

## Evaluación del Residuo del Cultivo de *Agaricus bisporus* como Alimento de Vacas Lecheras en Lactancia Media

Evaluation of the *Agaricus bisporus* Spent Compost as Feed of Dairy Cows in Mid Lactation

Juan Miguel Gómez Urrego<sup>1</sup>; Guillermo Correa Londoño<sup>2</sup> y Rolando Barahona Rosales<sup>3</sup>

**Resumen.** Se evaluó el potencial del residuo del cultivo de la seta *Agaricus bisporus* como materia prima para la alimentación de vacas lecheras en segundo tercio de lactancia. Para esto, se sustituyó 10% del concentrado comercial por el residuo (sin turba) y se evaluó su efecto en la producción, el balance nutricional de las vacas y el costo final del concentrado. El diseño experimental fue un cross-over o de intercambio con medidas repetidas en el tiempo. Cada periodo experimental tuvo una duración de 14 días. Se utilizaron dos grupos de animales, uno con 4 vacas Holstein y otro con 4 vacas cruzadas Holstein x BON. En promedio, las vacas tenían  $117 \pm 18,6$  días en leche,  $2,6 \pm 0,9$  partos,  $529,5 \pm 52,9$  kg peso vivo y una producción de leche/día de  $15,42 \pm 2,6$  L. El tratamiento experimental redujo los nutrientes digeribles totales de la dieta total en 2%. No hubo diferencias estadísticas en el balance nutricional de las vacas a causa del tratamiento experimental. Tampoco hubo diferencia estadística en cuanto a la producción de leche (14,4 L) y calidad composicional (% de grasa: 3,86; % de proteína: 3,5; relación grasa: proteína: 1,11). El análisis de costos mostró que al incluirse en el concentrado un 10% del residuo de *B. bisporus* (Champiñosa) se obtenía una reducción en los costos de alimentación de \$403 pesos colombianos/vaca/día.

**Palabras clave:** Balance nutricional, consumo voluntario, costo de alimentación, producción de leche.

**Abstract.** This study evaluated the potential of the growth bed of the mushroom *Agaricus bisporus* as a feed for mid lactation dairy cows. We replaced 10% of commercial concentrate with the residue (peat removed) and assessed its effect on milk production, nutritional balance of the cows and final cost of the concentrate. The experimental design was a cross-over or change-over with repeated measurements. Each experimental period lasted 14 days. Two groups of animals, one with four Holstein cows and one with four crossbred Holstein x BON cows were used. On average, cows had  $117 \pm 18.6$  days in milk and  $2.6 \pm 0.9$  lactations, weighed  $529.5 \pm 52.9$  kg and produced  $15.42 \pm 2.6$  L milk daily. The experimental treatment reduced the diet total digestible nutrients content by 2%. There were no statistical differences in the nutritional balance of the cows in response to the experimental treatment. There was also no statistical difference in milk production (14.4 L) and compositional quality of milk (fat: 3.86%, protein: 3.5%, fat to protein ratio: 1.11). The cost analysis showed that the inclusion in the concentrate of 10% of the residue of *B. bisporus* was obtained a reduction in feed cost of \$403 colombian pesos /cow/day.

**Key words:** Nutritional balance, voluntary intake, Feeding costs, milk production.

La producción ganadera permite aprovechar la capacidad de los rumiantes para transformar pastos y materiales fibrosos, que no compiten con la dieta humana, en productos de alta calidad proteica (Consejo Regional Cárnico, 2004). A pesar de esta condición, los productos lácteos y cárnicos del país deben ser producidos a precios competitivos y con estándares de calidad; para ello, la producción debe basarse en sistemas integrados (producción animal, agrícola y forestal), en minimizar la compra de insumos químicos y en mejorar la eficiencia en el uso de los recursos (Mahecha *et al.*, 2002). Este desafío incluye la necesidad de reducir costos de producción.

Una alternativa para disminuir costos de alimentación y suministrar forraje en épocas de escasez es el uso de residuos agroindustriales en la dieta de los rumiantes,

ya que estos son abundantes y económicos (Villas-Bôas *et al.*, 2002). Sin embargo, presentan un contenido de nutrientes generalmente bajo (Cuesta y Conde, 2002). El tratamiento con hongos permite mejorar el valor nutritivo de estos residuos lignocelulósicos, aumentando su contenido de proteína, vitaminas y su digestibilidad (Villas-Bôas *et al.*, 2002).

Se han realizado estudios en laboratorio para identificar especies de hongos de podredumbre blanca (HPB) por su capacidad para mejorar la calidad de los sustratos lignocelulósicos como piensos de rumiantes (Reid, 1989; Messner y Srebotnik, 1994; Vassilev *et al.*, 1994; Zhang *et al.*, 1995; Akin *et al.*, 1996; Karunanandaa y Varga, 1996; Petre *et al.*, 1999; Okano *et al.*, 2005; Shabtay *et al.*, 2009; WingChing-Jones y Alvarado, 2009); sin embargo, son

<sup>1</sup> Zootecnista. Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín - Facultad de Ciencias Agrarias - Departamento de Ciencias Agronómicas. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <jmgomez@unal.edu.co>

<sup>2</sup> Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín - Facultad de Ciencias Agrarias - Departamento de Ciencias Agronómicas. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <gcorrea@unal.edu.co>

<sup>3</sup> Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín - Facultad de Ciencias Agrarias - Departamento de Producción Animal. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <rbarahonar@unal.edu.co>

Recibido: Diciembre 03 de 2012; Aceptado: Noviembre 08 de 2013.

escasos los reportes de aplicación en campo. Adamovic *et al.* (1998) utilizaron 3 grupos, cada uno con 12 novillas Simmental en confinamiento y consumiendo una ración total mezclada con inclusión del residuo de paja de trigo, tratada con *Pleurotus ostreatus*, de 0%, 10% y 17%. Si bien la ganancia diaria de peso fue de 1.150 g, 1.140 g y 990 g respectivamente, en este estudio no se analizó el balance nutricional de los animales ni se hizo una valoración económica. Pocos estudios con HPB se han realizado con animales en pastoreo o en regiones tropicales, por tanto los resultados obtenidos bajo estas condiciones aportarían un mayor conocimiento sobre el potencial de dicho residuo en la alimentación de rumiantes.

El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto productivo, alimenticio y económico de la inclusión del residuo del cultivo de la seta *Agaricus bisporus* sin tierra de cobertura, sustituyendo 10% del concentrado comercial ofrecido a vacas de lechería especializada en el segundo tercio de lactancia. Con dicha sustitución se espera que, a pesar de que haya una leve reducción en el contenido energético de la dieta total, no se altere el desempeño productivo del animal y en consecuencia se genere una respuesta positiva en la relación costo-beneficio de la producción lechera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** El estudio se realizó en la Estación Agraria Paysandú (E.A. Paysandú), de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, en el corregimiento de Santa Elena, municipio de Medellín, Antioquia. Características: 2.500 msnm; temperatura promedio 14 °C; zona de vida bH-MB; y precipitación media 2.500 mm al año (Espinal, 1992).

**Tratamiento experimental.** Se realizó una sustitución de 10% de concentrado comercial con el residuo del cultivo de la seta *A. bisporus* (champiñonaza) sin tierra de cobertura. Se advierte que inicialmente, la inclusión de champiñonaza fue de 17% en la mezcla final, pero al ofrecer el alimento a las vacas seleccionadas para la prueba, estas presentaron problemas de consumo. Se decidió entonces reducir el nivel de inclusión de champiñonaza a 10% de la mezcla champiñonaza-concentrado. El tratamiento testigo consistió en la utilización del concentrado comercial, sin la sustitución.

A todas las vacas se les ofreció un kilo del concentrado por cada 3,5 litros/leche/día, según el promedio de

producción de la semana anterior. El suplemento fue pesado al momento del ordeño en una balanza electrónica Metler Toledo cuya precisión era de 0,1 g y se garantizó el consumo total por parte de los animales.

**Manejo de praderas.** La pradera utilizada fue de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) con 43 días de rebrote, manejada en pastoreo rotacional por franjas. La cerca eléctrica se movió dos veces al día. La oferta forrajera fue de 3,0 kg de MS/100 kg de peso vivo aproximadamente (Knowles, 2011; Correa, 2011).

**Residuo del cultivo de la seta *Agaricus bisporus*.** Se utilizó el residuo del cultivo de la seta *A. bisporus* sin tierra de cobertura (champiñonaza); Ensayos previos mostraron que el retirar la tierra de cobertura del residuo, disminuye el contenido de cenizas en 9%, aumenta el contenido de proteína cruda en 2,7% y la degradación *in vitro* de materia seca a las 72 h en 8,4% (Gómez *et al.*, 2013). Proveniente de la empresa Setas Colombiana S.A., ubicada en el municipio de Yarumal, Antioquia. El residuo utilizado tenía un contenido en base seca de: cenizas 31,1%, FDN 38,6%; FDA 31,8%; y PC 13,7%.

**Animales.** Se utilizaron 8 vacas adultas, 4 vacas puras de raza Holstein y 4 vacas cruzadas Holstein x BON en segundo tercio de lactancia, las vacas se agruparon en dos grupos: uno de vacas puras y el otro de las vacas cruzadas. Las vacas puras tenían 118,5 ± 17,7 días en leche (DEL), 3,25 ± 0,96 partos, 563 ± 63,4 kg de peso vivo y una producción de leche/día de 18,85 ± 4,3 L; las vacas cruzadas tenían 116,5 ± 22,1 días en leche (DEL), 2,25 ± 0,5 partos, 503,5 ± 47,4 kg de peso vivo y una producción de leche/día de 17 ± 2,4 L.

**Periodo experimental.** El estudio estuvo conformado por dos periodos experimentales, cada uno de 14 días, constituyendo los primeros 7 días una fase de adaptación al alimento y los 7 días restantes, la fase de evaluación. Con el fin de eliminar el posible efecto residual del tratamiento suministrado en el primer periodo, se permitió una etapa de descanso de 20 días, antes de iniciar el segundo periodo.

En el primer periodo se asignó el tratamiento experimental al grupo de vacas cruzadas y el tratamiento testigo al grupo de vacas puras. En el segundo periodo se alternaron los tratamientos, de manera que las vacas cruzadas recibieron el tratamiento testigo y las vacas puras, el tratamiento

control, configurando un diseño *cross over*, en el que a cada grupo de vacas se le suministra cada uno de los tratamientos, siendo posible evaluar el efecto de tratamientos, libre de los efectos de grupo y de periodo.

**Determinación del consumo de forraje.** Se determinó el consumo de materia seca del forraje (CMSf), utilizando óxido de cromo como marcador externo para estimar la producción de heces (Lippke, 2002) y la fibra detergente ácido indigerible *in situ* (FDAIis), como marcador interno, para determinar la digestibilidad de la materia seca (DMS) (Sunvold y Cochran, 1991). El óxido de cromo se suministró mezclado con el concentrado al momento del ordeño. La producción de heces (H) se calculó utilizando la ecuación de Lippke (2002), no se encontró contenido inicial de Cr en heces.

$H, g = (g \text{ de Cr suministrado}) * (\% \text{ de Cr en H})^{-1} * (\text{tasa de recuperación del Cr en H})$

La tasa de recuperación del cromo en heces utilizada fue de 80% (Correa *et al.*, 2009). Para determinar la FDAI del forraje, el suplemento y las heces se utilizó la metodología descrita por Correa *et al.*, 2011: Las muestras se sometieron a una prueba de degradación *in situ* por 144 horas. La concentración de este marcador en las heces (FDAih) se multiplicó por la cantidad total de heces. Al restarle a este valor la cantidad de FDAI proveniente del suplemento (FDAis), se obtuvo la cantidad de FDAI en heces proveniente del forraje, la que equivale a la cantidad de FDAI consumida con el forraje (FDAif) por cada vaca: Dado que no toda la FDAi de los alimentos se recupera completamente, en este experimento se asumió que la tasa de recuperación de la FDAi en las heces era del 80% (Sunvold y Cochran 1991). Así, el consumo de materia seca del forraje se determina con la siguiente ecuación:

$$\text{CMSf kg/vaca/d} = ((\text{FDAih} * (\text{H}/0.8) - (\text{FDAis} * \text{CMSs})) / \text{FDAif})$$

**Recolección de muestras.** Se recolectaron muestras de leche, los días 8, 11 y 14 de cada periodo mediante un colector WAIKATO®. Se tomó una muestra en la mañana y otra en la tarde y se mezcló proporcionalmente según la leche obtenida en cada ordeño, registrándose la cantidad de leche producida por vaca/día. Las muestras se refrigeraron y se enviaron al laboratorio de calidad y conservación de la leche de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín

para su análisis. A las muestras que no se enviaron, el día siguiente se les adicionó dicromato de potasio a razón de 0,06 g/100 mL de leche.

En los días 8 y 12 de cada periodo se recolectó una muestra de pasto y concentrado. El muestreo de pasto se realizó inmediatamente después de abrir la franja y simulando el pastoreo del animal, tomando varias muestras al lado de donde estaba comiendo algún animal ("hand-plucking"). Dichas muestras fueron secadas en una marquesina.

Se tomaron muestras de sangre por venopunción coccígea empleando el sistema de tubos al vacío (seco, sin anticoagulante). La muestra se tomó en el último día de cada periodo a las 12:00 horas, justo antes de comenzar el ordeño de la tarde. Las muestras fueron centrifugadas a 5.000 rpm durante 15 min, se separó el suero y se envasó en alícuotas de 2,0 mL.

**Análisis bromatológico.** Las muestras de pasto y de concentrado se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 horas y luego se molieron con criba de 1 mm en un molino Romer®. Posteriormente se realizaron las siguientes determinaciones con normas estandarizadas: almidón, polarimetría; azúcares totales, espectrofotometría-UV-VIS; cenizas, incineración directa (AOAC 942.05); fibra detergente ácido (AOAC-973.18), fibra detergente neutro (AOAC-2002, 2004), grasa bruta, extracción soxhelet (NTC-668); humedad y otras materias volátiles, termogravimétrico a 103 °C (ISO-6496); lignina, Van Soest (KMnO<sub>4</sub>); nitrógeno, proteína insoluble en detergente ácido y proteína insoluble en detergente neutro (Kjeldahl, NTC-4657); azufre, método del nitrato de magnesio; fósforo, espectrofotometría-UV-VIS (NTC-4981); calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio y zinc, espectrofotometría de absorción atómica (NTC-5151).

**Calidad composicional de la leche.** En las muestras de leche se determinó el contenido de grasa y de proteína por medio del sistema analizador de leche LACTOSCAN-MCC.

**Estimación con el modelo CNCPS.** Se utilizó el modelo CNCPS (The Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Herd Nutrition and Nutrient Excretion) versión 5.0, desarrollado por el Departamento de Ciencia Animal de la Universidad de Cornell para realizar una determinación del balance nutricional de cada animal según su consumo, su condición fisiológica y su producción; así como la composición química

del alimento consumido por cada animal. Para esto se utilizaron las condiciones encontradas durante el periodo experimental. Adicionalmente, se determinó la influencia de la inclusión de la champiñonaza en el costo de la mezcla final y su influencia sobre el costo diario de la alimentación por vaca.

**Cuantificación de metabolitos.** En las muestras de sangre se cuantificaron las concentraciones de glucosa, colesterol total y urea, utilizando los kits Glucosa oxidasa/peroxidasa®, Colesterol oxidasa/peroxidasa® y Urea/BUN-UV ureasa/glutamato deshidrogenasa® (BioSystems, Middletown, USA), respectivamente.

**Diseño Experimental.** Para las variables de producción, el diseño experimental fue un cuadro latino (*cross over*), con medidas repetidas en el tiempo, siendo los periodos de experimentación y el grupo racial los factores aleatorios del cuadro 2x2 y los tratamientos el

efecto fijo. En cada periodo, las medidas repetidas se tomaron en tres tiempos para los componentes de la leche y en siete para la medición de la producción de la leche.

El diseño experimental para las variables consumo y balance nutricional simulado fue un cuadro latino (*cross over*), siendo los periodos de experimentación y el grupo racial los factores aleatorios del cuadro 2x2 y los tratamientos el efecto fijo. Cada vaca constituyó una unidad experimental. Los análisis se realizaron mediante el procedimiento MIXED de SAS (1988). El nivel de significancia fue  $\alpha=0.05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Composición química de los alimentos.** Los resultados de los análisis se observan en la Tabla 1. Las unidades usadas son las requeridas por el sistema CNCPS.

**Tabla 1.** Composición química del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), el tratamiento testigo y el tratamiento experimental.

Análisis	Periodo 1			Periodo 2		
	Pasto Kikuyo	Tratamiento Testigo	Tratamiento Experimental	Pasto Kikuyo	Tratamiento Testigo	Tratamiento Experimental
FDN (%)	69,2	38,7	36,5	76,1	32,9	34,1
Lignina FDN (%)	7,2	15,5	25,4	7,3	15,2	25,3
PC <sup>1</sup> (%)	17,6	17,4	15,6	15,5	16,9	15,4
Almidón (%CNF)		80,8	76,5		80,8	76,5
Grasa (%)	1,1	5,9	6,0	1,4	6,0	6,0
Cenizas (%)	11,5	7,8	9,6	8,5	6,6	9,2
FER <sup>2</sup> (%FDN)	100,0	0,3	0,4	100,0	0,3	0,4
Sol-P %PC	21,0	11,6	11,7	21,0	11,6	11,7
NNP (%Sol-P)	98,3	77,7	77,1	98,3	77,7	77,1
PIDN (%PC)	26,3	14,0	17,2	26,3	14,4	17,4
PIDA (%PC)	5,6	11,1	15,6	5,6	11,4	15,8
Calcio (%)	0,4	1,6	1,9	0,4	1,6	1,9
Fósforo (%)	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
Magnesio (%)	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Potasio (%)	3,7	0,7	0,8	3,7	0,7	0,8
Sodio (%)	ND	0,1	0,1	ND	0,1	0,1
Azufre (%)	0,2	ND	ND	0,2	ND	ND
Cobre (mg/kg)	12,0	34,1	37,6	12,0	34,1	37,6
Hierro (mg/kg)	95,0	911,0	814,2	95,0	911,0	814,2
Mn (mg/kg)	117,0	15,3	73,5	117,0	15,3	73,5
Zinc (mg/kg)	58,0	132,5	135,7	58,0	132,5	135,7
Almidón (%)	0,7	27,5	21,7	1,0	27,5	21,7
Azúcar (%)	0,7	6,5	6,4	1,0	6,5	6,4

<sup>1</sup> Proteína cruda = Nitrógeno\*6,25.

<sup>2</sup> FER = Fibra efectiva en rumen.

Resultados expresados en la base seca.

ND = No determinado.

**Consumo de materia seca y estimación del desempeño productivo y el balance nutricional.**

En la Tabla 2 se muestra el consumo de materia seca del forraje y el consumo de materia seca total

consumido por los animales para cada tratamiento. El consumo de materia seca del tratamiento testigo y el tratamiento experimental fue de 3,65 kg y 3,67 kg respectivamente.

**Tabla 2.** Efecto del tratamiento experimental sobre el consumo de forraje y el consumo total de vacas en segundo tercio de lactancia.

Variable	Tratamiento Testigo	Tratamiento Experimental	P		
			Tratamiento	Grupo	Periodo
Consumo forraje (kg MS/vaca/día)	9,74	9,6	0,857	0,391	0,172
Consumo total (kg MS/vaca/día)	13,4	13,29	0,879	0,06	0,347

Nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

La Tabla 3 muestra las características de la dieta total, el balance energético y proteico del animal, así como el

balance de nitrógeno a nivel ruminal. Estos parámetros se determinaron utilizando el modelo CNCPS.

**Tabla 3.** Efecto del tratamiento experimental sobre el consumo de materia seca estimado, la calidad nutricional de la dieta total y el balance energético y proteico de vacas en segundo tercio de lactancia.

Variable	Tratamiento Testigo	Tratamiento Experimental	P		
			Tratamiento	Grupo	Periodo
Consumo estimado (kg MS/vaca/día)	13,91	13,89	0,955	0,026	0,404
TND dieta total (%MS)	62,13	60,13	<0,001	1	<0,001
ENL dieta total (Mcal/kg de MS)	1,49	1,43	<0,001	0,646	<0,001
PDR dieta total (%PC)	67,37	66,25	0,105	0,349	0,849
FDN dieta total (%MS)	62,95	62,63	0,759	0,308	0,001
FER <sup>1</sup> (%MS)	56,1	55,1	0,572	0,029	0,022
Requerimiento EM (Mcal/vaca/día)	33,62	33,6			
Balance EM (Mcal/vaca/día)	0,41	-0,12	0,598	0,905	0,385
Requerimiento PM (g/vaca/día)	1464	1463			
Balance PM (g/vaca/día)	144,5	116,7	0,697	0,2665	0,772
Leche esperada por EM (kg/vaca/día)	15,09	14,4	0,699	0,126	0,152
Leche esperada por PM (kg/vaca/día)	18,06	17,41	0,552	0,188	0,919
Cambio esperado de peso (kg/día)	0,038	-0,025	0,632	0,773	0,394
Balance Nitrógeno ruminal (%Req.)	118,37	116,25	<0,001	<0,001	<0,001
Balance péptido ruminal (%Req.)	385,1	301,2	0,185	0,235	0,067
PM de bacteria (g/vaca/día)	866,5	871,9	0,904	0,532	0,588
PM de bacteria (%PM suplida)	59,7	60,1	0,579	0,361	<0,001

<sup>1</sup> FER = Fibra efectiva en rumen.

Nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

**Producción y calidad composicional de la leche y concentración de metabolitos en sangre.**

En la Tabla 4 se muestran los resultados productivos de la prueba de campo. A su vez, en la Tabla 5, se muestra la concentración de metabolitos sanguíneos.

La composición bromatológica del kikuyo (Tabla 1), está acorde con la reportada para las condiciones de lechería especializada de trópico alto andino (Osorio, 1999; Naranjo, 2002; Correa, 2006; Aguilar, 2008; Knowles, 2011), con alto contenido de PC, PDR y FDN

y bajo contenido de carbohidratos no estructurales (CNE) (Correa, 2011). El alto contenido de PC en el kikuyo se debe a intensos planes de fertilización nitrogenada en las praderas (Correa, 2006). Esta

fertilización provoca un incremento del contenido de nitrógeno en el forraje debido al aumento del N soluble y el N no proteico (NNP) (Rueda *et al.*, 2006).

**Tabla 4.** Producción y calidad de la leche de las vacas alimentadas con el tratamiento testigo y el tratamiento experimental.

Análisis	Tratamiento	Tratamiento	P		
	Testigo	Experimental	Tratamiento	Tiempo	Tto*Tiempo
Producción (L/día)	14,41	14,41	0,997	0,077	0,872
Grasa(% m/v)	3,87	3,85	0,974	0,493	0,727
Proteína (% m/m)	3,50	3,50	0,898	<0,001	0,981
Relación Grasa/Prot.	1,12	1,11	0,981	0,152	0,757

Nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

**Tabla 5.** Concentración de metabolitos sanguíneos de las vacas alimentadas con el tratamiento testigo y el tratamiento experimental.

Análisis	Tratamiento	Tratamiento	P		
	Testigo	Experimental	Tratamiento	Grupo	Periodo
Colesterol (mg/dL)	215,4	239,5	0,216	0,159	0,06
Glucosa (mg/dL)	71,9	66,9	0,208	0,07	0,165
Urea (mg/dL)	33,7	37,5	0,274	0,927	0,453

Nivel de significancia  $\alpha=0,05$ .

A su vez, el suplemento utilizado (Tabla 1), indica un contenido medio de PC, y alto de FDN para este tipo de alimento (Knowles, 2011; Correa, 2006). Dichas fracciones, en los concentrados utilizados en la lechería especializada en Colombia, muestran contenidos de PC entre 9,2-40,8%; la FDN ha alcanzado valores de 40,6% en muestras analizadas en Antioquia (Knowles, 2011).

Respecto al uso del residuo del cultivo de la seta *A. bisporus*, para alimentar rumiantes con residuos fibrosos es usual en muchos países en vías de desarrollo. En México por ejemplo, se usa el rastrojo de maíz y en el sudeste asiático, China e India se usa la paja de arroz (Reddy, 1996; Elizondo, 1998; Chen *et al.*, 2008; Huyen *et al.*, 2012; Chanthakhoun *et al.*, 2012). Pero estos presentan un contenido de nutrientes bajo (Cuesta y Conde, 2002).

Dentro de los métodos desarrollados para mejorar la calidad nutricional de los residuos se encuentran:

métodos químicos oxidativos (ozono, SO<sub>2</sub>, clorito, ácido peracético y permanganato), que incrementan la solubilidad del residuo, por la liberación de compuestos fenólicos indigestibles, en donde la celulosa no se hidroliza sino que se hace más accesible; métodos químicos hidrolíticos alcalinos (hidróxido de sodio, amoníaco y urea), que mejoran la calidad nutricional del residuo, rompiendo enlaces álcali lábil de la pared celular solubilizando la hemicelulosa" (Elizondo, 1998); uso de enzimas exógenas (celulasas y hemicelulasas) en el alimento (Pinos *et al.*, 2008; Álvarez *et al.*, 2009) y el uso de hongos basidiomicetos que degradan la lignocelulosa (Barahona y Sánchez, 2005; Sánchez, 2009).

Estos hongos producen enzimas extracelulares degradantes de lignina, como las fenol oxidasas (lacasas) y las peroxidasas (Lankinen, 2004; Barahona y Sánchez, 2005; Sánchez, 2009); enzimas hidrolíticas degradantes de celulosa (celobiohidrolasas, endoglucanasas y  $\beta$ -glucosidasas) y otras que degradan hemicelulosa

(endoxilanasas y endomananasas) (Lankinen, 2004; Sánchez, 2009).

“Durante la fase de crecimiento activo la hemicelulosa y compuestos solubles en agua son utilizados por los hongos como fuentes de carbono; en esta fase la celulosa en general no se utiliza y su contenido debe mantenerse intacto con el fin de aumentar la digestibilidad lignocelulósica” (Villas-Bôas *et al.*, 2002).

Gómez *et al.*, (2013) construyeron una tabla resumen en donde se observa que el uso de algunas especies de hongos basidiomicetos permite mejorar la digestibilidad de los materiales tratados entre el 12% y el 87% respecto al material sin tratar. Se ha establecido que la seta *A. bisporus* tiene la capacidad de degradar lignina, produciendo las enzimas: lacasa y manganeso peroxidasa (Lankinen, 2004); esta seta produce otras enzimas degradantes de lignocelulosa como endoglucanasas, celobiohidrolasas, xilanasas y  $\beta$ -mananasas (Lankinen, 2004).

En cuanto a la composición química del residuo del cultivo de la seta *A. bisporus*, esta se encuentra acorde con lo determinado por otros autores (Gómez *et al.*, 2013). Ramírez y Escobar (2010) encontraron un aumento en la degradación potencial *in situ* y la degradación efectiva en rumen del medio de cultivo de *A. bisporus*, debida a la siembra del hongo; mejorando la degradación potencial *in situ* en 14,5% y la degradación efectiva en rumen en 27,6% respecto al material original. A su vez, registraron contenidos de proteína cruda de 7,3% en el residuo antes de la siembra del hongo y de 12,3% en el residuo posterior a la cosecha del hongo. Dicho incremento pudo deberse al contenido de biomasa del micelio en dicho residuo (Petre *et al.*, 1999).

De igual forma, Gómez *et al.*, en 2013, encontraron que el 83% del nitrógeno de este residuo, sin tierra de cobertura, es nitrógeno proteico y que su PC presenta una digestibilidad de alrededor del 74%. Según estos autores la degradación potencial *in situ* de la materia seca del material a las 96 h es de 51,5% y la degradación efectiva en rumen es de 39,6%.

En el análisis de minerales, se reporta un alto contenido en comparación al contenido de cenizas de los residuos de cosecha, debido en parte a que dicho residuo posee un 5-10% de sulfato de calcio en su formulación (Gómez *et al.*, 2013). A su vez, el

tratamiento con hongos basidiomicetos incrementa el contenido de cenizas del material tratado, ya que el hongo degrada parte de la materia orgánica en el proceso (Adamović *et al.*, 1998). Ahora, entre más alto sea el contenido de cenizas del residuo menor será el total de nutrimentos digestibles (NRC, 2001), disminuyendo el contenido energético del residuo. Pero cabe anotar que dicho material posee alrededor de: 2,1% de azufre, 5,4% de calcio, 0,43% de hierro, 0,55% de magnesio y alrededor del doble del contenido requerido en la dieta, del ganado bovino lechero y de carne, de: fósforo, cobre, manganeso, potasio y zinc (Gómez *et al.*, 2013), por lo que dicho material debe considerarse como una fuente tanto de materia orgánica como de minerales, que podrían ser una fuente de suplementación mineral en las ganaderías que suministran cloruro de sodio únicamente.

En cuanto al rechazo del consumo del concentrado con 17% de inclusión de champiñonaza, este pudo deberse al alto contenido de sulfato de calcio en la champiñonaza, dado que un exceso del químico en la ración puede reducir la ingesta de la misma (NRC, 2001).

El tratamiento experimental presentó 0,99, 0,90, 1,31, 1,39 y 0,80 veces el contenido de FDN, PC, cenizas, fibra efectiva en rumen (FER) y almidón con respecto al tratamiento control. Estas diferencias afectaron el contenido energético de la dieta total consumida por las vacas, encontrándose diferencias entre tratamientos en el total de nutrimentos digestibles (TDN) y la energía neta de lactancia (ENL) de la dieta total, presentado el tratamiento experimental menores valores de TND y de ENL. El valor de la ENL de la dieta total fue similar al reportado por diversos autores para vacas en segundo tercio de lactancia en condiciones similares (Aguilar, 2008; Knowles, 2011; Correa, 2011). El TDN y la ENL también presentaron variaciones estadísticamente significativas por periodo experimental. Dichas diferencias son explicadas por la variación en la composición química del kikuyo en los diferentes periodos.

Respecto al consumo de MS (CMS), no hubo diferencias estadísticas debidas al tratamiento. El CMS tendió a ser menor para el grupo de las vacas cruzadas. Esto obedece a que el grupo es más liviano, y uno de los factores que determina el consumo de las vacas lecheras es su peso vivo (NRC, 2001); a su vez, dicho grupo de vacas tendió a producir menos leche

y por ende tendió a consumir menos concentrado. El CMS promedio, de las vacas en estudio, fue de 13,35 kg de MS/vaca/día. Rueda *et al.* (2006), en la E.A. Paysandú, estimaron el consumo de un grupo experimental de vacas, compuesto por 4 Holstein puras y 4 cruzadas Holstein\*BON, con peso promedio de 518 kg y producción lechera 13,4 kg, en 11,63 kg/vaca/día. Las vacas estuvieron en estabulación y el consumo se determinó por diferencia entre la oferta y las sobras de alimento.

El CMS estimado con el CNCPS, fue en promedio 13,9 kg de MS/vaca/día, correspondiendo el CMS real al 96% del CMS estimado. El CMS estimado presentó diferencias estadísticas en cuanto al grupo debido a las razones antes mencionadas.

En referencia al CMSf, no se presentaron diferencias en el tratamiento, lo cual era de esperarse ya que las vacas consumieron el concentrado con el mismo nivel de suplementación de acuerdo a la producción lechera. El CMSf promedio fue 9,7 kg de MS/vaca/día. El trabajo de Rueda *et al.* (2006), no menciona el valor del CMSf; sin embargo, calculando la suplementación (con fórmulas descritas en dicho trabajo) se estima un CMSf de 8,3 kg de MS/vaca/día. El CMSf constituyó el 73% del CMS total, lo cual es bajo comparado con el valor de 79,9% reportado por Correa *et al.* (2011), para vacas en segundo tercio de lactancia y con un nivel alto de suplementación.

Si bien hubo diferencias en el contenido de ENL en la dieta total entre tratamientos, no hubo diferencias en el balance de EM (Mcal/vaca/día), lo que se explica porque el balance depende tanto del contenido energético de la dieta como del consumo de esta dieta por cada animal. El balance de EM promedio fue 0,15 Mcal/vaca/día, presentándose un balance energético en el animal, lo cual, explica que el cambio esperado promedio de peso fuera de 0,03 kg/vaca/día y no presentara diferencias estadísticas. El valor promedio esperado de producción lechera por EM fue 14,7 kg/vaca/día, superando el valor producido en 2%.

En el balance de proteína metabolizable (PM) (g/vaca/día), el valor promedio fue 130,6 g/vaca/día, presentando un balance positivo y superando el requerimiento en 8,9%. El valor promedio esperado de producción lechera por PM fue 17,7 kg/vaca/día, superando el valor producido en 23%. Este desbalance proteico positivo se debe a que la base forrajera para la producción lechera es kikuyo. Este pasto presenta

una relación de CNE:PDR de 1,28, mientras que el valor recomendado de esta relación, para maximizar la síntesis de proteínas microbianas es de 3,5 (Correa, 2011). La suplementación con concentrados no logra corregir la relación. Esto se confirma con una PDR promedio en la dieta total del 66,8% de la PC, mientras que el promedio reportado para el kikuyo, es de 54,6 (Correa, 2011).

El análisis del balance de nitrógeno a nivel ruminal reportó diferencias estadísticas entre tratamientos, grupo racial y periodo experimental, presentando un valor por encima del requerimiento de 18,4% para el tratamiento testigo y de 16,3% para el tratamiento experimental. Las diferencias en el balance se deben a un menor contenido de PC del tratamiento experimental respecto al testigo. Las diferencias encontradas por grupo racial y por periodo se deben probablemente a las diferencias en el contenido de PC del kikuyo en cada periodo y a la tendencia en la diferencia del CMS por grupo racial. El balance de péptidos en rumen presentó un valor promedio de 343% respecto al total requerido, explicado por el balance proteico positivo de las vacas. La PM proveniente de bacterias fue en promedio 896 g/vaca/día, sin presentar diferencias estadísticas, siendo el 60% de la PM requerida por el animal y presentando valores similares a los estimados con el modelo NRC (2001) en el trabajo de Rueda *et al.* (2006).

La FER presentó un valor promedio de 55,6% de la MS, sin diferencias estadísticas debidas al tratamiento. Las diferencias encontradas debido al grupo y al periodo, se deben al consumo del forraje y a la variabilidad en el contenido de FER del kikuyo en cada periodo. El contenido de FER se relaciona con las características físicas inherentes a la masticación y la rumia, estimulando el flujo de saliva que ayuda a regular el pH ruminal (CNCPS, 2003). "Cuando el objetivo es maximizar la degradación de los componentes de la pared celular para optimizar la utilización del forraje, el requerimiento mínimo de FER es 20%" (CNCPS, 2003).

En la producción lechera y su composición, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, al igual que el balance energético y proteico de los animales. Esto puede explicar que la producción lechera y su composición sean similares, ya que la alimentación puede influir tanto en el contenido de grasa como en el de proteína (Aguilar, 2008; Knowles, 2011). El contenido de proteína tuvo diferencias por período.

Si bien, la producción lechera no tuvo diferencias por período, si hubo una tendencia a presentar diferencias en cuanto al tiempo. El contenido de proteína en la leche está correlacionado con el volumen de leche producido (Welper, 1992).

La proporción de grasa: proteína en la leche (PGP) (1,11) se encuentra dentro del rango esperado y sugiere que las vacas no estaban en balance energético negativo. Dicha proporción tampoco mostró diferencias estadísticamente significativas. Existen estudios que han demostrado correlación entre los niveles de energía y la PGP, indicando un rango ideal para dicha proporción de 1-1,25. Una PGP superior a 1,5 conlleva un factor de riesgo de cetosis. Cuando se invierte la PGP (PGP<1), se tiene el riesgo de acidosis ruminal subaguda (Eicher, 2004; Čejna y Chládek, 2005).

En la concentración de metabolitos sanguíneos, no hubo diferencias estadísticas en referencia al colesterol, cuyo promedio fue de 227,5 mg/dL, indicando que las vacas se encontraban en balance energético positivo (Galvis *et al.*, 2003). Dicho valor es más alto que los encontrados en vacas Holstein en lactancia temprana, en trópico de altura (Galvis *et al.*, 2003; Galvis *et al.*, 2007a; Galvis *et al.*, 2007b). Esto puede deberse a que el colesterol plasmático se incrementa al aumentar los DEL, debido a la subsiguiente reducción en la producción lechera (Galvis *et al.*, 2003). La alta concentración de colesterol plasmático también puede deberse a la alta suplementación, ya que se ha reportado que aproximadamente un mes después del inicio de la lactancia, la concentración de colesterol aumenta como respuesta a la suplementación (Ceballos *et al.*, 2002a).

Ceballos *et al.* (2002a) afirman que una correlación positiva entre la concentración de glucosa y la de colesterol, se debe a "la necesidad de glucosa como precursor de NADPH<sub>2</sub>, el que a su vez es el agente reductor exclusivo para los procesos de síntesis de colesterol" (Galvis, 2003). El contenido promedio de glucosa plasmática fue de 69,4 mg/dL y no presentó diferencias estadísticas. Dicho valor es alto en comparación con el reportado para vacas Holstein en lactancia temprana, en trópico de altura (Galvis *et al.*, 2003; Galvis *et al.*, 2007). Esto puede deberse a que los valores de glicemia son significativamente más altos en el parto, caen al momento del parto y luego aumentan a medida que avanza la lactancia (Ceballos *et al.*, 2002a). "La relación positiva entre glucosa y los DEL es explicada por la disminución en las demandas

por este metabolito para la síntesis de la leche a medida que avanza la lactancia y la producción se reduce, incrementándose la glicemia" (Galvis *et al.*, 2003).

La concentración de urea plasmática fue en promedio 35,6 mg/dL, sin que se presentaran diferencias entre tratamientos. Estos resultados, si bien se encuentran dentro del intervalo de confianza del 95% descrito en vacas Holstein en el trópico alto colombiano (Ceballos *et al.*, 2002b), son más altos que los valores reportados para vacas Holstein en Antioquia (Galvis *et al.*, 2003; Galvis *et al.*, 2011). La alta concentración de urea sanguínea se debe al exceso de PC en la dieta, lo cual se ve reflejado en un balance de PM que supera el requerimiento alrededor de 10% y afecta el balance de nitrógeno y de péptidos en rumen. "Bajo estas condiciones el exceso de nitrógeno no puede ser utilizado por los microorganismos ruminales, saturando la capacidad de uso del amoníaco (NH<sub>3</sub>) por parte de estos; así, el exceso de NH<sub>3</sub> pasa a la sangre y es transportado hasta el hígado para ser convertido en urea" (Galvis *et al.*, 2003).

El análisis de costos de los alimentos permitió establecer que, el valor aproximado del kilogramo de materia seca del pasto kikuyo en la Estación Agraria Paysandú es de \$123, el del concentrado comercial es de \$1.175. Por su parte, el kilogramo de materia seca de champiñonaza cuesta \$41. Con base en un costo de transporte de \$300 t/km recorrido y 110 km de distancia origen destino, el costo del kg de materia seca de champiñonaza en Paysandú es de \$74. Con este valor, el concentrado correspondiente al tratamiento experimental valdría \$1.065. Al nivel de inclusión de concentrado en la dieta, observado en este estudio, representa un ahorro de \$405 /vaca/ día.

## CONCLUSIONES

A pesar de que la inclusión del 10% del residuo del cultivo industrial de la seta *A. bisporus* sin tierra de cobertura en el concentrado comercial, afecta la composición química de la mezcla final respecto al concentrado original, este cambio en la composición química no altera el balance nutricional, ni la producción y composición de la leche en vacas de lechería especializada en segundo tercio de lactancia con un nivel medio de producción. Sin embargo, la sustitución contribuye a disminuir el costo por concepto de suplementación alimenticia en la producción de leche en el sistema especializado.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación Medellín (DIME) de la Universidad Nacional de Colombia, por la financiación del proyecto "Caracterización De Hongos Basidiomicetos Comerciales Con Énfasis En Su Capacidad De Enriquecimiento De Residuos Agroindustriales Para Alimentación Animal", Código 8311. También se reconoce la contribución de Luis Alfonso Arango, desde su antigua posición de Coordinador de Investigación y Desarrollo en la empresa Setas Colombianas S.A.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adamović, M., G. Grubić, I. Milenković, R. Jovanović, R. Protić, L. Sretenović and L. Stoicević . 1998. The biodegradation of wheat straw by *Pleurotus ostreatus* mushrooms and its use in cattle feeding. *Animal Feed Science and Technology* 71(3-4): 357-362.
- Aguilar, O. 2008. Concentración de ácido linoleico conjugado en la grasa láctea de vacas pastando raigrás o kikuyo. Tesis Magister en Salud y Producción Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 114 p.
- Akin, D.E., W.H. Morrison, L.L. Rigsby, G.R. Gamble, A. Sethuraman and K- E.L. Eriksson. 1996. Biological delignification of plant components by the white rot fungi *Ceriporiopsis subvermispora* and *Cyathus stercoreus*. *Animal Feed Science and Technology* 63(1-4): 305-321.
- Álvarez, G., J.M. Pinos, J.G. Herrera, J.C. García, S.S. González and R. Barcena. 2009. Effects of exogenous fibrolytic enzymes on ruminal digestibility in steers fed high fiber rations. *Livestock Science* 121(2-3): 150-154.
- AOAC Official Method 942.05. 2005. Determination of Ash in Animal Feed. In *Official Methods of Analysis of AOAC International*. AOAC International. Gaithersburg, MD.
- AOAC Official Method 973.18. 2005. Fiber (Acid Detergent) and Lignin (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) in animal feed. In *Official Methods of Analysis of AOAC International*. AOAC International. Gaithersburg, MD.
- AOAC Official Method 2002.04. 2005. Amylase-Treated Neutral Detergent Fiber in Feeds. In *Official Methods of Analysis of AOAC International*. AOAC International. Gaithersburg, MD.
- Barahona, R. y S. Sánchez. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista Corpoica* 6(1): 69-82.
- Čejna, V. and G. Chládek. 2005. The importance of monitoring changes in milk fat to milk protein ratio in Holstein cows during lactation. *Journal of Central European Agriculture* 6(4): 539-546.
- Ceballos, A., P.M. Gómez, M. Vélez, N. Villa y L. López. 2002a. Variación de los indicadores bioquímicos del balance de energía según el estado productivo en bovinos lecheros de Manizales, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 15(1): 13-25.
- Ceballos, A., N. Villa, A. Bohórquez, J. Quiceno, M. Jaramillo y G. Giraldo. 2002b. Análisis de los resultados de perfiles metabólicos en lecherías del trópico alto del eje cafetero colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 15(1): 26-35.
- Chanthakhoun, V., M. Wanapat, P. Kongmun and A. Cherdthong. 2012. Comparison of ruminal fermentation characteristics and microbial population in swamp buffalo and cattle. *Livestock Science* 143(2-3): 172-176.
- Chen, X.L., J.K. Wang, Y.M. Wu and J.X. Liu. 2008. Effects of chemical treatments of rice straw on rumen fermentation characteristics, fibrolytic enzyme activities and populations of liquid- and solid-associated ruminal microbes *in vitro*. *Animal Feed Science and Technology* 141(1-2): 1-14.
- CNCPS. 2003. The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion, version 5.0. Model documentation. Fox, D.G., T.P. Tytlutki, L.O. Tedeschi, M.E. Van Amburgh, L.E. Chase, A.N. Pell, T.R. Overton and J.B. Russell. The Cornell University Nutrient Management Planning System. Department of Animal Science, Cornell University. Animal Science. Mimeo 213. New York. 292 p.
- Consejo Regional Cárnico. 2004. Acuerdo Regional de Competitividad de la Cadena Cárnica Bovina de Antioquia. Medellín. 102 p.
- Correa, H.J. 2011. Efecto del manejo del pastoreo y la suplementación alimenticia en vacas lactantes

- de sistemas especializados sobre su metabolismo energético y proteico y el contenido de proteína en la leche. Tesis Doctor en Ciencias de la Producción Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 408 p.
- Correa, H.J., M.L. Pabón, M. Sánchez y J.E. Carulla. 2011. Efecto del nivel de suplementación sobre el uso del nitrógeno, el volumen y la calidad de la leche en vacas Holstein de primero y segundo tercio de lactancia en el trópico alto de Antioquia. *Livestock Research for Rural Development* 23(4): Artículo No. 77.
- Correa, H.J., M.L. Pabón, M.L. y J.E. Carulla. 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): Artículo No. 59.
- Correa, H.J., M.L. Pabón y J.E. Carulla. 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. In: *Livestock Research for Rural Development* (20): 59, <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/10/caro18143.htm>; consulta: noviembre 2012.
- Correa, H.J. 2006. Posibles factores nutricionales, alimenticios y metabólicos que limitan el uso del nitrógeno en la síntesis de proteínas lácteas en hatos lecheros de Antioquia. In: *Livestock Research for Rural Development*. 18(3): 43, <http://www.lrrd.org/lrrd18/3/corr18043.htm>; consulta: noviembre 2012.
- Cuesta, P.A. y P.A. Conde. 2002. Fuentes nitrogenadas para el mejoramiento de materiales toscos y su efecto en la alimentación de rumiantes estudio de caso: palma africana. Seminario Taller Internacional: Manejo de la Proteína en la Producción de Ganado Bovino. Corpoica, Mosquera - Tibaitatá. 26 p.
- Eicher, R., 2004: Evaluation of the metabolic and nutritional situation in dairy herds: diagnostic use of milk components. *Medecin Veterinaire du Quebec* 34(1/2): 36-38.
- Elizondo, I. 1998. Evaluación de tratamientos alcalinos sobre la calidad nutricional de residuos lignocelulósicos. Tesis Doctorado en Ciencias Pecuarias, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima, México. 112 p.
- Espinal, L.S. 1992. Geografía ecológica de Antioquia. Zonas de vida. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias y Facultad de Ciencias Agropecuarias. Editorial Lealon, Medellín. 146 p.
- Galvis, R.D., H.J. Correa, S.M. Barrientos y Y. Castaño. 2011. Efecto de niveles crecientes de nitrógeno no proteico dietario en vacas lactantes sobre las concentraciones de metabolitos nitrogenados en orina, sangre y leche. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 64(2): 6191-6198.
- Galvis, R.D., D. Agudelo y A. Saffon. 2007a. Condición corporal, perfil de lipoproteínas y actividad ovárica en vacas Holstein en lactancia temprana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20(1): 16-29.
- Galvis, R.D., E. Múnera y A. Marín. 2007b. Influencia del mérito genético para la producción de leche en un hato Holstein sobre el balance energético, indicadores del metabolismo energético y la reactivación ovárica posparto. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20(4): 455- 471.
- Galvis, R.D., H.J. Correa y N. Ramírez. 2003. Interacciones entre el balance nutricional, los indicadores del metabolismo energético y proteico y las concentraciones plasmáticas de Insulina, e IGF-1 en vacas en lactancia temprana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 16(3): 237-248.
- Gómez, J.M., S.A. Yepes y R. Barahona. 2013. Caracterización nutricional del residuo del cultivo de la seta *Agaricus bisporus* como alimento potencial para bovinos. *Revista CES Medicina y Zootecnia* 8(1): 34-56.
- Huyen, N.T., M. Wanapat and C. Navanokraw. 2012. Effect of Mulberry leaf pellet (MUP) supplementation on rumen fermentation and nutrient digestibility in beef cattle fed on rice straw-based diets. *Animal Feed Science and Technology* 175(1-2): 8-15.
- ISO 6496. 1999. Animal feeding stuffs - Determination of moisture and other volatile matter content. The International Organization for Standardization.
- Karunanandaa, K. and G.A. Varga. 1996. Colonization of rice straw by white-rot fungi (*Cyathus stercoreus*): Effect on ruminal fermentation pattern, nitrogen metabolism, and fiber utilization during continuous

- culture. *Animal Feed Science and Technology* 61(1-4): 1-16.
- Knowles, M. 2011. Efecto de la fuente y el nivel de almidón en la dieta de vacas Holstein lactantes sobre la producción y el contenido de proteína en la leche. Tesis Magister en Ciencias, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 192 p.
- Lankinen, P. 2004. Ligninolytic enzymes of the basidiomycetous fungi *Agaricus bisporus* and *Phlebia radiata* on lignocellulose-containing media. Academic Dissertation in Microbiology, Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki, Finland. 54 p.
- Lippke, H. 2002. Estimation of forage intake by ruminants on pasture; *Crop Science* 42(3): 869-872.
- Mahecha, L., L. Gallego y F. Peláez. 2002. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 15(2): 213-225.
- Messner, K. and E. Srebotnik. 1994. Biopulping: an overview of developments in an environmentally safe paper-making technology. *FEMS Microbiology Reviews* 13(2-3): 351-364.
- Naranjo, H. 2002. Evaluación nutricional del pasto kikuyo a diferentes edades de corte. *Despertar Lechero* 20: 149-167.
- National Research Council (NRC). 2001. The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition. National Academy Press, Washington, 381 p.
- Norma Técnica Colombiana (NTC). 1973. NTC 668. Alimentos y materias primas. Determinación de los contenidos de grasa y fibra cruda. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Bogotá. 5 p.
- Norma Técnica Colombiana (NTC). 1999. NTC 4657. Alimento para animales. Determinación del contenido de nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda. Método Kjeldahl. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Bogotá. 5 p.
- Norma Técnica Colombiana (NTC). 2001. NTC 4981. Alimentos para animales. Determinación del contenido de fósforo. Método espectrofotométrico. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Bogotá. 5 p.
- Norma Técnica Colombiana (NTC). 2003. NTC 5151. Alimento para animales. Determinación de los contenidos de calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio y zinc. Método usando espectrometría de absorción atómica. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Bogotá. 6 p.
- Okano, K., M. Kitagawa, Y. Sasaki and T. Watanabe. 2005. Conversion of Japanese red cedar (*Cryptomeria japonica*) into a feed for ruminants by white-rot basidiomycetes. *Animal Feed Science and Technology* 120(3-4): 235-243.
- Osorio, F. 1999. Efecto de la dieta sobre la composición de la leche. En: Memorias, I Seminario Internacional sobre Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Medellín.
- Petre, M., G. Zarnea, P. Adrian and E. Gheorghiu. 1999. Biodegradation and bioconversion of cellulose wastes using bacterial and fungal cells immobilized in radiopolymerized hydrogels. *Resources, Conservation and Recycling* 27(4): 309-332.
- Pinos, J.M., R. Moreno, S.S. González, P.H. Robinson, G. Mendez and G. Álvarez. 2008. Effects of exogenous fibrolytic enzymes on ruminal fermentation and digestibility of total mixed rations fed to lambs. *Animal Feed Science and Technology* 142(3-4): 210-219.
- Ramírez, A. y A.F. Escobar. 2010. Caracterización de hongos basidiomicetos comerciales con énfasis en su capacidad de enriquecimiento de residuos agroindustriales para la alimentación animal. Trabajo de Grado Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 36 p.
- Reddy, D.V. 1996. Evaluation of rice straw - poultry droppings based rations supplemented with graded levels of rice bran in fistulated buffaloes. *Animal Feed Science and Technology* 58(3-4): 227-237.
- Reid, I.D. 1989. Solid-state fermentations for biological delignification. *Enzyme and Microbial Technology* 11(12): 786-803.

- Rueda, S., L. Taborda y H.J. Correa. 2006. Relación entre el flujo de proteína microbiana hacia el duodeno y algunos parámetros metabólicos y productivos en vacas lactantes de un hato lechero del Oriente Antioqueño. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 19(1): 27-38.
- Sánchez, C. 2009. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances* 27(2): 185-194.
- Shabtay, A., Y. Hadar, A. Eitam, A. Brosh, A. Orlov, Y. Tadmor, I. Izhaki and Z. Kerem. 2009. The potential of *Pleurotus*-treated olive mill solid waste as cattle feed. *Bioresource Technology* 100(24): 6457-6464.
- Sunvold, G.D. and R.C. Cochran. 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, brome grass, and prairie hay digestibility by beef steers. *Journal of Animal Science* 69: 4951-4955.
- Van Soest, P.J. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feed. II a rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists* 46(5): 829-835.
- Vassilev, N., M.T. Baca and M. Vassileva. 1994. Plant lignocellulose and decomposition by fungi: from nature to industrial use. *Mycologist* 8(3): 113-114.
- Villas-Bôas, S.G., E. Esposito and D.A. Mitchell. 2002. Microbial conversion of lignocellulosic residues for production of animal feeds. *Animal Feed Science and Technology* 98(1-2):1-12.
- Wing Ching-Jones, R. and G. Alvarado. 2009. Valor nutricional del heno de transvala inoculado con el hongo *Pleurotus ostreatus*. *Agronomía Costarricense* 33(1): 147-153.
- Zhang, C.K., F. Gong and D.S. Li. 1995. A note on the utilisation of spent mushroom composts in animal feeds. *Bioresource Technology* 52(1): 89-91.

