



Corpoica. Ciencia y Tecnología
Agropecuaria

ISSN: 0122-8706

revista_corpoica@corpoica.org.co

Corporación Colombiana de Investigación
Agropecuaria
Colombia

Castro-Rincón, Edwin; Sierra-Alarcón, Andrea Milena; Mojica-Rodríguez, José Edwin;
Carulla-Fornaguera, Juan; Lascano-Aguilar, Carlos

Uso múltiple de leguminosas como abono verde, en rotación con maíz, y heno, para
producción de leche

Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, vol. 17, núm. 1, enero-abril, 2016, pp. 17-
29

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
Cundinamarca, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449946031003>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

Uso múltiple de leguminosas como abono verde, en rotación con maíz, y heno, para producción de leche

Multiple use of legumes as green manure in rotation with corn and hay for milk production

Uso múltiplo de leguminosas como adubo verde em rotação com milho e como feno para produção de leite

Edwin Castro-Rincón,¹ Andrea Milena Sierra-Alarcón,² José Edwin Mojica-Rodríguez,³ Juan Carulla-Fornaguera,⁴ Carlos Lascano-Aguilar⁵

¹ MSc, Universidad Nacional de Colombia. Investigador máster, Corpoica. Pasto, Colombia. ecastro@corpoica.org.co

² Zootecnista, Universidad Nacional de Colombia. Profesional de Apoyo, Corpoica. Bogotá, Colombia. asierra@corpoica.org.co

³ MSc, Universidad Nacional de Colombia. Investigador máster, Corpoica. Agustín Codazzi, Colombia. jmojica@corpoica.org.co

⁴ PhD, University Of Nebraska. Docente, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. jecarullaf@unal.edu.co

⁵ PhD, Texas A&M University System. Investigador Emérito CIAT. Bogotá, Colombia. c.lascano@cgiar.org

Fecha de recepción: 20/08/2015

Fecha de aceptación: 21/10/2015

Para citar este artículo: Castro-Rincón E, Sierra-Alarcón AM, Mojica-Rodríguez JE, Carulla-Fornaguera J, Lascano-Aguilar C.

Uso múltiple de leguminosas como abono verde, en rotación con maíz, y heno, para producción de leche.

Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria. 17(1): 17-29

Resumen

Los sistemas ganaderos de trópico seco presentan una disminución drástica en la producción de leche durante la época seca, la cual puede ser mitigada mediante la inclusión de leguminosas como abonos verdes en cultivos forrajeros para ensilaje y como heno para alimentación de vacas. Se realizaron dos experimentos para evaluar: 1) la contribución de leguminosas a la producción de leche en vacas suplementadas con *Canavalia brasiliensis* henificada y 2) el efecto de la remoción de leguminosa (5 niveles entre 0-100 %) sobre la producción de maíz como forraje. Se observó relación directa entre el nivel de remoción de biomasa de leguminosa y la disminución del rendimiento de maíz ($r = 0,85$). Cuando los niveles de remoción de *C. brasiliensis* fueron

inferiores al 50 %, el rendimiento de forraje de maíz no se afectó ($11.283 \text{ kg MS ha}^{-1}$) frente al tratamiento de no remoción ($12.601 \text{ kg MS ha}^{-1}$) ($p > 0,05$). Al momento de la cosecha del maíz, el nitrógeno total disminuyó (9-10 %); el NO_3 varió entre 8 y 26 mg/kg, con menores contenidos en los niveles de remoción de 75 % y 100 %; y el C orgánico aumentó 15 % con la remoción de 0 %, 25 % y 50 % de leguminosa. Con respecto al segundo experimento, se encontró que las vacas suplementadas con heno de *C. brasiliensis*, aumentaron en 17 % su producción de leche con suplementación de 1,5 % del PV/día. La calidad composicional de la leche no varió debido a los tratamientos de suplementación de heno de *C. brasiliensis*.

Palabras clave: alimentación de los animales, producción, leche, plantas forrajeras, suplementos alimenticios

Abstract

The dry tropical livestock systems go through dramatic decrease in milk production during the dry season. This can be mitigated by including legumes as green manure in forage crops as silage and hay to feed cows. Two experiments were conducted to evaluate 1) the contribution of legumes to milk production in cows supplemented with *Canavalia brasiliensis* as hay and 2) the effect of the removal of legume (5 levels between 0-100%) on corn production as forage. A direct relationship between the level of legume biomass removal and reduced maize yield ($r = 0.85$) was observed. When levels of removal of *C. brasiliensis* were below 50 %, the forage yield of

corn was not affected ($MS 11,283 \text{ kg ha}^{-1}$) compared to non-removal treatment ($12,601 \text{ kg MS ha}^{-1}$) ($p > 0.05$). At the time of corn harvest, the total nitrogen decreased (15-20 %); NO_3 varied between 8 and 26 mg/kg, with lower levels contained in the removal of 75 to 100%; and 15 % organic C increased with the removal of 0, 25 and 50% legume. Regarding the second experiment, it was found that cows supplemented with hay *C. brasiliensis*, increased their milk production by 17% with supplementation of 1.5 % LW/day. The compositional quality of milk did not change due to the treatment of hay supplementation of *C. brasiliensis*.

Keywords: Animal feeding, Production, Milk, Feed crops, Food supplements

Resumo

Os sistemas de produção de gado bovino de trópico seco apresentam uma diminuição drástica na produção de leite durante a época seca, a qual pode ser mitigada mediante a inclusão de leguminosas como adubos verdes em cultivos forrageiros para ensilagem e como feno para alimentação de vacas. Se realizaram dois experimentos para avaliar, 1) a contribuição de leguminosas à produção de leite em vacas suplementadas com *Canavalia brasiliensis* ceifada e 2) o efeito da remoção de leguminosa (5 níveis entre 0-100%) sobre a produção de milho como forragem. Se observou relação direta entre o nível de remoção de biomassa de leguminosa e a diminuição do rendimento de milho ($r = 0,85$). Quando os níveis de remoção de *C. brasiliensis* foram inferiores a

50 %, o rendimento de forragem de milho não se afetou ($11.283 \text{ kg MS ha}^{-1}$) em comparação ao tratamento de não remoção ($12.601 \text{ kg MS ha}^{-1}$) ($p > 0,05$). Ao momento da colheita do milho, o nitrogênio total diminuiu (15-20 %); o NO_3 variou entre 8 e 26 mg/kg, com menores conteúdos nos níveis de remoção de 75 e 100%; e o C orgânico aumentou 15 % com a remoção de 0 %, 25 % e 50 % de leguminosa. A respeito ao segundo experimento, se encontrou que as vacas suplementadas com feno de *C. brasiliensis*, aumentaram em 17% a sua produção de leite com suplementação de 1,5 % do PV/dia. A qualidade composicional do leite não variou devido aos tratamentos de suplementação de feno de *C. brasiliensis*.

Palavras claves: alimentação dos animais, produção, leite, mudas forrageiras, suplementos alimentícios.

Introducción

La cantidad y calidad de los forrajes en los sistemas de ganado doble propósito en zonas bajas secas se reduce en forma drástica durante la época seca, lo que resulta en una disminución en la producción de leche y parámetros reproductivos de los animales. Una estrategia para minimizar los efectos negativos de la época seca y suplir las necesidades de alimentación de animales en sistemas ganaderos es mediante la conservación de cultivos forrajeros como ensilaje. Sin embargo, una limitación en áreas con suelos de baja fertilidad para implementar la tecnología de cultivos forrajeros-ensilaje es la necesidad de fertilizar los cultivos forrajeros con nitrógeno (N), lo cual no siempre es viable dado el alto costo de los fertilizantes químicos nitrogenados. Una alternativa es usar leguminosas forrajeras como abonos verdes en rotación con cultivos forrajeros para que suplan el N faltante. No obstante, la adopción de leguminosas como abonos verdes en sistemas ganaderos ha sido baja (Elbasha et al. 1999; Peters y Lascano 2003; Pengelly et al. 2003; Thomas y Sumberg 1995). Esto posiblemente debido a que los productores no ven un beneficio directo de los abonos verdes en producción de leche y, además, consideran que la utilización de leguminosas como abonos verdes es una tecnología compleja de manejar y no se compensan los costos de su implementación (Russelle et al. 2007; Wilkins 2008).

La mayoría de investigaciones se han enfocado individualmente en el uso de leguminosas como abonos verdes en rotación con cultivos o como henos para suplementar vacas en época seca. Por ejemplo, en Brasil se han reportado aumentos en producción de grano de maíz de hasta 20 % en el segundo año de uso de *Canavalia ensiformis* como abono (Heinrichs et al. 2005). En otros casos con leguminosas como *Crotalaria spectabilis*, se han encontrado aumentos en la producción de maíz hasta de un 18 % por encima del testigo e inclusive 10 % por encima del tratamiento con fertilización nitrogenada (Amado et al. 2002; Carvalho et al. 2004). En investigaciones realizadas en el este de Uganda, empleando como abonos verdes *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna pruriens*, *Dolichos lablab*, *Canavalia ensiformis*, se observaron

rendimientos 50 % a 60 % más altos de grano de maíz y frijol en comparación con el no uso de abonos verdes (Fischler y Wortmann 1999).

Por otra parte, la utilización de leguminosas como henos para suplementar vacas ha resultado en incrementos de 1 a 1,5 litros/día en leche y de 200 g a 300 g más de ganancia de peso (Ullrich et al. 1994; Vera et al. 1996; Holmann y Lascano 2004).

Un caso exitoso del uso de abonos verdes en sistemas mixtos de cultivos y ganadería viene de Nicaragua, donde investigadores del CIAT y ETH-Zurich, Suiza, evaluaron la leguminosa forrajera *Canavalia brasiliensis*, tolerante a la sequía, como abono verde o como alimento para animales. Se sembró maíz durante la primera estación de lluvias (mayo a julio) y en la segunda estación (septiembre a noviembre), tan pronto el maíz completó la etapa de llenado, se sembró la *Canavalia*. Esta última más residuos de cosecha del maíz pastoreada durante la época seca resultó en aumentos de leche (10-15 %) en relación al testigo y en mayor producción de grano de maíz (15-20 %) en la cosecha del primer semestre del año subsiguiente, como resultado de mejoras en el suelo (Centro Internacional de Agricultura Tropical 2009).

Se plantea como hipótesis central de este estudio que, para incentivar la adopción de leguminosas como abonos verdes en sistemas ganaderos, se debe demostrar su efecto positivo en rendimiento de cultivos forrajeros para corte o conservación, cuando se incorporan al suelo, y, en producción de leche, cuando la leguminosa no incorporada se suplementa como heno en época seca. Para implementar esta estrategia es necesario definir los *trade offs* (que se gana y se pierde) al usar parte de la leguminosa para incorporar al suelo y la otra para la alimentación animal.

El objetivo de este estudio fue cuantificar el uso de leguminosas forrajeras, como abonos verdes en sistemas lecheros tropicales, y su contribución, en forma directa, a la producción de leche cuando se suplementan vacas lecheras con leguminosas henificadas; y, en forma indirecta, cuando la leguminosa

no cosechada para henificar y utilizada como abono verde transfiere N fijado a cultivos forrajeros en rotación, los cuales serán utilizados como ensilaje para alimentar vacas en época seca.

Materiales y métodos

A continuación, se describen los dos experimentos realizados para alcanzar los objetivos del estudio.

Experimento 1. Remoción de diferentes niveles de leguminosa usada como abono verde

Para medir el efecto en el rendimiento de un cultivo forrajero (maíz) al remover diferentes cantidades de leguminosa empleada como abono verde para hacer heno se establecieron parcelas (5 m x 11 m) de *Canavalia brasiliensis* al final de la época de lluvias. La *C. brasiliensis* (CIAT 17009) es una leguminosa herbácea anual originaria de Centro América resistente a la sequía, de alta producción de biomasa y buena calidad nutricional (Douxchamps 2011).

La leguminosa para hacer el heno se removió de las parcelas 15 días antes del inicio del segundo ciclo de lluvias del año y se realizó la incorporación del material de leguminosa sobrante, luego de aplicar el porcentaje en cada tratamiento. Se sembró maíz 15 días después de la incorporación de la leguminosa. El forraje de maíz fue cosechado para elaboración de ensilaje a los 65 días después de la siembra cuando el grano estaba en estado lechoso.

Al momento de la cosecha de la leguminosa, se establecieron tratamientos de remoción de biomasa así: T1: 0 % de remoción de forraje (control positivo); T2: 25 % de remoción de forraje; T3: 50 % de remoción de forraje; T4: 75 % de remoción de forraje; T5: 100 % de remoción de forraje (control negativo).

En cada parcela se determinó la oferta de MS de la leguminosa y del cultivo indicador (maíz), contenido de nutrientes en la biomasa (N, P, Ca, Mg y K) en las leguminosas y PC (proteína cruda), FDN (fibra detergente neutro), FDA (fibra detergente ácido), DIVMS (digestibilidad in vitro de la materia seca)

en el maíz. En el suelo se estableció el nivel de NO₃ (Phiri et al. 2001), N total (Krom 1980) y carbono total (C) (Nelson y Sommers 1982).

Análisis estadístico. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. La comparación de medias se realizó con la prueba Tukey (SAS v 9.3).

Resultados y discusión

Producción de la leguminosa y el cultivo forrajero indicador (maíz). La biomasa de leguminosa incorporada al suelo varió entre 1.051 y 3.742 kg MS ha⁻¹ en los tratamientos de 75 % y 0 % de remoción de leguminosa, respectivamente (tabla 1). El porcentaje de remoción de la leguminosa mostró efectos significativos ($p < 0,05$) sobre la producción de biomasa del cultivo forrajero indicador. Con 0 % de remoción se presentó la mayor producción de forraje de maíz (12.601 kg MS ha⁻¹) en comparación con el forraje cosechado (8.584 kg MS ha⁻¹) con el 100 % de remoción de leguminosa. Los resultados mostraron, además, que con la remoción de hasta un 50 % de la leguminosa para fabricar heno, no se afectó ($p > 0,05$) el rendimiento de forraje de maíz (11.283 kg MS ha⁻¹) en comparación con el testigo donde no se removió leguminosa (12.601 kg MS ha⁻¹).

En este estudio no se incluyó un control negativo absoluto (suelo desnudo), lo cual pudo resultar en sobreestimación de la producción de forraje de maíz en las parcelas con 100 % de remoción. Esto, si se tiene en cuenta que la leguminosa pudo fijar N durante los 65 días que se tuvo el abono verde en el campo antes de ser removida.

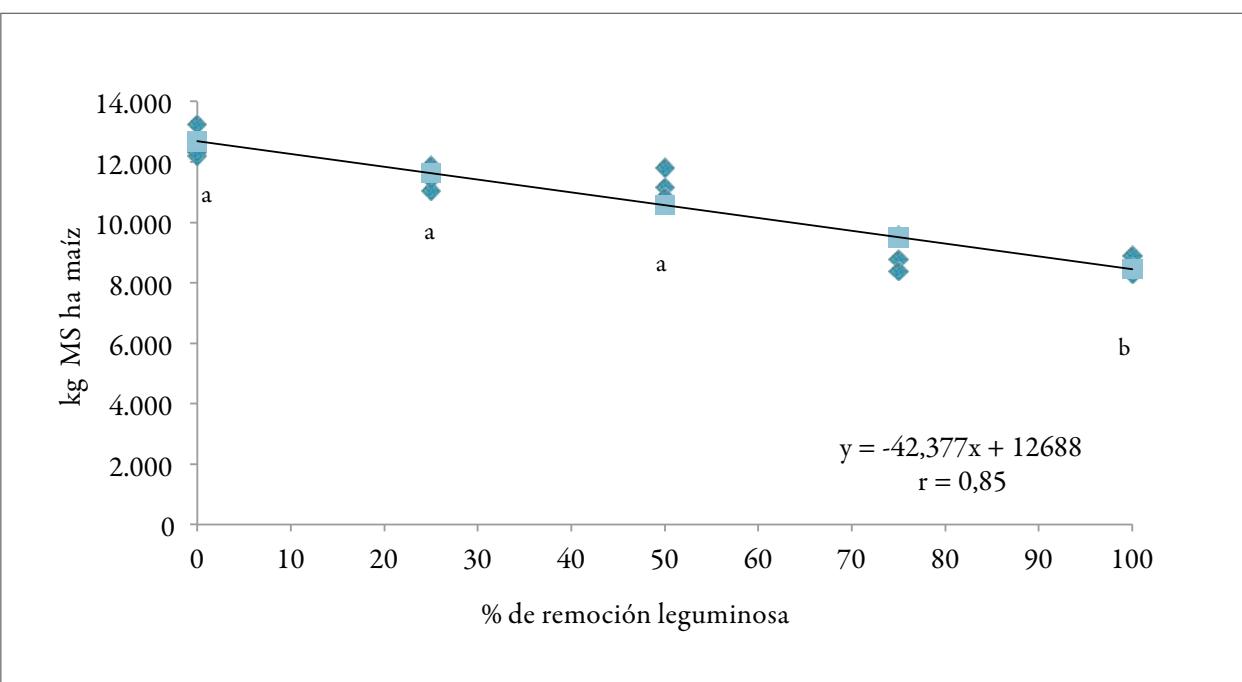
La mayoría de estudios consultados indican que existe una relación directa entre el rendimiento del cultivo posterior y el N aportado por las leguminosas incorporadas al suelo como abono verde. En el presente estudio se encontró una relación lineal ($p < 0,001$; $r = 0,85$) entre los kg ha⁻¹ de leguminosa removida y el forraje de maíz cosechado, siendo el punto crítico de remoción a partir del 50 % donde se presenta la mayor disminución en rendimiento de maíz (figura 1).

Tabla 1. Biomasa seca de la leguminosa incorporada y producción de biomasa del cultivo indicador (maíz)

Tratamiento	Leguminosa incorporada	Forraje de maíz
	kg MS	kg MS ha ⁻¹
Remoción 0 %	3.742	12.601 a
Remoción 25 %	3.386	11.676 a
Remoción 50 %	1.704	11.283 a
Remoción 75 %	1.051	8.908 b
Remoción 100 %	0	8.584 b
Promedio		10.610

Nota: Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

**Figura 1.** Relación entre la remoción de biomasa de leguminosa (%) y el rendimiento de biomasa del cultivo indicador (maíz) (kg Ms ha⁻¹).

Nota: Medias seguidas por letras iguales no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

En este análisis de regresión, se observó que, con un nivel de remoción de 75 % de leguminosa, hubo una disminución en rendimiento de forraje de maíz de 27 % con respecto al testigo y que este rendimiento no fue diferente ($p > 0,05$) a la disminución (30 %)

que se observó en el testigo con 100 % de remoción (figura 1). Además, fue evidente que con niveles de remoción de 25 % y 50 % de leguminosa, la disminución (8 % y 9 %) en producción de biomasa de maíz no fue diferente ($p > 0,05$) con respecto al testigo.

Los valores relativamente bajos de reducción en biomasa de maíz que se observaron con remociones de 50 %, 75 % y 100 % de abono verde sugieren que, en las parcelas donde se realizó el ensayo, el nitrógeno total (NT) en el suelo no era muy limitante. En otros estudios (Roncallo et al. 2012) realizados en la el centro de investigación donde se realizó este, se encontraron niveles de NT en el suelo que variaron entre 0,02 % y 0,09 %, que son menores a los encontrados es este estudio (0,10 % a 0,12 %). Por lo tanto, se podría esperar que, en suelos con menos NT, los efectos de remoción de leguminosa en producción de biomasa de maíz sean mayores a los encontrados en este estudio.

Calidad nutricional cultivo indicador (forraje de maíz). El contenido de PC en el forraje de maíz no varió ($p > 0,05$) debido al nivel de remoción de leguminosa (tabla 2). Sin embargo, el contenido de FDN del forraje de maíz presentó diferencias ($p < 0,05$) con niveles de remoción, aun cuando no grandes numéricamente. El nivel de FDA en el forraje de maíz también varió entre tratamientos ($p < 0,05$) siendo el rango entre 35,8 (75 % de remoción) y 44,2 % (50 % de remoción). La DIVMS del forraje de maíz presentó diferencias ($p < 0,05$) debido a tratamientos pero estas entre tratamiento (rango 61 % a 68 %) no fueron altas (tabla 2).

En general, los parámetros de calidad en el forraje de maíz variaron debido al nivel de incorporación de abono verde de leguminosa, pero las diferencias no fueron significativas y los valores se encuentran dentro de los rangos reportados en otros estudios realizados en Nicaragua, Honduras y Colombia (Amador y Boschini 2000; Elizondo y Boschini 2001; Jiménez et al. 2005; Sandoval 2007).

Contenido de minerales en la leguminosa removida. No se esperaban mayores diferencias en el contenido de minerales de la leguminosa removida en diferentes niveles para hacer heno y así lo demuestra el hecho que los niveles de Ca y S de la parte aérea de la leguminosa fueron similares ($p > 0,05$) (tabla 3).

Sin embargo, sí se observaron diferencias ($p < 0,05$) aun cuando pequeñas, en el contenido de P, Mg y K en la leguminosa removida en diferentes niveles. El contenido de minerales en la leguminosa incorporada está dentro de los rangos (N: 1,5 % a 3,7%; P: 0,11 % a 0,4%; K: 1,3 % a 3,5; Ca: 0,8 % a 1,8%; y Mg: 0,4 a 0,7%) reportados en otros estudios realizados en el Valle del Cauca, Colombia (Cobo et al. 2002), México, Nicaragua (Pauth et al. 1997; Vivas et al. 2011) y Honduras (Jara 1997).

Tabla 2. Calidad nutricional del cultivo forrajero indicador (maíz)

Tratamiento	PC	FDN	FDA	DIVMS
Remoción 0 %	7,4	57,7 ab	37,4 b	64,7 ab
Remoción 25 %	7,7	58,5 ab	40,8 ab	63,2 ab
Remoción 50 %	7,6	59,3 a	44,2 a	65,7 ab
Remoción 75 %	6,6	53,5 b	35,8 b	67,7 a
Remoción 100 %	6,9	57,0 ab	41,0 ab	61,0 b
Promedio	7,3	57,2	39,9	64,4

Nota: Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Contenido de minerales en la leguminosa removida en diferentes proporciones (%)

Tratamiento	N	P	Ca	Mg	K	S
Remoción 0 %	3,05	0,23 bc	1,94	0,20 b	2,09 b	1,51
Remoción 25 %	2,82	0,24 abc	2,06	0,24a	2,04 b	1,05
Remoción 50 %	2,98	0,27 a	1,91	0,24 a	2,63 a	1,71
Remoción 75 %	3,14	0,22 c	1,95	0,22 ab	2,31 ab	1,02
Remoción 100 %	2,99	0,26 ab	1,95	0,22 ab	2,51 ab	0,94
Promedio	2,36	0,24	1,95	0,22	2,31	1,24

Nota: Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey

Fuente: Elaboración propia

Nitrógeno en el suelo. Los niveles de NO_3 en suelo en las parcelas al momento de remoción e incorporación de la leguminosa no presentaron diferencias ($p > 0,05$) entre los tratamientos, pero sí entre momentos de medición (figuras 2 y 3).

Al momento de la cosecha del maíz no se presentaron diferencias ($p > 0,05$) en el contenido de NT

(figura 2) asociadas al tratamiento de nivel de remoción/incorporación de leguminosa. Al comparar el nivel de NT en el suelo en los dos momentos de medición se observó que se no se presentaron diferencias ($p < 0,05$), independientemente del nivel de incorporación/remoción de leguminosa.

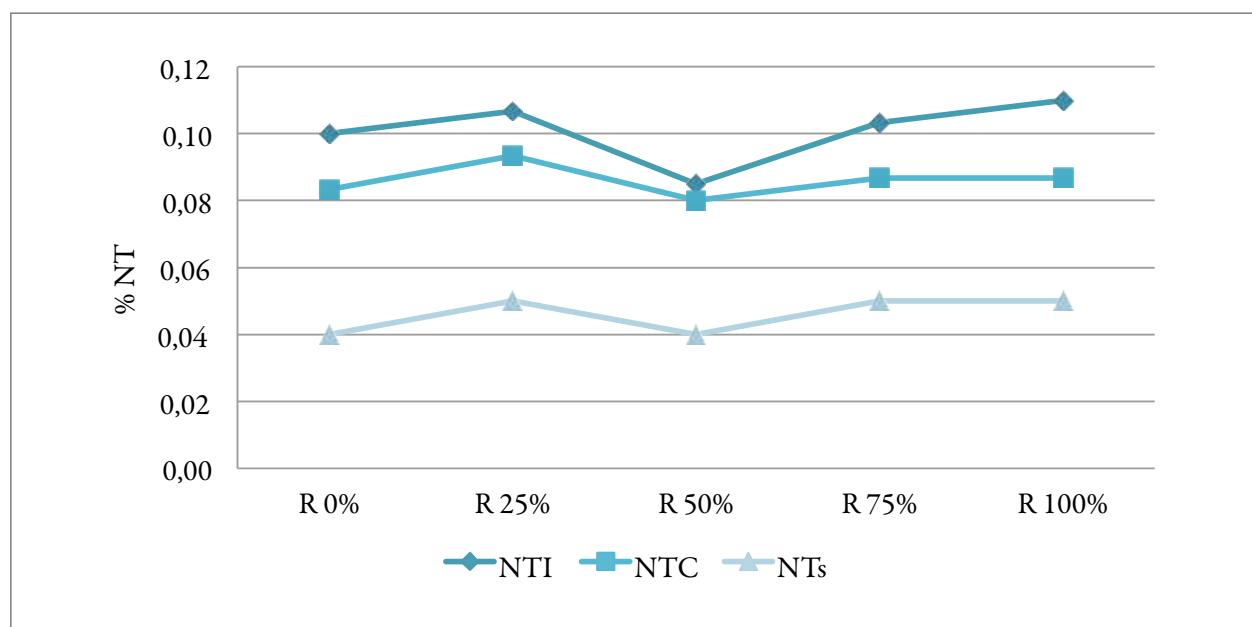


Figura 2. Contenido de nitrógeno total (NT) en el suelo en el momento de siembra (NTs) e incorporación de la leguminosa (NTI) y al momento de cosecha del maíz (NTC). (R: niveles de remoción 0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100 %). Nota: Las letras a y b corresponden a comparación entre los momentos de incorporación y de cosecha

Fuente: Elaboración propia

Los niveles de NO_3 en suelo presentaron diferencias ($p < 0,05$) en los tratamientos de 0 %, 25 % y 75 % de remoción entre el momento de la incorporación de la leguminosa y a la cosecha del maíz (figura 3). Por otra parte, en las parcelas donde se removió un 75 % y 100 % de leguminosa, el nivel

de NO_3 , al momento de la cosecha de forraje de maíz, fue menor al nivel observado en el momento en que se incorporó al suelo el abono verde. Esto sugiere que, con la remoción de 75 % y 100 % del abono verde, el aporte de N de la leguminosa al maíz fue baja.

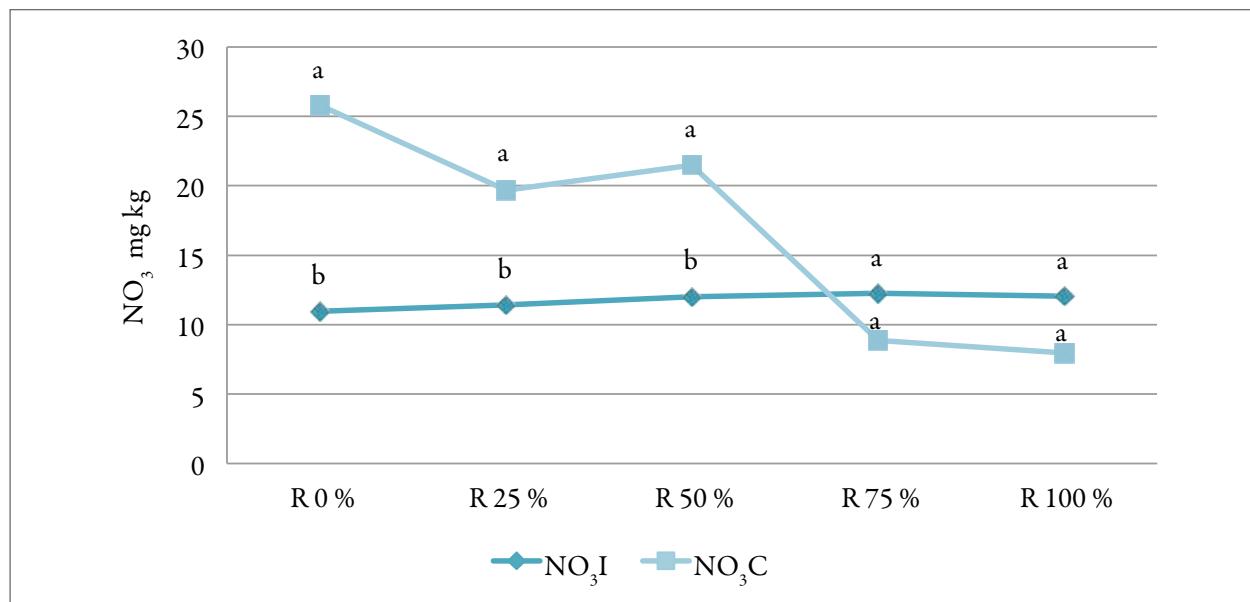


Figura 3. Nivel de nitratos (NO_3) en el suelo en el momento de incorporación de la leguminosa (NTI) y al momento de cosecha del maíz (NTC). (R: niveles de remoción 0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100 %).

Nota: Las letras a y b corresponden a comparación entre tiempo de incorporación y tiempo de cosecha

Fuente: Elaboración propia

Con la incorporación de leguminosas como abonos verdes, el N en el suelo puede estar disponible hasta 90 días después de la incorporación (Barrios et al. 1996; Seneviratne 2000). En otros estudios se ha reportado que valores por encima de 46 mg kg^{-1} de NO_3 se consideran altos y con potencial riesgo de lixiviación y contaminación de acuíferos (Anken et al. 2004). En este estudio se encontraron niveles de NO_3 que variaron entre 15 y 27 mg kg^{-1} de NO_3 en el suelo después de la cosecha de maíz en los tratamientos donde se incorporó abono verde de leguminosa.

Carbono en el suelo. El contenido de carbono orgánico (C) en el suelo fue mayor ($p < 0,05$) al momento de cosecha del maíz en los tratamientos de 0 %, 25 % y 50 % de remoción con valores que variaron de 0,66 % a 0,70 %, frente al momento de incorporación de la

leguminosa. Para el caso de los niveles de remoción de 75 % y 100 % de leguminosa, se encontró un nivel inferior de C en el suelo al momento de cosecha del maíz (figura 4). En el momento de cosecha del forraje de maíz, el nivel de C fue de 0,70 % con 0 % de remoción de leguminosa y de 0,50 % en el tratamiento de 100 % de remoción ($p < 0,05$).

El aumento en el contenido de C en el suelo en los niveles de 0 %, 25 % y 50 % de remoción al momento de cosecha del maíz, con respecto al nivel inicial, se puede asociar con el nivel de incorporación de materia orgánica (Nziguheba et al. 2005; Seneviratne 2000). Por otra parte, se incorporó un material como *C. brasiliensis* con una relación C: N de 12,3, la cual es adecuada para una rápida degradación del material incorporado (Barrios et al. 1997; Sakala et al. 2000).

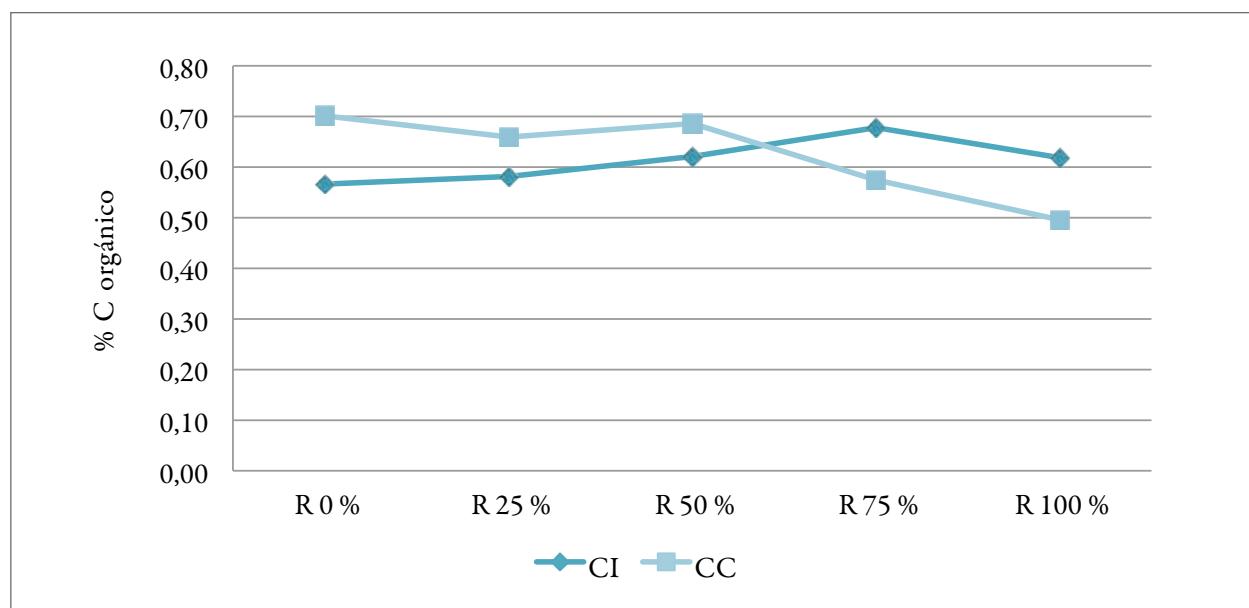


Figura 4. Contenido de carbono (% C) en el suelo en el momento de incorporación de la leguminosa (CI) y al momento de cosecha del maíz (CC). (R: niveles de remoción 0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100 %).

Nota: Las letras a y b corresponden a comparación entre tiempo de incorporación y tiempo de cosecha

Fuente: Elaboración propia

Experimento 2. Suplementación de heno de leguminosa a vacas lecheras

Para el desarrollo de este experimento se estableció un lote (1 ha) de *C. brasiliensis* para producir el heno necesario para la suplementación de vacas lecheras en época seca. Los niveles de suplementación se definieron de acuerdo al peso vivo (PV) de las vacas en cuatro niveles (0 %, 0,5 %, 1,0 %, y 1,5 % MS PV vaca día⁻¹).

El estudio se realizó en la finca San Carlos (Agustín, Codazzi - 10°02'12'' N) con vacas de mediano potencial de producción de leche. Se emplearon dos vacas por tratamiento 7/8 gyr x 1/8 pardo suizo, de segundo parto y primer tercio de lactancia. Durante el periodo experimental (56 días) las vacas se alimentaron en una pastura de colosuana (*Bothriochloa pertusa*) de 16 ha (1 vaca ha⁻¹). Cada periodo experimental tuvo una duración de 14 días, de los cuales 7 días fueron de acostumbramiento y 7 de medición. El ordeño de los animales se realizó con el apoyo de ternero en las horas de la mañana.

Mediciones. Se midió la producción de leche diaria total por animal (vendible y consumida por el ternero).

Esta última se determinó por la diferencia de peso vivo antes y después del amamantamiento. A partir del día 10 del periodo de medición se tomaron muestras de leche para analizar su calidad composicional en términos de contenido de sólidos totales (AOAC 1998), proteína cruda (AOAC 1984) y grasa (AOAC 1998). También se midió la calidad nutricional del heno de leguminosa en términos de humedad, proteína cruda (AOAC 1984), FDN, FDA (Van Soest et al. 1991) y digestibilidad in vitro (Tilley y Terry 1963), y consumo del heno por diferencia (se pesó diariamente la cantidad ofrecida y rechazada de heno por animal en cada tratamiento, el cual se ofreció después del ordeño).

Análisis estadístico. Para el experimento se empleó un diseño de cuadrado latino 4 x 4 reversible y replicado, donde cada vaca recibió el tratamiento de suplementación de heno en cuatro periodos de 14 días cada uno (7 días de acostumbramiento y 7 de medición por periodo). Las variables de respuesta animal se sometieron a un análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey (SAS V 9.3).

Resultados y discusión

Disponibilidad de forraje y composición botánica en las pasturas experimentales. Los parámetros evaluados en las pasturas para cada uno de los tratamientos se presentan en la tabla 4. El pasto colosuana fue la especie representativa (superior al 85 %) en las pasturas utilizadas por las vacas suplementadas con el heno de leguminosa. Estas pasturas presentaron

una oferta de forraje superior a 2.000 kg MS ha⁻¹, lo cual fue consecuencia de un proceso de recuperación y posterior periodo de descanso de tres meses para lograr una cantidad aceptable y no limitante de consumo de forraje en época seca, que fue cuando se realizó el experimento. La composición nutricional del heno de *C. brasiliensis* ofrecido fue: proteína cruda (16,9 %), FDN (55,8 %), FDA (39,4 %), DIVMS (55,2 %).

Tabla 4. Oferta de forraje y composición botánica en pasturas de colosuana en los diferentes tratamientos de niveles de suplementación de heno de *C. brasiliensis*

Tratamiento	Rango
Oferta de forraje (kg MS ha ⁻¹)	2.159-2.385
Colosuana	83,2-90,1
Otras gramíneas	5,8-7,6
Arvenses	1,7-9,8
Leguminosas nativas	1,4-1,4

Fuente: Elaboración propia

Producción y calidad composicional de la leche. La producción de leche vendible fue mayor en los tres tratamientos de suplementación de heno de *C. brasiliensis* con relación al tratamiento testigo (tabla 5). Sin embargo, la producción total de leche (vendible + consumida por el ternero) no fue diferente ($p > 0,05$) entre los tratamientos,

pero tendió a incrementarse a medida que aumentó la oferta de heno. Por otra parte, se observó que, con un nivel de suplementación de 1,5 % de *C. brasiliensis*, se obtuvo un 17 % más de producción de leche (vendible) equivalente a 0,9 l dia⁻¹ más de leche que sin suplementación.

Tabla 5. Producción y calidad composicional de la leche en vacas suplementadas con diferentes niveles de inclusión de heno de *C. brasiliensis* en época seca

	Testigo	0,5 %*	1,0 %*	1,5 %*
Producción leche				
Vendible (kg/vaca/día)	4,33b	4,90ab	4,91ab	5,26a
Consumida por ternero (kg/día)	1,87	1,51	1,65	1,90
Total (kg/vaca/día)	6,21b	6,42ab	6,56ab	7,17a
Calidad composicional				
Sólidos totales (%)	12,22	12,17	12,26	12,29
Proteína (%)	3,19	3,18	3,20	3,18
Grasa (%)	3,83	3,91	3,93	4,03
Lactosa (%)	4,45	4,46	4,47	4,45

Nota: Medias seguidas por letras iguales en la misma fila no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey
Fuente: Elaboración propia

Estos resultados están de acuerdo con lo observado en otros estudios. Por ejemplo, en Kenia se evaluó la suplementación con *Gliricidia sepium*, *Mucuna pruriens* y *Clitoria ternatea* como suplementos proteínicos para vacas jersey lactantes alimentadas con rastrojo de maíz. Los resultados mostraron que la producción de leche fue de un 15 %, 20 % y 15 % mayor que en vacas alimentadas con la dieta control, respectivamente (Juma et al. 2006). En Colombia se evaluaron las leguminosas *Centrosema macrocarpum*, *C. acutifolium*, *C. brasiliense*, *Desmodium ovalifolium*, *Calliandra calothrysus*, *V. unguiculata* y *Stylosanthes guianensis* como suplementos a vacas lecheras y se encontraron incrementos de leche de 1 a 1,5 l día⁻¹ (Bernal et al. 2008; Holmann y Lascano 2004; Ullrich et al. 1994; Vera et al. 1996).

La calidad composicional de la leche no varió ($p > 0,05$) debido a los tratamientos de suplementación de heno de *C. brasiliensis* y los resultados (tabla 5) están dentro de los rangos reportados para la zona de Valledupar, Colombia (Mojica et al. 2013) y por los reportados por diferentes investigadores en México (Bustamante et al. 2002; Valerio et al. 2006; Villanueva et al. 2004).

Conclusiones

Los resultados de este estudio permiten sacar varias conclusiones, las cuales se resumen a continuación:

- La remoción de biomasa de abono verde hasta en un 50 % para elaborar heno de leguminosa no afectó el rendimiento del cultivo forrajero en rotación.
- La disminución en rendimiento del cultivo forrajero debido a remoción de abono verde de leguminosa en rotación fue poca, lo cual sugiere que el N en el suelo donde se realizó el experimento fue menos limitante de lo esperado.
- La inclusión de heno de *C. brasiliensis* como suplemento de vacas lecheras en época seca incrementó en 15 % la producción de leche vendible en vacas doble propósito bajo pastoreo en pasto colosuana.

En general, el estudio que se reporta indica que, con la integración de leguminosas forrajeras como abonos verdes y como alimento para el ganado en sistemas ganaderos doble propósito en el trópico seco, sería posible reducir costos de producción de cultivos forrajeros y aumentar la producción de leche en época seca, lo cual, a su vez, puede contribuir a la adopción por parte de los ganaderos y repercutir en mayor rentabilidad y competitividad de los sistemas doble propósito.

Referencias

- Amado TJC, Mielniczuk J, Aita C. 2002. Recomendações de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. Rev Bras Ciênc Solo. 26(1):241-248.
- Amador AL, Boschini C. 2000. Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. Agron Mesoam. 11(1):171-177.
- Anken T, Stamp P, Richner W, Walther U. 2004. Plant development, nitrogen dynamics and nitrate leaching from ploughed and direct-sown plots. Schriftenreihe der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik. (63):101.
- Association of Official Analytical Chemists. 1984. Official Methods of analysis of the Association of Analytical Chemists. 14^a ed. Washington, Estados Unidos: AOAC.
- Barrios E, Buresh RJ, Sprent JI. 1996. Nitrogen mineralization in density fractions of soil organic matter from maize and legume cropping systems. Soil Biol Biochem. 28 (10-11):1459-1465.
- Barrios E, Kwesiga F, Buresh RJ, Sprent JI. 1997. Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize. Soil Sci Soc Am J. 61(3):826-831.
- Bernal LJ, Ávila P, Ramírez G, Lascano CE. 2008. Efecto de la suplementación con heno de *Calliandra calothrysus* y *Vigna unguiculata* sobre la producción de leche por vacas Holstein x Cebú en Colombia. Arch Latinoam Prod Anim. [consultado: 2015 jun 15]; 16(3):109-114. http://www.alpa.org.ve/ojs/index.php/ojs_files/article/viewFile/623/497.

- Bustamante JJ, Villanueva JF, Bonilla JA, Rubio JV. 2002. Utilización del heno de clitoria (*Clitoria ternatea* L.) en la alimentación de vacas suizo pardo en lactación. *Tec Pecu Mex.* 42(3):477-487.
- Carvalho MAC de, Soratto RP, Athayde MLF, ARF O, Sá ME de. 2004. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema plantio direto e convencional. *Pesq Agropec Bras.* 39:47-53.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. 2009. Informe Anual 2008. Agricultura eco-eficiente para reducir la pobreza. Cali, Colombia: CIAT.
- Cobo JG, Barrios E, Kass DCL, Thomas RJ. 2002. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. *Plant Soil.* 240(2):331-342.
- Douxchamps S, Mena M, Van der Hoek R, Benavídez A, Schmidt A. 2011. *Canavalia brasiliensis* Mart. ex Benth CIAT 17009: forraje que restituye la salud del suelo y mejora la nutrición del ganado. Managua, Nicaragua: INTA, CIAT, ETH.
- Elbasha E, Thornton PK, Tarawali G. 1999. An *ex post* economic impact assessment of planted forages in West Africa. Nairobi, Kenya: International Livestock Research Institute.
- Elizondo J, Boschini C. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agron Mesoam.* 12(2):181-188.
- Fischler M, Wortmann CS. 1999. Green manures for maize-bean systems in eastern Uganda: Agronomic performance and farmers' perceptions. *Agrofor Syst.* 47:123-138.
- Heinrichs R, Vitti CG, Moreira A, Figueiredo PAM, Fancelli AL, Corazza EJ. 2005. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. *Rev Bras Ciênc Solo.* 29(1):71-79.
- Holmann FJ, Lascano C. 2004. Feeding systems with forage legumes to intensify dairy production in Latin America and the Caribbean: A project executed by the Tropileche Consortium. Cali, Colombia: CIAT, CGIAR, ILRI.
- Jara A. 1997. Evaluación del aporte de tres leguminosas (*Canavalia ensiformis*, *Mucuna deeringianum*, *Dolichos lablab*) usadas como abono verde sobre la recuperación de suelos de ladera degradados. *Ceiba (Honduras).* 38(1):95.
- Jiménez PA, Cortés H, Ortiz S. 2005. Rendimiento forrajero y calidad del ensilaje de canavalia en monocultivo y asociada con maíz. *Acta Agron.* 54(2):31-36.
- Juma HK, Abdulrazak SA, Miunga RW, Ambula, MK. 2006. Effects of supplementing maize stover with clitoria, gliricidia y mucuna on performance of lactating jersey cows in coastal lowland Kenya. *Trop Subtrop Agroecosyst.* 6(1):1-7.
- Krom MD. 1980. Spectrophotometric determination of ammonia - a study of a modified Berthelot reaction using salicylate and dichloroisocyanurate. *Analyst.* 105:305-316.
- Mojica JE, Castro E, Silva J, Hortua H, García L. 2013. Producción y calidad composicional de la leche en función de la alimentación en ganaderías doble propósito del departamento del Cesar. Bogotá, Colombia: Corpoica.
- Nelson DW, Sommers LE. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. En: Page AL, editor. *Methods of soil analysis.* Madison, Estados Unidos: American Society of Agronomy, Soil Society of America. p. 539-580.
- Nziguheba G, Merckx R, Palm CA. 2005. Carbon and nitrogen dynamics in phosphorus-deficient soil amended with organic residues and fertilizers in western Kenya. *Biol Fertil Soils.* 41:240-248.
- Pauth NJ, Olivas LH, Palma AM. 1997. Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de leguminosas nativas con potencial forrajero en Jalapa y Estelí, Nicaragua [trabajo de grado] [Estelí (Nicaragua)]: Escuela de Agricultura y Ganadería de Estelí Francisco Luis Espinoza Pineda.
- Pengelly BC, Whitbread A, Mazaiwana PR, Mukombe N. 2003. Tropical forage research for the future-Better use of research resources to deliver adoption and benefits to farmers. *Trop Grasslands.* 37:207-216.
- Peters M, Lascano CE. 2003. Linking on-station research with participatory approaches: Forage development as the pathway to forage technology adoption. *Trop Grasslands.* 37:197-203.
- Phiri S, Barrios E, Rao IM, Singh BR. 2001. Changes in soil organic matter and phosphorus fractions under planted fallows and a crop rotation system on a Colombian volcanic-ash soil. *Plant Soil.* 231(2):211-223.
- Roncallo B, Murillo J, Bonilla R, Barros J. 2012. Evolución de las propiedades del suelo en un arreglo agrosilvopastoril basado en ceiba roja (*Pachira quinata* (Jacq.) WS Alverson). *Corpoica Cienc Tecnol Agropec.* 13(2):167-178.
- Russelle MP, Entz MH, Franzluebbers AJ. 2007. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. *Agron J.* 99: 325-334.
- Sakala WD, Cadisch G, Giller KE. 2000. Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. *Soil Biol Biochem.* 32(5):679-688.
- Sandoval B. 2007. Características agronómicas y nutricionales de asociaciones de gramíneas y leguminosas tropicales [tesis de maestría]. [Mayagüez]: Universidad de Puerto Rico.
- Seneviratne G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. *Biol Fertil Soils.* 31: 60-64.
- Tilley JM, Terry RA. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass Forage Sci.* 18(2):104-111.
- Thomas D, Sumberg JE. 1995. A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa. *Agric Ecosyst Environ.* 54(3):151-163.
- Ullrich C, Vera RR, Weniger JH. 1994. Producción de leche con vacas de doble propósito en pasturas solas y asociadas con leguminosas. *Pasturas Tropicales.* 16(3):27-30.
- Valerio D, Soto Y, Matos F, Perea J, Acero R, García A. 2006. Estudio técnico-económico de dos leguminosas forrajeras tropicales en la alimentación del vacuno lechero en la región no de la República Dominicana. *Arch Zootec.* 55(211):263-272.

- Van Soest PJ, Roberton JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral fiber and no starch polysaccharides in relation to nutrition. *J Dairy Sci.* 74:3583-3597.
- Vera RR, García O, Botero R, Ullrich C. 1996. Producción de leche y reproducción en sistemas de doble propósito: algunas implicaciones para el enfoque experimental. *Pasturas Tropicales.* 18(3):25-32.
- Villanueva JF, Bonilla JA, Rubio JV, Bustamante JJ. 2004. Agrotecnia y utilización de *Clitoria ternatea* en sistemas de producción de carne y leche. *Tec Pecu Mex.* 42(1):79-96.
- Vivas EF, Rosado JG, Castellanos AF, Heredia M, Cabrera EJ. 2011. Contenido mineral de forrajes en predios de ovinocultores del estado de Yucatán. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2(4):465-475.
- Wilkins RJ. 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 363(1491):517-525. <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/363/1491/517>. doi: 10.1098/rstb.2007.2167.