incluyó destilado de yuca, en los cuales la producción de propionato aumentó y por ende disminuyó dicha relación. Aún no está claro como el mayor contenido de lignina en los tratamientos con destilado de yuca pudo haber afectado dicha relación.

2.6 Conclusiones

La composición química del destilado de yuca difiere bastante de la de los destilados provenientes de los granos de cereales tales como el maíz, cebada,

trigo y centeno, aunque cumple con la característica de concentrar entre 2.3 y 3 veces el contenido de los componentes del alimento que no son susceptibles de ser fermentados por las levaduras en el proceso de producción del bioetanol.

Así mismo, la composición química del destilado de yuca difiere un poco de la composición química reportada para la vinaza proveniente de la producción de bioetanol de yuca.

En términos generales, la suplementación del pasto kikuyo con destilado y harina de yuca resultó en una mejora en los principales parámetros de fermentación ruminal *in vitro*, siendo este efecto más marcado a las 24 horas de fermentación sobre los parámetros DMS, DFDN, DFDA, N-NH₃, AGV total, acetato, propionato, valerato e isovalerato y la relación acetato:propionato debido a las características de alta degradabilidad de los suplementos empleados.

La calidad nutritiva del forraje jugó un papel fundamental en la respuesta del pasto kikuyo a la suplementación con destilado y harina de yuca, en el experimento 1 las mejores respuestas las presentaron los forrajes del pasto kikuyo de alta y baja calidad nutritiva, mientras que en el experimento 2 a las 24 horas de fermentación los tres pastos presentaron buena respuesta a dicha suplementación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la cofinanciación del proyecto 2008D31067-3724 y a la Alianza Universidad de Antioquia - Fundauniban - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Literatura citada

Allen, M.S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:1598–1624.

Allison, M.J., 1970. Nitrogen metabolism of ruminal microorganisms. In: Phillipson, A.T., Annison, E.F., Armstrong, D.G., Balch, C.C., Hardy, R.N., Hobson, P.N., Keynes, F.R.S.R.D. (Eds.), *Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant*. Oriel Press Ltd., Londres, pp. 456–473.

AOAC, 1984. *Official methods of analysis*, 14 Ed. Association of official analytical chemist. The William Sydney Inc., Virginia U.S.A. pp. 278-284.

- Behlke, E.J., Klopfenstein, T. J., Sanderson, T., y Miner, J.L. 2007. Replacement of forage with dried distiller's grains reduces ruminal methane production. *Nebraska Beef Cattle Reports* 62. P 19 – 21. [en línea]. <<http://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/62>>. [Citado el 10 de abril de 2013].
- Birkelo, C.P., Brouk, M.J. y Schingoethe, D.J. 2004. The energy content of wet corn distillers grains for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87: 1815–1819.
- Black, J.L. 1990. Nutrition of the grazing ruminant. *Proc. New Zel. Soc. Prod.*, 50: 7-27.
- Blackburn, T.H., 1965. Nitrogen metabolism in the rumen. In: Dougherty, R.W., Allen, R.S., Burroughs, W., Jacobson, N.L., McGilliard, A.D. (Eds.), *Physiology of Digestion in the Ruminant*. Butterworths, Londres, pp. 322–334.
- Blümmel, M., Aiple, K.-P., Steingass, H., Becker, K., 1999. A note on the stoichiometrical relationship of short chain fatty acid production and gas evolution in vitro in feedsstuffs of widely differing quality. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 81, 157–167.
- Brown, V.E., Rymer, C., Agnew, R.E., Givens, D.I., 2002. Relationship between in vitro gas production profiles of forages and in vivo rumen fermentation patterns in beef steers fed those forages. *Anim. Feed Sci. Technol.*98, 13–24.
- Cao, Z. J., Anderson, J. L y Kalscheur, K. F. 2009. Ruminal degradation and intestinal digestibility of dried or wet distillers grains with increasing concentrations of condensed distillers solubles. *J. Anim. Sci.* 2009. 87:3013–3019.
- Castaño, H., Cardona, M., Mejía, C., y Acosta, A. 2011. Producción de etanol a partir de harina de yuca en un sistema de hidrólisis enzimática y fermentación simultánea. *Revista Dyna*. Año 78 Numero 169: 158 – 166.
- De Blas, C, Mateos, G.G. y Rebollar, P.G. 2007. Ddgs de maíz (granos de destilería, ddg, y solubles, dds). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Departamento Nacional de Planeación. 2008. Lineamientos de Política para Promover la Producción Sostenible de Biocombustibles en Colombia (Conpes 3510). Colombia. 44 pp.

- FEDNA. 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3ª edición). 2010. C. de Blas, G.G. Mateos y P. García-Rebollar. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid. 502 pp.
- Furlan, R. L., Macari, M., Faria Filho, D. E. 2006. Anatomia e fisiologia do trato gastrointestinal. IN: Nutrição de Ruminantes. Jaboticabal: Funep, 583pp.
- Getachew, G., Robinson, P. H., DePeters, E. J y Taylor, S.J. 2004. Relationship between chemical composition, dry matter degradation and *in vitro* gas production of several ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 111:57–71.
- Giraldo, L. A, Gutiérrez, L. A, Sánchez, J y Bolívar, D.M. 2006. Relación entre presión y volumen para el montaje de la técnica *in vitro* de producción de gas en Colombia. Livestock Research for Rural Development 18. [en línea]. <<http://www.lrrd.org/lrrd18/6/cont1806.htm>>. [Citado en 12 de abril de 2013].
- Giraldo, P. A, y Henao, V. 2010. Efecto de la suplementación con gramíneas con subproductos de bioetanol, en la fermentación ruminal *in vitro*. Trabajo de grado Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. 80pp.
- Goering, H.K., Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures and some applications). In: USDA Agriculture Handbook No. 379. USDA-ARS, Washington, DC, USA.
- Kendall, C., Leonardi, C., Hoffman, P. C., y Combs, D. K. 2009. Intake and milk production of cows fed diets that differed in dietary neutral detergent fiber and neutral detergent fiber digestibility. J. Dairy Sci. 92:313 – 323.
- Koenig, K.M., Newbold, C. J., McIntosh, F.M., y Rode, L. M. 2000. Effects of protozoa on bacterial nitrogen recycling in the rumen. J. Anim. Sci. 78: 2431-2445.
- López S, Carro M, González J, y Overo, F. 1998. Comparison of different *in vitro* and *in situ* methods to estimate the extent and rate of degradation of hays in the rumen. Animal Feed Science and Technology 1998; 73:99-113.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural –MADR–. 2009. Políticas y Programas Misionales. Empresarización de Actividades Agropecuarias. Biocombustibles. [en línea]. <<http://www.minagricultura.gov.co/02componentes/05biocombustible.aspx>>. [Citado en 15 de abril de 2013].

- Miron, J., Yosef, E. y Ben-Ghedalia, D. 2001. Composition and *in vitro* digestibility of monosaccharide constituents of selected byproduct feeds. *J. Agric. Food Chem.* 49:2322–2326.
- Mustafa, A.F., McKinnon, J.J., y Christensen D.A. 2000. Chemical characterization and *in situ* nutrient degradability of wet distillers' grains derived from barley-based ethanol production. *Animal Feed Science and Technology* 83 (2000) 301–311.
- National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- Nocek, J. E., and J. B. Russell. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71:2070–2107.
- Nsahlai, I. V., Umunna, N. N y Negassa, D. 1995. The effect of multi-purpose tree digesta on *in vitro* gas production from napier grass or neutral-detergent fibre. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 69: 519–528. [en línea]. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2740690417/>> [Citado el 20 de abril de 2013].
- Oliveros, B., F. Goedeken, E. H, y Klopfenstein, T. 1987. Dry or wet bran or gluten feed for ruminants. *Neb. Beef Rep.* MP 52:14.
- Orskov, E.R. 1988. Nutrición Proteica de los Rumiantes. 1ª Edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 178 pp.
- Patiño, H., Ospina, B., Gallego, S. y Gil, J.L. 2012. Sustainable and competitive use as livestock feed of some co-products, by-products and effluents generated in the bio-ethanol industry. En: Makkar H (ed.). *Biofuel Co-products as Livestock Feed*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, IT. p. 275-290.
- Pell, A. N y Schofield, P. 1993. Computerized Monitoring of Gas Production to Measure Forage Digestion *In Vitro*. *Journal of Dairy Science* 76: 1063–1073.
- Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario – AGRONET Colombia, 2010. Inventario de Ganado Bovino. [En línea]. <<http://www.agronet.gov.co/agronetweb/AnalisisEstadisticas/tabid/73/Default.aspx>>. [Citado en 01 de mayo de 2010].
- Ribeiro, K. G., García, R.; Pereira, O. G., Valadares Filho, S. C., Cecon, P. R. 2001. Eficiência microbiana, fluxo de compostos nitrogenados no abomaso, amônia e pH ruminais, em bovinos recebendo dietas contendo feno de

- Capim- Tifton 85 de diferentes edades. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(2): 581-588.
- SAS Institute Inc. (2002–2003). Versión 9. SAS/STAT User's Guide. Cary, NC, USA.
- Schingoethe, D. F. 2008. Chapter 3: Use of Distillers Co-products in diets fed to dairy cattle. En: *Using Distillers Grains in the U.S. and International Livestock and Poultry Industries*. Edited by Bruce A. Babcock, Dermot J. Hayes y John D. Lawrence. Published by the Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center at the Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University, Ames, Iowa, U.S.A.
- Tedeschi, L.O, Kononoff, P. J, Karges, K y Gibson, M. L. 2009. Effects of chemical composition variation on the dynamics of ruminal fermentation and biological value of corn milling (co)products. *J. Dairy Sci.* 92:401–413.
- Theodorou M K, Williams B A, Dhanoa M S, McAllan A B and France J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 48: 185-197.
- Van Horn, H. H., Blanco O., Harris B., Beede D. K. 1985. Interaction of protein percent with caloric density and protein source for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 68:1682.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Segunda Edición. Cornell University Press, Ithaca, NY. E.U. 476 pp.
- Williams, B.A. 2000. Cumulative Gas-production Techniques for Forage Evaluation. En: *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. Edited by D.I. Givens, E. Owen, R.F.E. Oxford and H.M. Omed. CABI Publishing, UK. P 189 – 211.

3. Capítulo 3. Evaluación del reemplazo del pasto kikuyo por destilado de yuca en las características de fermentación ruminal en un sistema RUSITEC

W García¹ y L A Giraldo^{1,2}

¹ Grupo de investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo BIORUM. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. wdgarcia@unal.edu.co

² Profesor Titular. Departamento de producción Animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. conisilvo@une.net.co

Resumen

El destilado de yuca (DY) es un subproducto de la industria del etanol para combustible que se obtiene por el filtrado y secado de las vinazas cuando se elabora este biocombustible a partir de la yuca. Nuestra hipótesis es que el destilado de yuca puede reemplazar el 20% del forraje de kikuyo y mejorar algunas características de fermentación ruminal de la dieta. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del reemplazo de forraje dietario por destilado y harina de yuca sobre las principales características de fermentación ruminal *in vitro*. Se usó un fermentador semi continuo RUSITEC y dos muestras de pasto kikuyo de diferente calidad nutritiva (alta y baja). Los tratamientos evaluados fueron (CONTROL: Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) 100%; DY20: Kikuyo 70% + 20% DY + 10% HY). Se determinaron los porcentajes de degradación de la materia seca (DMS), materia orgánica (DMO), pared celular (DFDN y DFDA) y proteína cruda (DPC), producción de amoníaco (N-NH₃), pH, producción de

ácidos grasos volátiles (AGV) total e individuales (Acético, Propiónico, Butírico, Valérico e Isovalérico), producción de gas (G) y población de protozoos ruminales (PR), los datos obtenidos se analizaron mediante un diseño de bloques completos al azar y la comparación de medias se realizó por medio de la prueba de la diferencia mínima significativa (LSD).

En el kikuyo de alta calidad nutritiva, hubo un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre DMS (60.6% vs 66.5%), DMO (48.4% vs 57.4%), DFDN (28.4% vs 37.7%), DFDA (22.1% vs 33.2%), N-NH₃ (427.8 vs 331.8 mg/L), pH (6.83 vs 6.88), PR (1293 vs 3.510/mL), la producción de butirato (4.31 vs 6.98 mmol/día) y la relación acetato:propionato (2.23 vs 2.13) para CONTROL vs DY:20, mientras no tuvo efecto ($p > 0.05$) sobre, DPC, AGV total, acetato, propionato, valerato e isovalerato, producción de gas y producción de metano. Hubo una tendencia ($p = 0.0547$) a una mayor producción de AGV total y propionato ($p = 0.0969$) en DY:20 mientras el isovalerato tendió ($p = 0.0874$) a ser menor en el mismo tratamiento con respecto a CONTROL. Por otro lado, en el kikuyo de baja calidad nutritiva la suplementación hubo un efecto significativo ($P < 0.05$) sobre DMS (50.8% vs 57.0%), DMO (36.6% vs 43.7%), DFDN (21.1% vs 25.7%), DFDA (14.5% vs 20.4%), N-NH₃ (330.3 vs 270.8 mg/L), PR (2530 vs 5766 /mL), la concentración de butirato (4.01 vs 6.11 mmol/día) y la relación acetato:propionato (2.25 vs 2.08) para CONTROL vs DY:20; mientras no tuvo efecto ($p > 0.05$) sobre producción de gas, producción de metano, DPC, pH, AGV total y las concentraciones de acetato, propionato, valerato e isovalerato. Los resultados indican que el reemplazo del forraje por destilado de yuca ejerce un efecto positivo sobre algunos parámetros de la fermentación ruminal *in vitro* así como también sobre algunas poblaciones de microorganismos del rumen, lo cual sugiere que este subproducto procedente de la elaboración de alcohol carburante a partir de la yuca puede ser potencialmente empleado como suplemento alimenticio para el ganado lechero siempre y cuando esté acompañado de una fuente energética.

Palabras clave: Degradación de la materia seca, ácidos grasos volátiles, amoníaco, Protozoos ruminales.

Evaluation of replacement of kikuyu grass by cassava distillate on ruminal fermentation characteristics in a RUSITEC system

Abstract

Cassava distilled (DY) is a byproduct of the fuel ethanol industry which is obtained by filtering and drying of the stillage when making this biofuel from cassava. Our hypothesis is that the distiller's from cassava can replace 20% of forage from kikuyu grass and improve some ruminal fermentation characteristics of the diet. The aim of this study was to evaluate the effect of replacing dietary forage by cassava distilled on the main *in vitro* rumen fermentation characteristics. A semi-continuous fermenter RUSITEC was used and two kikuyu grass samples of different nutritional quality (high and low). The treatments were (CONTROL : Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) 100 %, DY:20: Kikuyu 70 % + 20 % DY + 10% HY) . Percentages of degradation of dry matter (DMD), organic matter (OMD), cell wall (NDFD and ADFD) and crude protein (CPD) were determined, as well as production of ammonia (N-NH₃) , pH, volatile fatty acid production (VFAs) total, and individual (acetic, propionic, butyric, valeric and isovaleric), gas production (G) and rumen protozoa population (PR), the data obtained were analyzed using a complete randomized block design and means comparison was performed by the least significant difference (LSD) test.

With high quality Kikuyu, there was a significant effect ($p < 0.05$) on DMD (60.6 % vs 66.5 %), OMD (48.4 % vs 57.4 %), NDFD (28.4 % vs 37.7 %), ADFD (22.1 % vs. 33.2 %), N-NH₃ (427.8 vs 331.8 mg / L), pH (6.83 vs 6.88), PR (1293 vs 3.510/mL), production of butyrate (4.31 vs 6.98 mmol / day), and on the acetate:propionate ratio (2.23 vs 2.13) for CONTROL vs. DY:20, while had no effect ($p > 0.05$) on CPD, total VFA, acetate, propionate, valerate and isovalerate, gas production and methane production. There was a trend ($P = 0.0547$) for greater production of total VFA and propionate ($p = 0.0969$) on K70:DY20:HY10 while isovalerate tended ($p = 0.0874$) to be lower in the same treatment compared with CONTROL. On the other hand, low quality kikuyu supplemented had a significant effect ($P < 0.05$) on DMD (50.8 % vs 57.0 %), OMD (36.6 % vs 43.7 %), NDFD (21.1 % vs 25.7 %), ADFD (14.5 % vs. 20.4 %), N-NH₃ (330.3 vs. 270.8 mg / L), PR (2530 vs 5766 / mL), the concentration of butyrate (4.01 vs. 6.11 mmol / day), and the acetate to propionate ratio (2.25 vs 2.08) for CONTROL vs DY:20, whereas there was no effect ($p > 0.05$) on gas production, methane production, CPD, pH, and total VFA concentrations, and acetate, propionate, valerate and isovalerate concentrations. This results indicate that replacement of forage by cassava distilled has a positive effect on some parameters of the *in vitro* ruminal fermentation as well as on some rumen microbial populations, suggesting that this by-product of fuel alcohol obtained from cassava can be potentially used as a nutritional supplement for dairy cattle as long as it is accompanied by an energy source.

Keywords: Dry matter disappearance, volatile fatty acids, ammonia, rumen protozoa.

3.1 Introducción

Uno de los principales retos para la industria del bioetanol es la creación de mercados para los subproductos que se obtienen durante la elaboración de este combustible. Es por ello que, una de las cadenas que se puede acoplar a esta industria es la láctea, ya que mediante el uso de los subproductos de la fermentación (destilados o vinazas) como suplemento alimenticio se puede potencialmente mejorar la producción y/o calidad de la leche, y más importante aún, disminuir los costos de producción en las lecherías del trópico alto de Colombia.

Con el desarrollo de la industria de los biocombustibles se han generado grandes perspectivas sobre el uso de los sub-productos en la alimentación animal (Applegate, *et al.*, 2008). Los subproductos del etanol de maíz y otros granos de cereales han sido usados por más de 100 años en la alimentación de ganado y otras especies, pero es solo en la actualidad que se dispone de grandes cantidades y a precios competitivos (Schingoethe, 2008; Rausch y Belyea, 2006).

Debido al alto contenido de fibra en los subproductos del etanol de maíz y otros granos de cereales se ha propuesto (Penner *et al.*, 2009) que estos pueden ser usados como reemplazo parcial del forraje. Sin embargo, se carece de información sobre como el uso de estos subproductos como reemplazo parcial del forraje puede afectar el ambiente ruminal de los bovinos.

Por otro lado, el destilado de yuca es el producto sólido que se obtiene mediante el secado de los residuos del proceso de obtención de etanol como biocombustible, a partir de un ingrediente rico en almidón como lo es la harina de yuca (65 – 75% almidón). La fermentación de la yuca para producir etanol produce una vinaza de la cual el destilado de yuca húmedo es obtenido por medio de la filtración y el prensado de la vinaza una vez se ha removido el etanol en las torres de destilación. Dado que la composición de nutrientes de los subproductos de la industria del bioetanol depende de la composición de la materia prima original más investigación sobre el destilado de yuca como un ingrediente potencial para ganado lechero se justifica.

En nuestro país en la era del alcohol carburante las vinazas se han tratado como un residuo líquido industrial, de ahí que algunos de sus usos tienen su origen más como alternativas de disposición final que como verdaderas alternativas de aprovechamiento, siendo su gran mayoría enfocados a explorar su uso como fertilizante (García *et al.*, 2005). Poca o ninguna información que de fe de su uso en la alimentación de ganado en nuestros sistemas de producción, lo anterior apoya la necesidad de llevar a cabo procesos de investigación para evaluar el uso potencial del destilado de yuca disponible por la industria de bioetanol, con miras a su integración a la cadena láctea, como suplemento alimenticio para reducir los costos de producción en lecherías del trópico alto de Colombia; con el fin de generar información relevante, precisa y necesaria que permita el diseño,

implementación y desarrollo de sistemas de alimentación óptimos, cuya finalidad sea mejorar la calidad producción y composición de la leche en el corto y mediano plazo.

Nuestro objetivo fue determinar la influencia sobre las principales características de la fermentación ruminal del reemplazo de forraje del pasto kikuyo por destilado y harina de yuca.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Localización

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Biotecnología Ruminal (BIORUM) de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, el cual se encuentra a una altura de 1.538 msnm y temperatura promedio de 24°C.

3.2.2 Equipo, animales y tratamientos

Se usó un fermentador de tipo semi-continuo RUSITEC (Rumen Simulation Technique), el Rusitec consta de 8 vasijas o fermentadores con un volumen efectivo de 700 ml cada uno, el procedimiento general de incubación fue el descrito por Czerkawski y Breckenridge (1977) y Kajikawa *et al* (2003).

El inoculo (líquido y sólido) fue obtenido de 4 vacas Holstein canuladas al rumen alimentadas con una dieta a base de pasto kikuyo y suplementada con un concentrado comercial y sal mineralizada a voluntad. Dicho inoculo fue transferido a los fermentadores dentro de un periodo de tiempo de aproximadamente 30 min. El flujo a través de los fermentadores se mantuvo constante por medio de la infusión continua de buffer McDougall, (McDougall, 1948) (pH=8.4), a una tasa de 3.57%/h a todos los fermentadores. Cada fermentador recibió diariamente 15.0 gramos de materia seca del correspondiente tratamiento en bolsas de nailon (52 µm tamaño de poro). Los tratamientos evaluados fueron 1) pasto kikuyo 100% (**CONTROL**); 2) Kikuyo 70% + destilado de yuca 20% + 10% harina de yuca (**DY:20**).

3.2.3 Procedimiento experimental

Se llevaron a cabo dos periodos de incubación de 7 días, los tratamientos fueron asignados aleatoriamente a los fermentados y cada tratamiento fue dado a dos fermentadores, por lo tanto cada tratamiento fue conducido por cuadruplicado. Los días 5, 6 y 7 el pH del líquido de las vasijas fue medido inmediatamente antes de la alimentación y las siguientes muestras fueron colectadas: 1 mL de líquido de cada vasija fue agregado a 1 ml de una solución fijadora metilgreen-formalina, almacenados a temperatura ambiente y protegidos de la luz para conteo de protozoos ruminales (PR). El conteo se llevó a cabo utilizando una cámara Nageotte (Blau Brand®) la cual está dotada de dos zonas de recuento, una profundidad de 0.5 mm y un volumen de 50 μ L. Los protozoos se contaron en las dos zonas de recuento de la cámara (2 veces por muestra o hasta no encontrar una diferencia de \pm 10% entre conteos) siguiendo el método descrito por Ogimoto e Imai (1981).

Efluente líquido fue colectado diariamente en frascos de desbordamiento con una solución de H₂SO₄ (20% v/v), y una alícuota de dicho efluente fue tomada y almacenada a 4°C para la determinación de amoníaco (NH₃) por destilación. Así mismo, otra alícuota de 0.8 mL del efluente fue colectada y se le agregó 0.5 mL de una solución desproteinizante y acidificante (ácido metafosfórico y ácido crotónico en HCl 0.5 N) para la determinación de la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) se usó un cromatografo de gases Shimadzu modelo GC-2014 (Shimadzu Corporation, Japón) equipado con una columna capilar de polietilenglicol Agilent HP-FFAP. Las condiciones empleadas en el proceso de separación fueron: Temperaturas: 260°C para el puerto de inyección Split (20); temperatura de detección 280°C detector FID; gas de arrastre Helio a velocidad constante (42 cm/segundo). El volumen inyectado fue 1 μ L para las muestras y los estándares, usando un automuestreador. El procedimiento de cuantificación se basa en un proceso en el que las muestras de calibración (estándares) y las muestras problemas se analizan bajo las mismas condiciones y de forma comparativa.

Una bolsa de nailon de cada vasija fue colectada diariamente, lavada dos veces con 40 mL de saliva artificial McDougall, y luego lavada en el ciclo de lavado suave (20 min) de una máquina lavadora. La desaparición de la materia seca (DMS) a 48 horas de incubación fue calculada a partir de la pérdida de peso después del secado en estufa de aire forzado a 60°C durante 48 h. Todos los residuos fueron sometidos a determinación de cenizas para determinar la degradabilidad aparente de la materia orgánica (DMO), determinación de proteína cruda previo desligado de microorganismos ruminales según el protocolo descrito por Whitehouse *et al* (1994), para la determinación de la degradabilidad de la proteína cruda (DPC), y determinación de la concentración de FDN y FDA para el cálculo de la degradabilidad de FDN (DFDN) y FDA (DFDA).

Los gases producto de la fermentación liberados en cada fermentador se recolectaron en bolsas a prueba de gas fabricadas en polivinil fluoruro (Bolsa Tedlar 5 L, Tipo A, Tokyo Deodorant Co, Japón) y el volumen se cuantificó por

medio de un gasómetro de proceso seco (Modelo DC-1C, Shinagawa Corporation, Japón), al momento de la medición, 10 mL de gas de cada bolsa fueron tomados con una jeringa y almacenados en un tubo Vacutainer® (Becton, Dickinson & Company, Franklin Lakes, NJ, EUA; www.bd.com) al vacío para posterior análisis de la concentración de metano (CH₄) por cromatografía de gases.

Para la determinación de la concentración de metano, se utilizó un cromatografo de gases (GC-2014, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japón) equipado con detector de ionización de llama (FID), una columna capilar Agilent HP-PLOT Molesieve 5Å. Las temperaturas en el puerto de inyección y el detector fueron 100 y 300°C respectivamente. Se utilizó helio UAP grado 5.0 como gas de arrastre a una velocidad lineal de 35.4 cm/seg; se utilizó un software (GC Solution, Shimadzu Corporation, Tokyo, Japón) tanto para controlar el funcionamiento del equipo como para procesar las señales generadas por el detector. El gas patrón utilizado para determinar las concentraciones de CH₄ en el gas producto de la fermentación fue una mezcla especial de metano en N con un contenido de CH₄ del 10%.

3.2.4 Análisis estadístico

Los datos relacionados con las variables de fermentación (DMS, DFDN, DFDA, DMO, DPC, pH, volumen de gas, concentración de amoníaco, número de protozoos ruminales, producción de metano y concentración de ácidos grasos volátiles) fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del programa estadístico SAS (2001) versión 9.1.3 bajo un diseño de bloques completos al azar, donde los efectos principales fueron periodo experimental (factor de bloqueo), día de medición, tratamiento y fermentador(tratamiento). Cuando se detectó un efecto significativo de los tratamientos las diferencias entre medias se compararon por medio de la prueba de la diferencia mínima significativa (LSD) a un nivel de significancia del 5% y se declararon tendencias cuando $0.05 \leq P \leq 0.10$.

3.3 Resultados

3.3.1 Composición química de los tratamientos

Los contenidos de proteína cruda, extracto etéreo, FDN, FDA y cenizas fueron levemente menores en los tratamientos donde el pasto kikuyo fue suplementado con destilado y harina de yuca, mientras que los contenidos de lignina y materia orgánica fueron mayores en dichos tratamientos. El contenido de proteína en el tratamiento experimental se redujo 18.8% y 14.04% en los pastos de alta y baja

calidad, respectivamente como consecuencia directa del reemplazo del forraje por destilado y harina de yuca los cuales presentan bajos contenidos de proteína (Tabla 3-1).

Tabla 3-1. Composición química de los tratamientos bajo estudio.

Tratamiento	P.C	E.E	FDN	FDA	LDA	CEN	M.O
	(% MS)						
<i>Kikuyo alta calidad</i>							
CONTROL	23.9	3.06	57.5	25.0	2.3	12.9	87.1
DY:20	19.4	2.94	52.0	24.1	4.2	11.0	89.0
<i>Kikuyo baja calidad</i>							
CONTROL	17.8	2.75	66.6	29.3	3.2	9.8	90.2
DY:20	15.3	2.38	58.3	28.0	5.5	9.2	90.8

PC: Proteína cruda; FDN: Fibra en detergente neutro; FDA: Fibra en detergente ácido; LDA: Lignina en detergente ácido; E.E: Extracto etéreo; CEN: Cenizas; M.O: Materia orgánica.

3.3.1.1 Kikuyo alta calidad nutritiva

La suplementación con destilado y harina de yuca ejerció un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre DMS, DMO, $N-NH_3$, pH, la población de protozoos ruminales, la producción de butirato y la relación acetato:propionato, mientras no tuvo efecto ($p > 0.05$) sobre DFDN, DFDA, DPC, AGV total, acetato, propionato, valerato e isovalerato, producción de gas y producción de metano (Tabla 3-2).

Hubo una tendencia ($p = 0.0547$) a una mayor producción de AGV total y propionato ($P = 0.0969$) en DY:20 mientras el isovalerato tendió ($p = 0.0874$) a ser menor en el mismo tratamiento con respecto a CONTROL (Tabla 2-8). DMS y DMO fueron mayores en DY:20, la población de protozoos ruminales fue 2.7 veces mayor en dicho tratamiento comparado con CONTROL, por otro lado, la concentración de $N-NH_3$ fue menor en DY:20 (22.4% menos) comparado con CONTROL, el pH fue levemente mayor en DY:20 pero se mantuvo dentro de los rangos óptimos recomendados en la literatura. La producción de butirato fue mayor en DY:20 mientras la relación acetato:propionato fue menor con respecto a CONTROL (Tabla 3-2).

Tabla 3-2. Parámetros de fermentación ruminal *in vitro* evaluados en el sistema Rusitec para el pasto Kikuyo de calidad nutritiva alta.

Parámetro	CONTROL	DY:20	p
Degradación MS (%)	60.6 b	66.5 a	0.0023
Degradación MO (%)	48.4 b	57.4 a	0.0002
Degradación FDN (%)	28.4 b	37.7 a	0.0003
Degradación FDA (%)	22.1 b	33.2 a	0.0006
Degradación PC (%)	69.9	68.1	0.2851
N-NH ₃ (mg/L)	427.8 a	331.8 b	0.0109
pH	6.83 b	6.88 a	0.0498
Protozoos ruminales (×10 ³ /mL)	1.293 b	3.510 a	0.0100
Producción de ácidos grasos volátiles			
AGV total (mmol/día)	37.47	44.43	0.0547
Acetato (mmol/día)	22.01	24.68	0.2163
Propionato (mmol/día)	9.83	11.66	0.0969
Butirato (mmol/día)	4.31 b	6.98 a	0.0243
Valerato (mmol/día)	1.03	0.88	0.2111
Isovalerato (mmol/día)	0.30	0.25	0.0874
Acetato:Propionato	2.23 a	2.13 b	0.0081
Producción gas (L/d)	2.6	2.8	0.2723
Producción de CH ₄ (mmol/día)	6.1	5.5	0.6826

^{ab} Promedios en la misma fila con letras diferentes son diferentes estadísticamente según la prueba LSD $p < 0.05$.

3.3.1.2 Kikuyo de baja calidad nutritiva

DMS, DMO, DFDN, DFDA, la población de protozoos ruminales, la concentración de butirato y la relación acetato:propionato fueron mayores ($p < 0.05$) en DY:20 y la concentración de N-NH₃ fue menor ($p < 0.05$) en dicho tratamiento. Mientras que no hubo efecto ($p > 0,05$) sobre producción de gas, producción de metano, DPC, pH, AGV total y las concentraciones molares de acetato, propionato, valerato e isovalerato. La producción total de AGV tendió a ser mayor ($p = 0.0547$) en DY20 mientras que las concentraciones molares de propionato e isovalerato tendieron a ser menores en dicho tratamiento. La concentración de N-NH₃ fue menor en DY:20 (18.0% menos) con respecto a CONTROL, mientras que la población de protozoos ruminales fue mayor en DY:20 (cerca de 2.3 veces) con respecto al mismo tratamiento, así mismo, la concentración de butirato fue mayor en DY:20 con respecto a CONTROL (Tabla 3-3).

Tabla 3-3. Parámetros de fermentación ruminal *in vitro* evaluados en el sistema Rusitec para el pasto Kikuyo de calidad nutritiva baja.

Parámetro	CONTROL	DY20	p
Degradación MS (%)	50.8 b	57.0 a	0.0088
Degradación MO (%)	36.6 b	43.7 a	0.0038
Degradación FDN (%)	21.1 b	25.7 a	0.0029
Degradación FDA (%)	14.5 b	20.4 a	< 0.0001
Degradación PC (%)	64.9	63.4	0.5499
N-NH ₃ (mg/L)	330.3 a	270.8 b	0.0002
pH	6.88	6.85	0.2681
Protozoos ruminales (×10 ³ /mL)	2.530 b	5.766 a	0.0054
Producción de ácidos grasos volátiles			
AGV total (mmol/día)	37.15	38.06	0.6965
Acetato (mmol/día)	22.21	20.95	0.4218
Propionato (mmol/día)	9.89	10.11	0.7486
Butirato (mmol/día)	4.01 b	6.11 a	0.0006
Valerato (mmol/día)	0.82	0.69	0.3798
Isovalerato (mmol/día)	0.21	0.19	0.1747
Acetato:Propionato	2.25 a	2.08 b	0.0031
Producción gas (L/d)	2.2	2.1	0.8045
Producción de CH ₄ (mmol/día)	4.2	3.5	0.5517

^{ab} Promedios en la misma fila con letras diferentes difieren estadísticamente según la prueba de LSD a $p < 0.05$.

3.4 Discusión

La DMS aumento 9.7%, con la suplementación con destilado y harina de yuca, mientras la DMO aumentó 18.6% respecto al CONTROL en el pasto kikuyo de alta calidad nutritiva, este aumento se debe a las características de alta degradabilidad del destilado y la harina de yuca, que en conjunto representaron el 30% de la materia seca total. El mismo comportamiento fue observado en el kikuyo de baja calidad nutritiva y es atribuible principalmente al mismo fenómeno. Aunque no diferente entre tratamientos la degradación de la proteína en ambos pastos fue cercana al valor máximo reportado por Correa *et al* (2008) en su revisión sobre la composición química del pasto kikuyo, sin embargo, los estimados presentados por estos autores fueron derivados mediante el uso de la técnica de la bolsa de nylon *in situ* y teniendo en cuenta que la degradación de esta fracción depende tanto la velocidad de digestión (Kd) como la velocidad de paso (Kp) (NRC, 2001). La degradación de la proteína fue mayor al valor máximo de PDR reportado para el pasto kikuyo con diferente contenido de proteína

(Correa *et al.*, 2008), sin embargo, se reconoce que existe variación en los estimados de este parámetro debido principalmente a la fertilización nitrogenada, la cual no solo aumenta el contenido de proteína del forraje sino que también modifica la composición de dicha fracción al aumentar el contenido de nitrógeno no proteico y por lo tanto el contenido de proteína degradable en rumen (Correa *et al.*, 2008) en nuestro caso aunque no se determinó el contenido de nitrógeno no proteico en los pastos empleados se considera que estos valores deben ser altos dado que estos pastos fueron recolectados en predios en los cuales la fertilización nitrogenada de las pasturas es constante y adicionalmente con edades de rebrote entre 35 y 45 días.

Las concentraciones de N-NH₃ disminuyeron significativamente al suplementar el pasto kikuyo con destilado y harina de yuca, aunque dicho efecto puede ser atribuido parcialmente a la disminución en el contenido de proteína de la dieta como consecuencia del reemplazo del pasto, esta disminución es más bien debida principalmente al aporte de energía de la harina de yuca y el destilado de yuca que promovió una mayor utilización del N-NH₃ para síntesis de proteína microbiana en ambos pastos dado que la magnitud de la disminución fue de aproximadamente 22% con respecto al pasto solo (CONTROL) y el nivel de inclusión de harina de yuca fue el mismo para DY:20 en ambos pastos (10% de la materia seca).

En este mismo experimento, Molina *et al.* (2011) evaluaron la densidad poblacional de bacterias celulolíticas mediante el recuento de UFC usando la técnica del Roll-tube y observaron un aumento significativo de bacterias celulolíticas en DY:20 sugiriendo esto que la suplementación con destilado y harina de yuca favorece el crecimiento de las bacterias celulolíticas ruminales y explicando en gran medida la disminución en la concentración de N-NH₃ observada en DY:20. Se ha propuesto que para que la producción de proteína microbiana en el rumen sea optimizada es necesario un equilibrio entre la cantidad de N y de energía disponible en el rumen (Firkins, 1996), tal equilibrio pudo ser alcanzado mediante el suministro de harina de yuca la cual es una fuente de carbohidratos rápidamente fermentables y de destilado de yuca, el cual es una fuente de fibra altamente degradable y en menor medida de almidones, azúcares y otros carbohidratos de bajo peso molecular altamente fermentables.

Por otro lado, La suplementación con destilado y harina de yuca afectó positivamente la población de protozoos ruminales en ambos forrajes, los protozoos contribuyen con cantidades significativas de productos finales de la fermentación al animal huésped (Luther *et al.*, 1966), el aumento fue mayor en el pasto kikuyo de alta calidad, la población de protozoos fue 2.7 veces mayor que en CONTROL mientras que en el kikuyo de baja calidad el incremento fue de 2.2 veces respecto a CONTROL, en ambos casos la población de protozoos aumentó al suplementar con destilado y harina de yuca, dado que los protozoos son predominantemente amilolíticos, se postula firmemente que el efecto observado

se debe al aporte de almidones proveniente de la harina de yuca y en menor medida del destilado de yuca.

Por otro lado se ha postulado que los protozoos poseen enzimas para la digestión de proteínas y carbohidratos complejos (Coleman 1983, 1985 y Forsberg *et al* 1984), efecto que no fue pronunciado en este experimento puesto que con un aumento significativo en las poblaciones de protozoos no hubo diferencias en la degradación de la proteína en ambos forrajes aunque no se puede descartar de plano su efecto dado que no se cuantificaron las demás poblaciones proteolíticas del rumen. La densidad de la población de protozoos ruminales en rumiantes alimentados con forraje más concentrado es generalmente mayor que en rumiantes alimentados solamente con forraje (Nakamura y Kanegasaki, 1969) lo cual concuerda con nuestros hallazgos en DY:20. Por otro lado, a diferencia de las bacterias, los protozoos no poseen ureasa (Onodera *et al.*, 1988) y no pueden usar urea o amoníaco para sintetizar aminoácidos (Hamali y Azizan, 2011), sin embargo, Newbold *et al.*, (2005), mostraron evidencia sugiriendo que los protozoos pueden incorporar directamente amoníaco vía glutamato deshidrogenasa, esta información al igual que los hallazgos de Molina *et al* (2011) soportan nuestros hallazgos en torno a un aumento en la población de protozoos y bacterias celulolíticas y la disminución en la concentración de N-NH₃ en el fluido ruminal en DY:20.

Las concentraciones de amoníaco en el tratamiento CONTROL, fueron altas debido a las altas tasas de degradación de la proteína y a la carencia de una fuente de energía que permitiera la utilización del amoníaco para síntesis de proteína microbial, puesto que cuando los carbohidratos son limitantes, una considerable fracción de la proteína puede ser degradada para producir energía para los microorganismos ruminales vía degradación de aminoácidos, resultando el amoníaco como un subproducto del proceso, y si las tasas de producción de amoníaco son altas, tasas de producción que pueden exceder las tasas de utilización en rumen (Hino y Russell 1987), como consecuencia de esto se presentan mayores concentraciones de este metabolito en el fluido ruminal.

La producción total de AGVs no fue afectada por la suplementación con destilado y harina de yuca, sin embargo en el pasto kikuyo de alta calidad nutritiva, hubo una tendencia a una mayor producción de AGV total y así como también de propionato en DY:20, como consecuencia de la mayor degradación de la materia orgánica en dicho tratamiento. La relación acetato:propionato se mantuvo dentro de los rangos reportados por (Blümmel *et al.*, 1999 y Brown *et al.*, 2002) en situaciones *in vitro* (2.0 - 4.1), dicha relación fue menor en DY:20 como consecuencia del mayor contenido de CNF aportados principalmente por la harina de yuca y en menor medida por el destilado de yuca, resultando en una mayor producción de propionato.

La producción de gas metano (CH₄) no fue afectada por el reemplazo del forraje con destilado y harina de yuca, lo cual está en contra posición con la mayor

degradación de la fibra en detergente neutro en DY:20 ya que se ha postulado que la digestión de la pared celular aumenta la producción de metano debido al aumento en la cantidad de acetato producido en relación al propionato (Johnson y Johnson, 1995), aunque estos mismos autores también han postulado que la fermentación de productos de destilería con fibra relativamente disponible resulta sorprendentemente en una baja producción de metano. Así mismo, Behlke (2007) encontró que el reemplazo de heno de pasto bromus por DDGS de maíz disminuyó la cantidad de CH₄ producido tanto *in vitro* como *in vivo* en ovejas atribuyendo este efecto a la menor cantidad de FDN y mayor contenido de EE de la dieta con DDGS más que al tipo de carbohidrato fermentado. En nuestro caso, aunque hubo un menor contenido de FDN en DY:20 como consecuencia de la suplementación con destilado y harina de yuca no hubo diferencias en la producción de metano, aunque numéricamente esta fue menor en dicho tratamiento. Por otro lado, Benchaar *et al* (2013) encontraron una disminución lineal en la producción de metano con el aumento de los niveles de DDGS de maíz en la dieta de vacas lactantes y asociaron este efecto con el mayor consumo de EE y menor degradación de la fibra con el aumento en los niveles de DDGS. Dado que los DDGS de maíz contienen niveles relativamente altos de grasa insaturada, al contrario del destilado de yuca, esa puede ser la razón primordial por la que la liberación de metano no fue diferente entre los tratamientos.

3.5 Conclusión

El reemplazo del forraje por destilado de yuca tuvo un efecto positivo sobre algunos parámetros de la fermentación ruminal así como también sobre algunas poblaciones de microorganismos del rumen, lo cual sugiere que este subproducto procedente de la elaboración de alcohol carburante a partir de la yuca puede ser potencialmente empleado como suplemento alimenticio para el ganado lechero siempre y cuando esté acompañado de una fuente energética.

Literatura citada

- Applegate, T. J., Latour, M., Ileleji, K. E., Hoffstetter, U., y Rodrigues, I. 2008. Nuevas perspectivas en el uso de co-productos de la industria del bioetanol en la fabricación de piensos. XXIV Curso de Especialización FEDNA: AVANCES EN NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Eds.: P.G.A. Rebollar, C. de Blas y G.G. Mateos. Madrid, España.
- Behlke, E.J., Klopfenstein, T, J., Sanderson, T., y Miner, J.L. 2007. Replacement of forage with dried distillers grains reduces ruminal methane production.

- Nebraska Beef Cattle Reports 62. P 19 – 21. [en línea]. <<http://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/62>>. [Citado el 30 de abril de 2013].
- Benchaar, C., Hassanat, F., Gervais, R., Chouinard, P. Y., Julien, C., Petit, H. V., y Massé, D. I. 2013. Effects of increasing amounts of corn dried distillers grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96 :2413–2427.
- Blümmel, M., Aiple, K.-P., Steingass, H., Becker, K., 1999. A note on the stoichiometrical relationship of short chain fatty acid production and gas evolution *in vitro* in feedsstuffs of widely differing quality. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 81, 157–167.
- Brown, V.E., Rymer, C., Agnew, R.E., Givens, D.I., 2002. Relationship between *in vitro* gas production profiles of forages and *in vivo* rumen fermentation patterns in beef steers fed those forages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 98, 13–24.
- Coleman, G. S. 1983. Hydrolysis of Fraction 1 leaf protein and casein by rumen entodiniomorphid protozoa. *J. Appl. Bacteriol.* 55 : 111.
- Coleman, G. S. 1985. The cellulose content of 15 species of entodiniomorphid protozoa, mixed bacteria and plant debris isolated from the ovine rumen. *J. Agr. Sci. (Camb.)* 104:349.
- 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.
- Czerkawski, J. W. y Breckenridge, G. 1977. Design and development of a long-term rumen simulation technique (Rusitec). *British Journal of Nutrition*, 38, pp 371-384
- Firkins, J.L. 1996. Maximizing microbial protein syntesis in the rumen. *Journal of Nutrition*, v.126 (suplemento), p.1347s-1354s.
- Forsberg, C. W., Lovelock L.K.A, Krumholz, L y Buchanan-Smith J.G. 1984. Protease activities of rumen protozoa. *Appl. Environ. Microbiol.* 39:233.
- García, A y Rojas, C. 2005. Posibilidades de uso de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos. *Tecnicaña, Revista No. 17 Volumen 9: 3 – 13.*

- Hamali, Y., y Azizan, A. R. 2011. Influence of diets supplemented with different nitrogen sources on rumen microbial protein synthesis and protozoa numbers in steers. *Mal. J. Anim. Sci.* 14:31-41 (2011).
- Hino, T., y Russell, J. B. 1987. Relative contributions of ruminal bacteria and protozoa to the degradation of protein *in vitro*. *J. Anim. Sci.* 64:261-270.
- Johnson, K. A y Johnson, D. E. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 1995. 73:2483-2492.
- Kajikawa H, Jin Hai, Terada F, Suga T. 2003. Operation and characteristics of newly improved and marketable artificial rumen (Rusitec). *Memoirs of National Institute of Livestock and Grassland Science* 2, 1–49.
- Luther, R., Trenkle, A y Burroughs, W. 1966. Influence of rumen protozoa on volatile acid production and ration digestibility in lambs. *J. Anim. Sci.* 25:1116–1122.
- McDougall E. I. 1948. Studies on ruminant saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. *Biochemistry J* 1948; 43:99-109.
- Molina, L. P., Giraldo, L. A., Polanco, D. N., y Gutiérrez, L. A. 2011. Densidad poblacional de bacterias celulolíticas ruminales al suplementar dietas forrajeras de clima frío (*Pennisetum clandestinum*) con harina de yuca y biomasa efluente de la producción de bioetanol, en el simulador de Rumen- RUSITEC. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2011; 24:3 p 469.
- Nakamura, F. and S. Kanegasaki. 1969. Densities of ruminal protozoa of sheep established under different dietary conditions. *J. Dairy Sci.* 52:250-255.
- Newbold, C. J., Lopez, S., Nelson, N., Ouda, J. O., Wallace, R. J., y Moss, A. R. 2005. Propionate precursors and other metabolic intermediates as possible alternative electron acceptors to methanogenesis in ruminal fermentation *in vitro*. *Br. J. Nutr.* 94: 27–35.
- Ogimoto. K. e Imai. S. 1981. Atlas of rumen microbiology. Japan Scientific Press, Tokyo, p. 231, 1981.
- Onodera R., N. Yamasaki and K. Murakami. 1988. Effect of inhibition by ciliate protozoa on the digestion of fibrous materials *in vivo* in the rumen of goats and in an *in vitro* rumen microbial ecosystem. *Agric. Biol. Chem.* 52: 2635–2637.

- Penner, G.B., Yu, P. y Christensen, D.A. 2009. Effects of replacing forage or concentrates with wet or dry distillers' grains on the productivity and chewing activity of dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 153: 1–10.
- Rausch, K. D. y Belyea, R. L. 2006. The future of coproducts from corn processing. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 128:47-86.
- SAS Institute Inc. (2002–2003). Versión 9. SAS/STAT User's Guide. Cary, NC, USA.
- Schingoethe, D. J. 2008. Use of Distillers Co-products in diets fed to dairy cattle. En: *Using Distillers Grains in the U.S. and International Livestock and Poultry Industries*. Edited by Bruce A. Babcock, Dermot J. Hayes y John D. Lawrence. Published by the Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center at the Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University, Ames, Iowa, U.S.A.
- Whitehouse, N. L., Olson, V. M., Schwab, C. G., Chesbro, W. R., Cunningham, K. D. y Lykos, T. 1994. Improved Techniques for Dissociating Particle-Associated Mixed Ruminal Microorganisms from Ruminal Digesta Solids. *J. Anim. Sci.* 1994. 72:1335-1343.

4. Capítulo 4. Efecto de la suplementación con destilado de yuca sobre la producción y composición de la leche en un sistema de producción especializado de Antioquia

W García¹ y L A Giraldo^{1,2}

¹ Grupo de investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo BIORUM. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. wdgarcia@unal.edu.co

² Profesor Titular. Departamento de producción Animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. conisilvo@une.net.co

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del remplazo parcial de un concentrado o suplemento alimenticio comercial por destilado de yuca proveniente de la fermentación (DY) sobre la producción y composición de la leche, consumo de materia seca del forraje (CMSf) y costos de producción por litro de leche en un sistema de producción lechera de Antioquia. Seis (6) vacas Holstein multíparas fueron asignadas aleatoriamente a uno de dos tratamientos en un diseño cross-over. La dieta control (T0) fue una dieta usada en la Universidad Nacional de Colombia la cual consta de pastoreo de la gramínea kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) a voluntad, suplementada con 4 a 6 Kg de un concentrado comercial y sal mineralizada a voluntad. Para determinar el efecto del remplazo parcial del concentrado se agregó DY como reemplazo del 20% de dicho concentrado al momento de la suplementación diaria de las vacas (T1). Los resultados muestran, que la producción de leche no fue afectada por el remplazo del concentrado por DY (20.6 vs 21.2 litros/día) para T0 vs T1, así mismo, la composición de la leche no fue afectada por el nivel de remplazo del concentrado por DY, % grasa (3.49 vs 3.39%), % proteína (2.82 vs 2.83%), % sólidos no

grasos (7.80 vs 7.83%), % lactosa (4.40 vs 4.42), % minerales (0.68 vs 0.68) y densidad (1.028 vs 1.028) para T0 vs T1, respectivamente. CMSf tampoco fue afectado por el nivel de remplazo del concentrado por destilado de yuca (11.88 vs 12.90 kg MSf/día). Los costos de producción fueron mayores en T1 (1.015 \$/litro) mientras que la relación beneficio:costo fue menor en dicho tratamiento (1.0). Estos resultados indican que el destilado de yuca es una buena fuente de energía digerible para vacas lecheras y que puede reemplazar efectivamente el 20% de un concentrado comercial sin afectar negativamente la producción de leche, su composición y el consumo de materia seca del forraje. Los altos costos de producción y la pobre relación beneficio:costo obtenidos en el tratamiento con DY son una consecuencia de la experimentalidad del proceso de elaboración del bioetanol a nivel de planta piloto ya que tanto la obtención del DY húmedo como el proceso de secado deben hacerse manualmente y empleando equipos adicionales, lo cual aumenta ostensiblemente el costo de obtención de un kilogramo de DY seco. En el futuro a escala de producción industrial con un proceso de producción de bioetanol a partir de la yuca optimizado para la obtención de co-productos con alto valor agregado se podría obtener un DY a un precio más competitivo.

Palabras clave: Rumiantes, destilado de yuca, kikuyo, consumo de forraje.

Effect of supplementation with cassava distillate on the production and composition of milk in a specialized production system of Antioquia

Abstract

The aim of this study was to determine the effect of partial replacement of a concentrate or commercial feed supplement by cassava distillate (DY) from fermentation on milk production and composition, dry matter intake of forage (CMSf) and production costs per liter of milk in a dairy production system of Antioquia. Six (6) multiparous Holstein cows were randomly assigned to one of two treatments in a crossover design. The control diet (T0) was a diet used in the National University of Colombia which consists of grazing kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) *ad libitum*, supplemented with 4-6 kg of a commercial concentrate and mineralized salt *ad libitum*. To determine the effect of the partial replacement of the concentrate was DY added as a replacement of 20% of said concentrate at the time of daily supplementation of cows (T1). The results show that milk production was not affected by the replacement of concentrate by DY (20.6 vs 21.2 liters / day) for T0 vs T1 , also, the composition of the milk was not

affected by the replacement level of the concentrate by DY, % fat (3.49 vs. 3.39 %) , % protein (2.82 vs. 2.83 %) , % nonfat solids (7.80 vs. 7.83 %) , % lactose (4.40 vs. 4.42) , % minerals (0.68 vs 0.68) and density (1,028 vs. 1,028) for T0 vs T1 , respectively . CMSf was not affected by the level of concentrate replacement by cassava distillate (11.88 vs 12.90 kg MSf / day). Production costs were higher in T1 (\$ 1,015 / liter) while the profit:cost was lower in this treatment (1.0) . These results indicate that the distillate of cassava is a good source of digestible energy for dairy cows and can effectively replace 20% of a commercial concentrate without negatively affecting milk production, composition and dry matter intake of forage. The high production costs and poor relationship profit:cost obtained in the treatment with DY are a consequence of the experimental nature of the production process of bioethanol in pilot plant as both obtaining DY wet and drying process should be done manually and using additional equipment, which significantly increases the production cost of one kilogram of dry DY . In the future scale industrial production process of bioethanol production from cassava must be optimized to obtaining byproducts with high added value and obtain a DY to a more competitive price.

Keywords: Ruminants, cassava distillate, kikuyu grass, forage intake

4.1 Introducción

El Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010, estableció que el Gobierno Nacional promovería la competencia en el mercado de biocombustibles e identificó a los mismos como uno de los productos de alto valor, con los cuales se podría diversificar la producción agropecuaria y conquistar nuevos mercados.

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural ha priorizado la inversión en proyectos de investigación en el campo de los biocombustibles, con el objetivo de mejorar la productividad actual y además, evaluar la eficiencia de diferentes materias primas alternativas como la yuca, entre otras así como también investigar procesos más limpios y eficientes para la producción de etanol y biodiesel y la utilización de los subproductos del proceso.

Por otro lado, Colombia registra costos de producción por litro de leche en finca muy superiores a los de los mayores productores mundiales de leche y de algunos países de América Latina, presentando diferencias en los costos según la región y el sistema de producción (Conpes 3675 de 2010). En lechería especializada o de la zona Andina Colombiana, los gastos de alimentación y manejo de las pasturas, tienen una participación importante debido al uso de suplementos alimenticios, y a la fertilización de las pasturas, por esta razón para mejorar la competitividad del sector lácteo se ha propuesto incrementar la productividad y disminuir los costos de producción del eslabón primario de la

cadena láctea mediante la incorporación de avances tecnológicos e implementación de procesos productivos innovadores (Conpes 3675 de 2010).

El destilado de yuca es el producto sólido que se obtiene mediante el secado de los residuos del proceso de obtención de etanol como biocombustible, a partir de un ingrediente rico en almidón como lo es la harina de yuca (65 – 75% almidón). La fermentación de la yuca para producir etanol produce una vinaza de la cual el destilado de yuca húmedo es obtenido por medio de la filtración y el prensado de la vinaza una vez se ha removido el etanol en las torres de destilación. Dado que la composición de nutrientes de los subproductos de la industria del bioetanol depende de la composición de la materia prima original más investigación sobre el destilado de yuca como un ingrediente potencial para ganado lechero se justifica.

No existe en nuestro país información alguna sobre el uso de los subproductos de la industria del alcohol carburante en la alimentación de rumiantes y su impacto sobre la producción y calidad composicional de los productos obtenidos. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del remplazo parcial de un concentrado comercial por destilado de yuca proveniente de la fermentación de harina de yuca para producir etanol sobre la producción y calidad composicional de la leche en un sistema de producción lechera en Antioquia.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Localización

El experimento se llevó a cabo en el Centro Agropecuario Paysandú, propiedad de la Universidad Nacional de Colombia, el cual se encuentra ubicado en el corregimiento de Santa Elena, 16 km al oriente de Medellín, cuenta con una extensión de 140 hectáreas, zona de vida bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) (Espinal, 1992), con una temperatura media de 14°C, a una altura de 2.600 m.s.n.m y una precipitación media de 2.500 mm. al año. Los suelos son de textura Franco-arenosa, con pH 5.7, materia orgánica 21%, y contenido de fósforo 19 ppm.

4.2.2 Diseño experimental

Seis vacas Holstein multíparas fueron usadas en este estudio, las cuales promediaron 81 ± 25 días en lactancia, 2.5 ± 0.84 partos y 507.9 ± 31.4 kg de peso vivo. Estos animales, fueron mantenidos bajo condiciones de pastoreo en pasturas de la gramínea kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) con aproximadamente

45 días de rebrote y suministro de sal mineralizada a voluntad. Las vacas fueron ordeñadas en una sala dotada con un equipo de ordeño mecánico dos veces al día a intervalos de aproximadamente 12 horas.

Se usó un diseño cross-over simple con dos periodos de 14 días, cada periodo de 14 días consistió de 7 días de adaptación y 7 días de medición. Los tratamientos consistieron de una dieta control a base de pasto kikuyo y concentrado comercial (T0) o una dieta experimental a base de pasto kikuyo, concentrado comercial y destilado de yuca reemplazando el 20% del concentrado según la programación del suplemento de cada animal (T1). La composición de nutrientes del forraje de pasto kikuyo, del concentrado comercial y del destilado de yuca se presenta en la tabla 4-1.

Tabla 4-1. Composición química del pasto kikuyo y los suplementos empleados en el experimento.

Componente	Kikuyo	Destilado de yuca	Concentrado
Proteína cruda (%)	19.6	12.2	20.4
Fibra en detergente neutro (FDN) (%)	66.8	50.9	31.2
Fibra en detergente ácido (FDA) (%)	28.0	42.5	11.2
Extracto etéreo	2.6	2.0	4.3
Lignina (%)	3.1	16.6	2.9
Cenizas (%)	9.7	11.1	12.0
Materia orgánica (%)	90.3	88.9	88.0
DIVMS (%)	57.6	74.6	73.6
Energía bruta (Mcal/kg MS)	-	4.4	4.6
Azufre (%)	-	0.07	-
Calcio (%)	-	0.72	-
Cobre (mg/kg)	-	18.09	-
Fósforo (%)	-	0.46	-
Hierro (mg/kg)	-	622.6	-
Magnesio (%)	-	0.24	-
Manganeso (mg/kg)	-	50.6	-
Potasio (%)	-	3.0	-
Sodio (%)	-	0.47	-
Zinc (mg/kg)	-	39.9	-

4.2.3 Recolección de datos y muestras

La producción de leche fue registrada diariamente en cada ordeño durante el periodo de medición por medio de un medidor de flujo presente en cada puesto de ordeño. Muestras de leche representativas de la producción total fueron colectadas en cada ordeño por medio de un medidor de leche Waikato Mk V Milk

Meter, adaptados a cada uno de los puestos de ordeño de la sala y conservadas refrigeradas hasta su análisis.

Diariamente durante el periodo de medición se recolectaron muestras del forraje consumido por los animales simulando el pastoreo selectivo por medio de la metodología "Hand Pluck" propuesta por Euclides *et al.*, (1962), luego fueron mezcladas en iguales proporciones por periodo y animal, molidas a través de una criba de 1 mm en un molino de impacto de palas (Retsch SK100 Standard, Retsch GmbH and Co, Haan, Alemania) y analizadas para su composición química.

Para la determinación del consumo de alimento se usó cromo (Cr_2O_3) como marcador indigerible externo para determinar la producción de heces, diariamente durante el periodo de adaptación se suministraron 10 gramos de óxido de cromo verde por animal mezclados en el suplemento, divididos en dos ofertas (am y pm), luego durante los 7 días de medición se colectaron muestras de heces (am y pm), Las muestras de cada animal correspondientes a todos los días fueron mezcladas para obtener una muestra compuesta y posteriormente fueron congeladas a $-4\text{ }^\circ\text{C}$. Luego fueron secadas en estufa de aire forzado a $60\text{ }^\circ\text{C}$, durante 48 horas y molidas por medio de una criba de 1.0 mm en un molino de impacto de palas (Retsch SK100 Standard, Retsch GmbH and Co, Haan, Alemania) y almacenada para posterior análisis del contenido de cromo por espectrofotometría de absorción atómica.

4.2.4 Estimación del consumo de materia seca

La estimación del consumo se basó en la medición de la producción diaria de heces y la digestibilidad del forraje (Reid, 1952) usando la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Producción de heces}}{100 - \text{Digestibilidad}} \times 100$$

La producción de heces (kg/día) se determinó según la ecuación descrita por Lippke (2002).

$$\text{P.H} = \frac{\text{Cr dosificado en alimento (gr/d)}}{\text{Concentración Cr en heces (g/d)}} \times \text{T.R}$$

Donde:

TR: es la tasa de recuperación del marcador (Cr) que se asumió como 79.4% (Correa *et al.*, 2009)

La digestibilidad del forraje y el suplemento se determinó utilizando la fibra en detergente ácido indigerible (FDAi) como marcador interno asumiendo un porcentaje de recuperación del 80% (Sunvold y Cochran, 1991), FDAi del forraje y los suplementos se estimó *in vitro* de la siguiente forma: se tomaron aproximadamente 0.5 g de las muestras de pasto, suplementos y heces y se sometieron a una prueba de digestibilidad *in vitro* a 144 horas de incubación, por duplicado en un incubador DAISY^{II} siguiendo el protocolo descrito por el fabricante del equipo para la determinación de la DIVMS, pasado este tiempo se retiraron las bolsas del incubador, se lavaron en un ciclo corto en una maquina lavadora y se secaron en estufa de aire forzado a 60°C durante 48 horas, luego se sometieron a determinación del contenido de FDA por el método de Goering y Van Soest (1970), el valor obtenido correspondió a FDA indigerible del forraje (FDAif), FDA indigerible del suplemento (FDAis) o FDA indigerible de las heces (FDAih), según corresponde. La digestibilidad de la materia seca se calculó entonces mediante la siguiente fórmula (Lippke, 2002):

$$\text{Digestibilidad MS (\%)} = \left[1 - \frac{\% \text{FDA}_{if}}{\% \text{FDA}_{ih}} \right] \times 100$$

Finalmente, para el consumo de materia seca del forraje (CMSf) se utilizó la ecuación propuesta por Carulla (comunicación personal) utilizando los datos estimados de producción de heces (PH), usando Cr como marcador y los de FDAi obtenidas *in vitro* así:

$$\text{CMSf}_{(\text{kg/vaca/día})} = \frac{([\text{FDAih}] \times (\text{PH}/0.8)) - ([\text{FDAis}] \times \text{CMSs})}{[\text{FDAif}]}$$

Donde FDAih es el porcentaje de FDAi en las heces, 0.8 es la tasa de 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 y CMS del suplemento también se expresaron como porcentaje del PV de las vacas. El CMS total (CMSt) se calculó como la suma del CMSf y el CMS del suplemento y también se expresó como porcentaje del peso vivo de las vacas.

4.2.5 Análisis químicos

Todas las muestras de forrajes y suplementos fueron molidas a través de una criba de 1 mm en un molino de impacto de palas; los siguientes análisis químicos fueron hechos por duplicado: contenido de proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), lignina (LDA), extracto etéreo (E.E), cenizas (Cen), materia orgánica (M.O) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS).

El contenido de proteína cruda fue determinado según el procedimiento Kjeldahl asumiendo que el contenido promedio de nitrógeno en las proteínas es 16% (AOAC, 1990). El contenido de FDN y FDA fue determinado usando un analizador de fibra ANKOM²⁰⁰ (Ankom Technology Corporation, Macedon, NY. EUA) hirviendo las muestras en una solución de detergente neutro o ácido seguido por filtración (Goering y Van Soest, 1970).

El contenido de LDA fue determinado por medio de digestión en una solución de ácido sulfúrico (72% v/v) durante tres horas del residuo de la determinación de FDA. El E.E fue determinado por el método Soxhlet usando un extractor de grasa ANKOM XT15 y éter de petróleo como solvente. El contenido de cenizas se determinó por medio de la combustión de una muestra de forraje en una mufla a 500°C durante 4 horas y la materia orgánica como 100-%cenizas. Finalmente para la DIVMS se usó el sistema *in vitro* DAISY^{II} (Ankom Technology Corporation, Macedon, NY. EUA) y se siguió el protocolo recomendado por el fabricante del equipo para dicha determinación.

Las muestras de leche tomadas en cada ordeño, fueron analizadas para grasa, proteína, lactosa, sólidos no grasos, densidad y sólidos minerales usando un analizador ultrasónico de leches Lactoscan marca Boeco modelo 60 (Boeckel + Co, GmbH + Co, Alemania).

4.2.6 Análisis estadístico

El análisis estadístico de las variables producción y composición de la leche se llevó a cabo usando el procedimiento PROC MIXED de SAS (2001). El modelo incluyo los efectos fijos de tratamiento, día de medición, la interacción tratamiento x día y los efectos aleatorios de periodo, vaca y vacaxperiodo(tratamiento). La significancia estadística fue declarada cuando $p \leq 0.05$. Los valores se reportaron como medias de mínimos cuadrados. Por otro lado, el consumo de materia seca total y del forraje se analizó por medio del procedimiento GLM de SAS (2001)

bajo un diseño de cuadrado latino (cross-over) que incluyó los efectos fijos de periodo, vaca y tratamiento como fuentes de variación, la significancia estadística fue declarada cuando $p \leq 0.05$.

4.3 Resultados

4.3.1 Composición química de la dieta

La composición de nutrientes del forraje y los suplementos empleados se encuentra en la Tabla 4-1. Se evidencia, como el reemplazo del 20% del concentrado por destilado de yuca resultó en una disminución en el aporte de proteína en la dieta experimental (T1) debido al menor contenido de proteína del destilado de yuca comparado con el concentrado, el pasto kikuyo y el destilado de yuca presentaron valores semejantes de contenido de extracto etéreo.

4.3.2 Producción, calidad composicional de la leche y consumo de materia seca

La Tabla 4-2, muestra que la sustitución parcial del concentrado por destilado de yuca no afectó ($p = 0.3370$), la producción diaria de leche, aunque numéricamente la producción de leche fue mayor en el tratamiento con destilado de yuca (21.2 vs 20.6 litros/día). Con respecto a la composición de la leche, tampoco se detectó un efecto del remplazo parcial del concentrado por destilado de yuca, el contenido de grasa tendió a ser 0.1 unidades porcentuales más bajo ($p = 0.1068$) en el tratamiento con destilado de yuca, los contenidos de proteína, sólidos no grasos, lactosa, minerales y densidad no fueron diferentes estadísticamente.

El consumo de materia seca del forraje de pasto kikuyo expresado como kg/día o Kg MS/100 kg PV, no se vio afectado ($p > 0.05$) por el remplazo parcial del concentrado por destilado de yuca, aunque numéricamente este fue mayor en el tratamiento con este subproducto, tanto para el consumo de materia seca de forraje de pasto kikuyo como para el consumo de materia seca total (Tabla 4.2).

4.3.3 Evaluación económica

Los costos de producción por litro de leche (representados por mano de obra, alimentación, manejo de praderas, insumos de sanidad e inseminación, insumos

de aseo, amortización de animales y depreciación de instalaciones y equipos) fueron 16.8% mayores en el tratamiento con destilado de yuca mientras que los ingresos por venta de leche fueron en promedio 2.5% superiores en este mismo tratamiento debido a un leve incremento en la producción diaria de leche (0.6 litros/día). Por otro lado, la relación beneficio:costo fue un 20% mayor en el tratamiento control (1.2) comparado con el tratamiento con destilado de yuca (1.0), (Tabla 4-2).

Tabla 4-2. Producción, composición de la leche, consumo de MS y análisis económico de vacas Holstein alimentadas con una dieta tradicional (T0) y una dieta con destilado de yuca reemplazando el 20% del concentrado comercial (T1).

Parámetro	Tratamiento		p
	T0	T1	
Producción de leche (litros/día)	20.6	21.2	0.3370
Composición de la leche			
Grasa (%)	3.49	3.39	0.1068
Proteína (%)	2.82	2.83	0.5032
Sólidos no grasos (%)	7.80	7.83	0.4328
Lactosa (%)	4.40	4.42	0.3810
Minerales (%)	0.68	0.68	0.6206
Densidad (g/cm ³)	1.028	1.028	0.3782
Consumo de materia seca (Kg/día)			
Kikuyo	11.88	12.90	0.5344
Suplemento	6.83	6.83	—
Total	18.72	19.73	0.5344
Kikuyo (Kg/100 Kg PV/día)	2.35	2.57	0.5994
Suplemento (Kg/100 Kg PV/día)	1.37	1.35	0.8416
Total (Kg/100 Kg PV/día)	3.72	3.88	0.7083
Evaluación económica			
Costo de producción (\$/litro)	869	1.015	—
Ingresos por venta de leche (\$)	451.082	462.431	—
Precio pagado/litro leche (\$)	1.041	1.041	—
Relación Beneficio:Costo	1.2	1.0	—

4.4 Discusión

La producción de leche fue la misma con o sin reemplazo parcial del concentrado por destilado de yuca. Son varias las razones que explican este resultado, (1) el bajo nivel de inclusión de destilado de yuca dentro de la dieta total y (2) el consumo de materia seca en ambos tratamientos fue similar. En cuando a la primera opción el nivel de inclusión de destilado de yuca dentro de la materia seca total fue en promedio de 6.9%, resultados similares fueron reportados por Kalscheur *et al.* (2005) para un nivel de inclusión de DDGS entre 4% y 30% de la

materia seca de la dieta. Recientemente Penner *et al* (2009) evaluaron la sustitución parcial del concentrado en una dieta TMR por 10% DDGS de maíz y no encontraron efecto sobre la producción de leche. Por el contrario, otros autores como Anderson *et al.*, (2006); Kleinschmit *et al.*, (2006); Janicek *et al.*, (2008) y Benchaar *et al.*, (2013), han reportado un efecto positivo de la inclusión de DDGS sobre la producción de leche, sin embargo en los trabajos de Anderson *et al* (2006) y Kleinschmit *et al.* (2006) la mayor producción de leche se debió a una mayor densidad energética de las dietas que contenían DDGS mientras que en los trabajos de Janicek *et al* (2008) y Benchaar *et al* (2013) se debió a diferencias en el consumo de materia seca y energía.

Tanto el consumo de materia seca total como el de forraje no fueron afectados por el reemplazo parcial del concentrado por destilado de yuca, dichos valores fueron semejantes a los reportados por Correa *et al* (2009) para vacas Holstein en la misma finca utilizando óxido de cromo como marcador interno. Resultados similares sobre el consumo de materia seca fueron obtenidos por Anderson *et al.* (2006) con niveles de inclusión de DDGS de maíz de 10% y 20% de la materia seca total, Kleinschmit *et al.* (2006) evaluando varias fuentes de DDGS a un 20% de inclusión y Penner *et al.* (2009) reemplazando el 10% del concentrado por DDGS de maíz en una dieta TMR.

En cambio, Janicek *et al* (2008) y Benchaar *et al* (2013) encontraron un aumento lineal en el consumo de materia seca (CMS), con el aumento en el nivel de inclusión de DDGS en la dieta (0%, 10%, 20% y 30%), sin embargo en estos últimos trabajos la diferencia entre el CMS del tratamiento control y el 10% DDGS fue de solamente 1 kg (21.4 vs 22.4 y 23.4 vs 24.4) y no se compararon estadísticamente. Por otro lado, Birkelo *et al.* (2004) reportaron una disminución del 11% en el consumo de materia seca cuando se incluyeron granos de destilería de maíz húmedos a razón del 31% de la materia seca dietaria en la dieta de vacas lecheras reemplazando maíz y torta de soya. Las diferencias en el consumo de materia seca en respuesta al suministro de DDGS entre experimentos pueden estar relacionadas con las condiciones experimentales tales como el nivel de inclusión de DDGS de maíz, el tipo de alimento de la dieta basal (forraje o concentrado, o ambos) que es reemplazado por granos de destilería y la forma en que se suministra este subproducto (seco o húmedo). A este respecto, Kleinschmit *et al.* (2007) mostraron que la degradabilidad ruminal y la digestibilidad intestinal difieren ampliamente entre fuentes de DDGS, lo cual refleja una gran variación en la calidad de los mismos que puede explicar la variación en el consumo de materia seca entre experimentos.

Estudios anteriores también han demostrado que bajos niveles de inclusión de DDGS no afectan el consumo de materia seca (Anderson *et al.*, 2006, Leonardi *et al* 2005). Posteriormente, Greter *et al* (2008) reportaron que el tipo de DDGS incluidos a razón del 20% de la materia seca no afectó el CMS o la producción y composición de la leche.

En otro trabajo realizado por Al-Suwaiegh *et al.* (2002), compararon la inclusión de granos de destilería de sorgo húmedos o secos como remplazo parcial del concentrado y encontraron que el tipo de granos del destilado no afectó el CMS o el desempeño de la lactancia, cuando se incluyeron en la dieta a razón del 15% (en base seca). Basados en los resultados de este estudio y estudios del pasado con DDGS, parece ser que el destilado de yuca puede reemplazar parcialmente el concentrado dietario sin afectar el desempeño animal. Adicionalmente, aunque el destilado de yuca y los DDGS difieren en su composición química, el tipo de DDG no afecta el desempeño animal.

La composición de la leche (% grasa, % proteína y % lactosa) tampoco fue afectada por el remplazo parcial del concentrado por destilado de yuca, esto es explicado por la igualdad en el consumo de materia seca y el bajo nivel de inclusión de destilado de yuca dentro de la dieta total. Según Shingoethe *et al.* (2009) usualmente la composición de la leche no es afectada por el suministro de DDGS en las dietas del ganado lechero a menos que las recomendaciones de formulación no se sigan, esto es no suministrar las cantidades recomendadas de fibra, proteína y grasa, principalmente. Resultados similares fueron reportados por Anderson *et al.* (2006), Janicek *et al.* (2008) y Penner *et al.* (2009). Por el contrario, Benchaar *et al.* (2013) encontraron un aumento lineal en la producción de leche con el aumento en el nivel de inclusión de DDGS en la dieta de vacas lactantes, alcanzando la máxima producción con un DDGS incluidos a razón del 30% de la MS dietaria, estos autores atribuyeron dicho incremento en la producción de leche a los mayores consumos de materia seca y energía en las vacas alimentadas con DDGS en comparación con las vacas alimentadas con 0% DDGS.

Así mismo, Benchaar *et al.* (2013) encontraron una disminución lineal en los porcentajes de grasa y proteína con el aumento en los niveles de inclusión de DDGS en la dieta de vacas lecheras. Ellos atribuyeron la disminución en el contenido de grasa con una disminución de la proporción molar de acetato en rumen y a una alteración ruminal del metabolismo de lípidos que resultó en la formación de intermediarios específicos de la biohidrogenación de la vía *trans-10* que directamente inhibe la síntesis de grasa láctea (Bauman y Griinari, 2001). Por otro lado, estos autores observaron un aumento en la producción (kg/día) de proteína de la leche y atribuyeron este efecto a un mayor suministro de aminoácidos debido al aumento en el consumo de N junto con un aumento en la digestibilidad de la proteína o a una reducción en la degradación de la proteína en el rumen reflejada por la reducción en la concentración en rumen de N-NH₃, las proporciones molares de los ácidos grasos de cadena ramificada, población de protozoos y a la degradabilidad efectiva de la torta de soya.

De acuerdo a la revisión de Shingoethe *et al.* (2009) la adición de DDGS de maíz a las dietas del ganado lechero mejoró o no tuvo efecto sobre los parámetros de producción de leche. Los trabajos de Janicek *et al.* (2008) y Hollmann *et al.* (2011) mostraron que la producción de leche de vacas lecheras de alta producción en los dos primeros tercios de la lactancia responde

positivamente a la incorporación de granos de destilería en sus dietas, mientras que las vacas de baja producción en el último tercio de la lactancia no muestran esta respuesta. Debido al bajo nivel de inclusión de destilado de yuca en las dietas de las vacas empleadas en este estudio, no fue posible observar este efecto, sin embargo la producción de leche aumentó 0.6 litros en las vacas suplementadas con destilado de yuca (T1).

Por otro lado en un estudio de meta-análisis, Hollmann *et al.* (2011) reportaron que el efecto negativo de los DDGS de maíz sobre la concentración de grasa en la leche ocurre más probablemente cuando la concentración de grasa de la leche de vacas alimentadas con la dieta control es mayor a 3.6%, esto soporta gran parte de nuestros hallazgos pues las vacas alimentadas con la dieta control (T0) presentaron un promedio de contenido de grasa de la leche de 3.49%, levemente inferior al valor señalado por estos autores.

Los datos obtenidos indican que el destilado de yuca usado en este estudio suministró una cantidad similar de energía metabolizable y proteína a la del concentrado que reemplazo. No obstante, se requieren más estudios para caracterizar la fermentación ruminal y el flujo de proteína metabolizable al intestino delgado cuando el destilado de yuca reemplaza el concentrado comercial en dietas para ganado lechero.

Los costos de producción por litro de leche (representados por mano de obra, alimentación, manejo de praderas, insumos de sanidad e inseminación, insumos de aseo, amortización de animales y depreciación de instalaciones y equipos) fueron mayores en T1 debido al elevado costo de obtención del destilado de yuca empleado como sustituto parcial del concentrado. Dicho costo se debe a la experimentalidad del proceso de obtención de bioetanol a partir de la yuca a nivel de planta piloto, pues no se cuenta con un sistema de filtrado y secado del destilado acoplado al proceso de la obtención del bioetanol como si ocurre en el proceso de obtención de bioetanol a partir del maíz y otros cereales a escala industrial. Para obtener el destilado de yuca seco es necesario filtrar el residuo del destilador manualmente, luego secarlo en un horno de aire forzado y finalmente molerlo para obtener una granulometría fina, en cada uno de estos pasos se requiere el uso de mano de obra costosa y equipos, lo cual sumado al bajo contenido de materia seca del destilado de yuca húmedo (10%), resulta en un costo estimado por kilogramo de \$ 3.676, sin embargo a pesar de esta desventaja, la relación beneficio:costo en ambos tratamientos fue muy similar (1.2 vs 1.0), demostrando que si las condiciones de obtención del destilado de yuca se optimizan a nivel de la planta de producción del etanol se podría incluso mejorar dicha relación y por ende la rentabilidad de la producción de leche y la economía de las explotaciones lecheras que empleen el destilado de yuca como remplazo del concentrado.

Así mismo, los costos de producción por litro de leche fueron mayores a los estimados por Henao (2011) para diferentes fincas en el norte y oriente de

Antioquia en T1, mientras que T0 tuvo un valor cercano al máximo reportado por este autor (\$ 954/litro). Los costos de producción varían entre fincas debido a las diferencias en la intensidad del uso de insumos, la productividad de los animales y el costo de la mano de obra, entre otros. En el caso particular de la finca Paysandú, donde se llevó a cabo este experimento, la mano de obra es un componente muy importante dentro de los costos de producción, así como también el uso de maquinaria para el ordeño y las prácticas de mantenimiento de las praderas lo que resulta en elevados costos de producción en comparación con fincas comerciales, sin embargo, debido a las bonificaciones que se reciben por calidad higiénica y composicional de la leche, el precio que se le paga a la Universidad por la misma es muy competitivo y genera un margen de ganancia, aunque pequeño.

4.5 Conclusión

Este estudio indica que el destilado de yuca puede reemplazar parcialmente el concentrado comercial en ganaderías dedicadas a la producción de leche a razón de 20%, sin afectar negativamente el desempeño animal en términos de consumo de materia seca, producción de leche o la composición de la misma, aunque el beneficio económico por su uso es menor.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la cofinanciación del proyecto 2008D31067-3724 y a la Alianza Universidad de Antioquia - Fundauniban - Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Literatura citada

- Al-Suwaiegh, S., Fanning, K.C., Grant, R.J., Milton, C.T. y Klopfenstein, T.J. 2002. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 80: 1105–1111.
- Anderson, J. L., D. J. Schingoethe, K. F. Kalscheur, y A. R. Hippen. 2006. Evaluation of dried and wet distillers grains included at two concentrations in the diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89: 3133–3142.

- Bauman, D. E., y Griinari, J. M. 2001. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: Low-fat milk syndrome. *Livest. Prod. Sci.* 70:15–29.
- Benchaar, C., Hassanat, F., Gervais, R., Chouinard, P. Y., Julien, C., Petit, H. V., y Massé, D. I. 2013. Effects of increasing amounts of corn dried distillers grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96 :2413–2427.
- Birkelo, C. P., Brouk, M. J. y Schingoethe, D. J. 2004. The energy content of wet corn distillers grains for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:1815–1819.
- Cao, Z. J., Anderson, J. L y Kalscheur, K. F. Ruminal degradation and intestinal digestibility of dried or wet distillers grains with increasing concentrations of condensed distillers solubles. *J. Anim. Sci.* 2009; 87:3013–3019.
- 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.
- Greter, A.M., Penner, G.B., Davis, E.C., Oba, M., 2008. Effects of replacing corn dry distillers' grains with triticale dry distillers' grains on lactation performance and plasma metabolites of dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 88, 129–132.
- Henao, D. A. 2011. Costos de producción de un litro de leche. Trabajo de grado Industrial Pecuario. Corporación Universitaria Lasallista. Caldas (Antioquia). 63 pp.
- Hollmann, M., Allen, M.S., y Beede, D.K. 2011. Diet fermentability influences lactational performance responses to corn distillers grains: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 94: 2007–2021.
- Janicek, B. N., Kononoff, P. J., Gehman, A. M., y Doane, P. H. 2008. The effect of feeding dried distillers grains plus solubles on milk production and excretion of urinary purine derivatives. *J. Dairy Sci.* 91: 3544–3553.
- Kalscheur, K. F. 2005. Impact of feeding distillers grains on milk fat, protein, and yield. *Proceedings Distillers Grains Technology Council, 9th Annual Symposium, Louisville, KY. Distillers Grains Technical Council, Louisville, KY.*
- Kleinschmit, D. H., Anderson, J. L., Schingoethe, D. J., Kalscheur, K. F., y Hippen, A. R. 2007. Ruminal and intestinal degradability of distillers grains plus solubles varies by source. *J. Dairy Sci.* 90:2909–2918.

- Kleinschmit, D. H., Schingoethe, D. J., Kalscheur, K. F., y Hippen, A. R. 2006. Evaluation of various sources of corn distillers dried grains plus solubles for lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89: 4784–4794.
- Leonardi, C., Bertics, S., y Armentano, L. E. 2005. Effect of increasing oil from distillers grains or corn oil on lactation performance. *J. Dairy Sci.* 88: 2820–2827.
- Lippke, H. 2002. Estimation of Forage Intake by Ruminants on Pasture. *Crop Science* 42: 869–872.
- Penner, G.B., Yu, P. y Christensen, D.A. 2009. Effects of replacing forage or concentrates with wet or dry distillers' grains on the productivity and chewing activity of dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 153: 1–10.
- Reid, J. T. 1952. Indicator methods, their potentialities and limitations. *Proceedings of the 6th International Grassland Congress*. Pennsylvania State College, August 17-23, 1952 p 1334.
- SAS, 2001. *User's Guide: Statistics*. SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA.
- Schingoethe, D. J., Kalscheur, K. F., Hippen, A. R., y Garcia, A. D. 2009. *Invited review*: The use of distillers products in dairy cattle diets. *J. Dairy Sci.* 92 :5802–5813.
- Schingoethe, D.J., Brouk, M.J., Birkelo, C.P., 1999. Milk production and composition from cows fed wet corn distillers grains. *J. Dairy Sci.* 82, 574–580.
- Sunvold, G. D y 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 a prairie hay digestibility by beef steers. *J. Anim. Sci.*, 1991: 69 (12): 4951 – 4955.

5. Capítulo 5. Discusión general

La industria nacional del alcohol carburante se basa principalmente en la fermentación ya sea de la melaza o del jugo de la caña para producir este combustible, generando en el proceso grandes cantidades de vinazas que requieren un manejo apropiado dadas las implicaciones ambientales que tendría su inadecuada disposición final. Por ello el uso tradicional de las vinazas se ha enfocado en su uso como fertilizante.

La fermentación de la yuca para producir etanol da lugar un subproducto (destilado de yuca) que puede ser empleado en la alimentación animal. Sin embargo poca información referente a la composición química de este subproducto y su impacto sobre la producción está disponible. Por esta razón se hace necesario llevar a cabo procesos de investigación tendientes a dilucidar como los subproductos de la industria del etanol ya sea provenientes de la caña de azúcar o de otras fuentes pueden ser incorporados a las diferentes cadenas productivas como suplementos alimenticios o como ingredientes para su elaboración.

Los objetivos de este trabajo fueron determinar: 1) La composición química del destilado de yuca obtenido como sub producto en la elaboración de bioetanol a partir de la yuca; 2) Determinar el efecto del reemplazo de proteína del pasto kikuyo por proteína procedente del destilado de yuca sobre los parámetros de la fermentación ruminal *in vitro* de tres muestras de pasto kikuyo con calidad nutritiva contrastante; 3) Determinar el efecto del reemplazo del forraje de kikuyo por destilado de yuca sobre las características de fermentación ruminal *in vitro* y 4) Determinar el efecto del reemplazo del 20% del concentrado sobre la producción y composición de la leche en un sistema de producción especializado.

En términos generales el reemplazo de proteína del pasto por proteína procedente del destilado de yuca resulto en una mejora importante en algunos parámetros de fermentación ruminal *in vitro* tales como la degradación de la materia seca, la fibra en detergente neutro, y fibra en detergente ácido, y la producción total de ácidos grasos volátiles, sin embargo, esta respuesta fue más pronunciada en los pastos de alta y media calidad sugiriendo que la respuesta depende no solo del nivel de suplementación sino además de la calidad nutritiva del forraje. En términos prácticos de nuestros sistemas de producción de lechería especializada es muy poco probable que se llegue a encontrar un sistema de

producción donde los pastos tengan menos del 14% de proteína cruda, si ese llegare a ser el caso, sería necesario emplear altos niveles de suplementación con destilado de yuca para lograr un efecto importante sobre las características de fermentación ruminal de la dieta. Sin embargo, es necesario llevar a cabo más investigaciones tendientes a aclarar si el efecto de la inclusión de destilado de yuca en este tipo de dietas presenta una respuesta lineal o cuadrática sobre los principales parámetros de la fermentación ruminal.

Por otro lado, el reemplazo del forraje por destilado de yuca (20%) ejerció un efecto positivo sobre algunos parámetros de la fermentación ruminal *in vitro* así como sobre algunas poblaciones de microorganismos ruminales. Tanto la degradación de la materia seca como de la materia orgánica y la pared celular (FDN y FDA) fueron superiores con el reemplazo del forraje pero la producción de los principales ácidos grasos volátiles no fue afectada, esto puede ser debido a que el nivel de inclusión de la harina de yuca no fue suficiente para promover una mayor producción de ácido propiónico y al tipo de carbohidratos de bajo peso molecular presentes en el destilado de yuca.

El reemplazo del 20% de un concentrado comercial por destilado de yuca en la dieta de vacas Holstein en el primer tercio de la lactancia no afectó la producción y composición de la leche ni el consumo de materia seca del forraje o el consumo total de materia seca (forraje + suplemento). Esto puede ser debido a que el destilado de yuca aportó una cantidad de energía metabolizable equivalente a la de la cantidad de concentrado que fue reemplazado. Es necesario avanzar en la aplicación de metodologías que permitan estimar el contenido de energía del destilado de yuca, más allá del valor de energía bruta, a este respecto la estimación del contenido de NDT puede ser un buen enfoque, siendo más apropiado llegar hasta energía metabolizable o energía neta de lactancia.

Por otro lado, con respecto al consumo de materia seca total el consumo de destilado de yuca solamente fue en promedio un 6.9% de dicho consumo, esto sugiere la necesidad de investigar el efecto de mayores niveles de inclusión de destilado de yuca en las dietas de vacas lactantes y su impacto no solo sobre la producción y composición de la leche sino también sobre otros indicadores importantes como en NUL y NUS con miras a generar información relevante, precisa y necesaria que permita el diseño, implementación y desarrollo de sistemas de alimentación basados en el uso del destilado de la yuca como suplemento alimenticio, cuya finalidad sea mejorar la producción y composición de la leche en el corto y mediano plazo así como mejorar los costos de producción tanto en los sistemas de producción de leche especializados como de doble propósito. Lo anterior está en línea con el plan de acción del CONPES 3675 (DPN 2010) que describe la política nacional para mejorar el sector lácteo colombiano y que enuncia como una estrategia de dicho plan promover la producción de suplementos alimenticios a partir del fomento de materias primas de producción nacional.

Dado que nuestro país registra costos de producción de leche en finca superiores a los mayores productores mundiales y presenta diferencia en dichos costos según la región y el sistema de producción se hace necesario ofrecer nuevas alternativas de suplementación que sean competitivas no solo en el ámbito económico sino que además propicien una mejor productividad debido a sus características nutricionales. La alimentación es el costo más importante en lechería especializada y dentro de éste, los alimentos concentrados participan con más del 90%. Lo anterior, como consecuencia de los altos precios que han tenido los productos agrícolas entre ellos el maíz, del cual el país importa cerca de las dos terceras partes de la demanda nacional. Este trabajo demostró que se puede reemplazar efectivamente el 20% de un concentrado comercial por destilado de yuca sin afectar negativamente la producción y composición de la leche no obstante más investigaciones tendientes a determinar el nivel óptimo de remplazo del concentrado por este subproducto o el grado en el cual este puede reemplazar algunos de sus ingredientes deben ser llevadas a cabo.

Puesto que la calidad nutritiva de un recurso alimenticio depende en gran medida de su digestibilidad, nivel de consumo y contenido de nutrientes es necesario llevar a cabo más investigaciones tendientes a determinar no solo la dinámica de la digestión del destilado de yuca, sino su impacto sobre estos mismos parámetros cuando este alimento hace parte de las dietas comúnmente usadas en la alimentación de ganado lechero. Por otro lado, para un mejor aprovechamiento de este recurso, es también importante determinar las concentraciones de los compuestos orgánicos que forman parte del destilado de yuca tales como azúcares y otros compuestos de bajo peso molecular que provienen de la yuca, del proceso de fermentación o que se producen como consecuencia de la degradación térmica durante el proceso de destilación del alcohol y que eventualmente podría determinar otros usos para este subproducto diferentes a la alimentación animal.

Dado que el contenido de proteína del destilado de yuca es bajo, debe procurarse establecer el perfil de aminoácidos de dicha proteína, pues al provenir tanto del tubérculo original como de residuos de la levadura de fermentación podría establecerse si el destilado de yuca es una fuente importante de aminoácidos esenciales para los rumiantes tales como lisina, metionina, cisteína, treonina, triptófano, isoleucina, valina y arginina, entre otros.

Por otro lado, en una operación de producción de etanol a partir de la yuca a escala industrial y si se diseña el proceso con miras a un aprovechamiento integral y amigable con el medio ambiente de los subproductos del proceso se puede llegar a obtener un destilado de yuca a un precio competitivo para el mercado como ingrediente para suplementos o dietas de ganado. Para lograr esto es necesario tomar como referencia la tecnología de producción de etanol en Tailandia y China, países que son líderes a nivel mundial en la producción de etanol a partir de la yuca.

El presente trabajo demostró que bajo nuestras condiciones el destilado de yuca que se obtiene como subproducto en el proceso de elaboración de bioetanol a partir de la harina de yuca puede ser empleado para la alimentación de rumiantes, especialmente ganado lechero. Lo anterior debido a que al mezclarlo con el pasto kikuyo no se encontraron efectos negativos sobre el ambiente ruminal *in vitro* empleando técnicas de corta y larga duración, así mismo, cuando se incluyó en la dieta de vacas lecheras en el primer tercio de lactancia como remplazo parcial del concentrado la producción y composición de la leche fueron semejantes a las de las vacas que recibieron solo concentrado.

6. Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

En términos generales, la suplementación del pasto kikuyo con destilado y harina de yuca resultó en una mejora en los principales parámetros de fermentación ruminal *in vitro*, siendo este efecto más marcado a las 24 horas de fermentación sobre los parámetros DMS, DFDN, DFDA, N-NH₃, AGV total, acetato, propionato, valerato e isovalerato y la relación acetato:propionato debido a las características de alta degradabilidad de los suplementos empleados.

La calidad nutritiva del forraje jugó un papel fundamental en la respuesta del pasto kikuyo a la suplementación con destilado y harina de yuca, en el experimento 1 las mejores respuestas las presentaron los forrajes del pasto kikuyo de alta y baja calidad nutritiva, mientras que en el experimento 2 a las 24 horas de fermentación ruminal *in vitro*, los tres pastos presentaron buena respuesta a dicha suplementación.

Las poblaciones microbianas de protozoos ruminales fueron mayores en los tratamientos donde el destilado y harina de yuca reemplazaron parte del forraje. Sin embargo, aunque aumentó la población de bacterias celulolíticas dio aumento no fue suficiente para promover un efecto marcado sobre la degradación de la fibra en detergente neutro y ácido, resultando en la ausencia de un efecto sobre la producción total de AGVs total e individual, siendo solamente mayor la producción de butirato en este tratamiento en los dos forrajes evaluados. Este aumento en las poblaciones de microorganismos ruminales generó una disminución en la concentración de nitrógeno amoniacal en el líquido ruminal debido a la presencia de una fuente de carbohidratos rápidamente fermentables.

Este estudio indica que el destilado de yuca obtenido como sub-producto de la elaboración de bioetanol a partir de la harina yuca, puede reemplazar parcialmente el suplemento concentrado comúnmente empleado en las ganaderías dedicadas a la producción de leche a razón de 20% sin afectar negativamente el desempeño animal en términos de consumo de materia seca del forraje, producción de leche o la composición de la misma.

Por otro lado, si se optimiza el proceso de obtención de del destilado de yuca en los procesos de producción de bioetanol a partir de la yuca a escala industrial, esta se constituiría en una alternativa económicamente viable para disminuir los costos de producción asociados a la suplementación en las ganaderías dedicadas a la producción de leche ya que su uso no afectó de manera negativa la relación beneficio:costo en este ensayo a pesar de su elevado costo de obtención a nivel experimental.

6.2. Recomendaciones

Se hizo evidente que se deben considerar tanto la composición química del destilado de yuca como su nivel de inclusión o reemplazo en forrajes empleados para la producción de leche en Antioquia ya que estos dos factores inciden sobre los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* del pasto kikuyo así como también sobre la respuesta en producción y composición de la leche. Así, este trabajo se constituye como un fundamento experimental e incentivo importante para:

- Evaluar mediante trabajos *in vivo* los parámetros de la cinética de degradación ruminal tanto del destilado de yuca como de los pastos comúnmente empleados para la producción de leche en Antioquia suplementados con dicho destilado.
- Profundizar la evaluación, mediante trabajos *in vitro* o *in vivo* el efecto de la inclusión de diferentes niveles de destilado de yuca sobre los principales parámetros de fermentación ruminal y su incidencia sobre las poblaciones de microorganismos ruminales (protozoos, bacterias y hongos).
- Establecer el efecto de diferentes niveles de reemplazo del concentrado por destilado de yuca sobre la producción, composición de la leche y los costos de producción en fincas comerciales. Así como también determinar el nivel de inclusión óptimo económico del destilado de yuca en las dietas para ganado lechero.
- Determinar a nivel de planta de producción de bioetanol a partir de la harina de yuca, si al igual que en los DDGS existe considerable variación en el contenido de nutrientes del destilado de yuca, cuáles son los factores causantes de dicha variabilidad y como se puede atenuar su efecto sobre la calidad del producto.
- Determinar mediante las técnicas apropiadas el valor energético del destilado de yuca para los rumiantes, especialmente para vacas en lactancia.

Las propuestas anteriores tienen como objetivo común ampliar en el conocimiento sobre el valor nutritivo de este subproducto y sus niveles de inclusión óptimos en las dietas para ganado lechero en pastoreo, con la clara estrategia de hacer competitiva la producción de leche en sistemas de producción de leche especializada del país.