



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Utilización de leguminosas forrajeras como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros y leche en ganaderías doble propósito en el trópico seco

Edwin Castro Rincón

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Bogotá, Colombia

2016

Utilización de leguminosas forrajeras como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros y leche en ganaderías doble propósito en el trópico seco

Edwin Castro Rincón

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Doctor en Ciencias-Producción Animal

Director (a):

Carlos Eduardo Lascano A. Ph.D

Codirector (a):

Juan E Carulla F. Ph.D

Línea de Investigación:

Nutrición de rumiantes

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Bogotá, Colombia

2016

A Dios, a mi esposa Victoria, a mis padres y amigos por acompañarme en esta etapa de mi vida

Agradecimientos

A Corpoica por la financiación del trabajo de tesis y la oportunidad de realizar mi formación Doctoral.

A la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por toda la formación recibida.

Al Dr Carlos Lascano por su tutoría y enseñanza durante todo el desarrollo del proyecto

Al Dr Juan Carulla por sus sabios consejos y acompañamiento en el proceso

A la Dra Martha Pabón, por sus grandes lecciones, consejo y apoyo.

Al Dr Álvaro Rincón por su apoyo dentro de Corpoica en el desarrollo del proyecto.

A Jose Edwin Mojica, investigador y amigo, por hacer parte de este proyecto.

A Andrea Sierra, Guillermo Brochero, Deiglis, Jose Luis, Ezequiel, Lucho, por su apoyo en las pruebas con animales por todo el trabajo realizado en pro del proyecto.

A Paola Sotelo, investigadora y amiga por su útil ayuda en el remate

A Victoria, mi esposa, amiga y compañera, por su motivación, amor, ayuda y compañía incondicional.

A mis familiares y amigos y a todas las personas que de uno u otro modo y hasta sin saberlo fueron de gran ayuda.

Resumen

Los sistemas ganaderos de doble propósito en el trópico son afectados durante la época seca con reducción en la producción de leche, debido a la disminución en la cantidad y calidad de los forrajes. El impacto de la sequía se puede disminuir mediante el uso de cultivos forrajeros como suplementos, pero requieren aplicación de N, lo cual no es económicamente viable. Una alternativa es usar leguminosas forrajeras como abonos verdes en rotación con cultivos forrajeros para que suplan N. Sin embargo, su adopción en sistemas ganaderos ha sido muy baja, posiblemente debido a que los productores no ven beneficios directos de su uso en producción de leche. En este estudio se evaluó y cuantificó como el uso de leguminosas forrajeras como abonos verdes en sistemas lecheros tropicales contribuye en forma directa a la producción de leche cuando se suplementan vacas con leguminosas henificadas, y en forma indirecta cuando la leguminosa no cosechada para henificar se usa como abono en rotación con cultivos forrajeros para ensilar. Se determinó el aporte de N de leguminosas usadas como abono verde en producción de forraje de maíz. El aporte equivalente de N varió entre 35 y 151 kg ha⁻¹, siendo el mayor aporte con la leguminosa *Canavalia ensiformis* y el menor con *V. unguiculata*. También se evaluaron cuatro leguminosas y dos niveles de N con dos manejos (M1: siembra del cultivo forrajero 4 meses después de incorporado el abono y M2: siembra del cultivo 1 mes después de incorporado el abono). *C. brasiliensis* y *L. purpureus* son una opción para ser usadas como abono verde en sistemas ganaderos en trópico seco. Los manejos de abonos verdes no afectaron el rendimiento de maíz, pero sí podrían tener efectos ambientales negativos. Adicionalmente, se encontró que hasta con un 50% de remoción de biomasa de una leguminosa cultivada como abono verde no se afectó en forma significativa ($p > 0,05$) el rendimiento (11.283 kg MS ha⁻¹) del cultivo forrajero en comparación con el control de no remoción (11.382 kg MS ha⁻¹). Cuando se suplementó a vacas con heno de leguminosa producido a partir de la biomasa removida del abono verde se logró un aumento de 17% en producción de leche con un nivel de suplementación de 1,5% del PV/día. También se generaron recomendaciones específicas de fertilización nitrogenada, en función de expectativas de producción usando el sistema experto NuMaSS. Se establecieron tres experimentos con diferentes niveles de N y la incorporación de leguminosas como abono verde en maíz. Las recomendaciones generadas con NuMaSS indican que las leguminosas aportan N suficiente para el maíz (36 - 79 kg N ha⁻¹). En general, el estudio 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 de abonos por ganaderos, repercutiendo en mayor rentabilidad y competitividad de los sistemas doble propósito.

Palabras clave: nitrógeno, heno, equivalente N, Canavalia, Lablab, NuMaSS

Abstract

The dual-purpose cattle systems in the tropics are affected during the dry season with reduction in milk production due to the decrease in the quantity and quality of forage. The impact of drought can be reduced through the use of forage crops as supplements, but require application of N, which is not economically viable. An alternative is to use legumes as green manure in rotation with forage crops that replace N. However, its adoption in livestock systems has been very low, possibly because producers do not see direct benefits of its use in milk production. This study assessed and quantified as the use of legumes as green manures in tropical dairy systems contributes directly to milk production when cows are supplemented with legume hay, and indirectly supplemented when the legume is not harvested for hay used as manure in rotation with forage crops for silage. N supply of legumes used as green manure in forage maize production was determined. The equivalent contribution of N varied between 35 and 151 kg ha⁻¹, with the largest contribution to the legume *Canavalia ensiformis* and *V. unguiculata* lower with. Four pulses and two levels of N were also assessed with two managements (M1: forage crop planting four months after the fertilizer and M2: crop planting built one month after the payment). *C. brasiliensis* and *L. purpureus* are an option to be used as green manure in farming systems in dry tropics. The handling of green manure did not affect corn yield, but may have negative environmental effects. Additionally, it was found that up to 50% removal of biomass from a legume grown as green manure was not affected significantly ($p > 0.05$) yield (11.283 kg DM ha⁻¹) compared to forage crop removal not control (11.382 kg DM ha⁻¹). When I was supplemented cows legume hay produced from biomass removed from the green manure an increase of 17% in milk production with supplementation level of 1.5% LW/day was achieved. Specific nitrogen fertilization recommendations were also generated depending on production expectations NuMaSS using the expert system. And the incorporation of legumes as green manure on corn. Three experiments with different levels of N were established. The recommendations generated by NuMaSS indicate that legumes provide sufficient N for corn (36-79 kg N ha⁻¹). Overall, the study indicates that the integration of legumes as green manure and as cattle feed in dual purpose cattle systems in the dry tropics, could reduce production costs of fodder crops and increase milk production in the dry season, which in turn can contribute to the adoption of fertilizers by farmers, affecting greater profitability and competitiveness of dual purpose systems.

Keywords: nitrogen, hay, equivalent N, *Canavalia*, Lablab, NuMaSS.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Abstract	X
Lista de gráficos	XIV
Lista de tablas	XVI
Lista de Símbolos y abreviaturas	XVIII
Introducción	1
1. Evaluación e integración de abonos verdes en sistemas de producción de leche doble propósito en el trópico seco	5
1.1 Funciones de los abonos verdes	7
1.2 Especies de leguminosas usadas como abonos verdes	8
1.3 Efecto de abonos verdes en fertilidad del suelo y producción de cultivos	9
1.3.1 Abonos verdes y el ciclo del nitrógeno	9
1.4 Relación Carbono: Nitrógeno (C:N) en leguminosas y humedad en suelo	11
1.5 Efecto de abonos verdes en producción de cultivos	12
1.6 Efecto de uso de leguminosas como suplementos en producción de leche en época seca	14
1.7 Adopción de leguminosas como abonos verdes en sistemas agrícolas y ganaderos.....	16
1.7.5 Perspectivas en la adopción de leguminosas en sistemas ganaderos para uso múltiple.....	20
1.8 Conclusiones de la revisión de literatura.....	21
2. Aporte equivalente de nitrógeno de leguminosas empleadas como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros en sistemas de ganadería doble propósito en el Caribe seco	33
2.1 Introducción	35
2.2 Materiales y métodos.....	36
2.2.1 Variables medidas.....	37
2.2.2 Análisis estadístico.....	37
2.3 Resultados y Discusión.....	37
2.3.1 Producción de biomasa y aporte de N en leguminosas	37
2.3.2 Contenido de minerales en las leguminosas	39
2.3.3 Producción de biomasa del cultivo indicador (maíz).....	40
2.3.4 Calidad nutricional del cultivo indicador (maíz).....	42

2.3.5	Nitrógeno en el suelo	43
2.3.6	Relación Carbono: Nitrógeno (C:N) en leguminosas y humedad en suelo	45
2.4	Conclusiones.....	48
2.5	Bibliografía	48
3.	Efecto de manejo de abonos verdes de leguminosas en la producción de un cultivo forrajero para ensilar en sistemas ganaderos del trópico seco.....	55
3.1	Introducción.....	57
3.2	Materiales y métodos	58
3.2.1	Parcelas experimentales.....	60
3.2.2	Variables Medidas	60
3.2.3	Análisis estadístico	61
3.3	Resultados y discusión.....	61
3.3.1	Producción de biomasa y aporte de N en leguminosas.....	61
3.3.2	Contenido de minerales en las leguminosas.....	63
3.3.3	Producción de biomasa del cultivo forrajero de maíz	64
3.3.4	Calidad nutricional del forraje de maíz en rotación con abonos verdes.....	65
3.3.5	Nitrógeno y Carbono en el suelo.....	66
3.3.6	Consideraciones sobre manejo de abonos verdes derivadas del estudio	69
3.4	Conclusiones.....	69
4.	Efecto de remoción de biomasa de leguminosa utilizada como abono verde en la producción de forraje de maíz y de leche de vacas suplementadas en época seca con heno de leguminosa removida del abono verde.....	75
4.1	Introducción.....	77
4.2	Materiales y métodos	79
4.2.1	Experimento 1: Remoción de diferentes niveles de leguminosa usada como abono verde	79
4.2.2	Análisis estadístico	80
4.3	Resultados y Discusión	80
4.3.1	Producción de la leguminosa y el cultivo forrajero indicador (maíz)	80
4.3.2	Calidad nutricional cultivo indicador (forraje de maíz)	82
4.3.3	Contenido de minerales en la leguminosa removida.....	83
4.3.4	Nitrógeno en el suelo.....	83
4.3.5	Carbono en el suelo.....	85
4.4	Experimento 2: Suplementación de heno de leguminosa a vacas lecheras.....	86
4.4.1	Mediciones	87
4.4.2	Análisis estadístico	87
4.5	Resultados y discusión.....	87
4.5.1	Disponibilidad de forraje y composición botánica en las pasturas experimentales.....	87
4.5.2	Producción y calidad composicional de la leche	88
4.6	Conclusiones.....	89
4.7	Bibliografía	90
5.	Recomendaciones con el sistema experto NuMaSS para fertilización nitrogenada en maíz a partir de abonos verdes de leguminosas	95
5.1	Introducción.....	97
5.2	Metodología	98
5.2.1	Variables medidas	99

5.2.2	Análisis estadístico.....	99
5.3	Resultados y Discusión.....	100
5.3.1	Producción de biomasa y aporte de N en leguminosas	100
5.3.2	Contenido de minerales en las leguminosas	102
5.3.3	Producción de biomasa en cultivo indicador (maíz).....	103
5.3.4	Nitrógeno en el suelo	106
5.3.5	Relación Carbono: Nitrógeno (C:N) en leguminosas y humedad en suelo ..	111
5.3.6	Recomendaciones con el sistema experto NuMaSS	114
5.3.7	Resultados NuMaSS.....	116
5.4	Conclusiones	117
6.	Conclusiones y recomendaciones	125
6.1	Conclusiones	125
6.2	Recomendaciones.....	127
	Se recomienda en general realizar investigación estratégica en estudios sobre procesos mecanísticos en el suelo asociados con el uso de leguminosas como abonos verdes en sistemas ganaderos para diseñar mejores estrategias de manejo.....	127
A.	Anexo 1: Instrucciones para autores Revista Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia	129

Lista de gráficos

	Pág.
Gráfico 2-1: Relación entre nivel de N químico y N de leguminosas incorporado (kg ha^{-1}) y eficiencia aparente de uso del nitrógeno por un cultivo de maíz.....	41
Gráfico 2-2: Contenido nitrógeno total (NT) en el suelo en el momento de incorporación de la leguminosa (NTI), al momento de cosecha del maíz (NTC) y al momento de siembra de las leguminosas (NTS)	44
Gráfico 2-3: Contenido de nitrato (NO_3) en el suelo al momento de la incorporación de la leguminosa (NO_3I), al momento de la cosecha del maíz (NO_3C) y al momento de siembra de las leguminosas (NO_3S).....	44
Gráfico 2-4: Contenido de carbono orgánico (C) en el suelo asociado con la incorporación de la leguminosa (CI) y momento de cosecha del maíz (CC).....	47
Gráfico 3-1: Curva de precipitación y evapotranspiración durante los momentos de manejo de incorporación de leguminosa y siembra de maíz. SL: siembra leguminosa; IL: incorporación leguminosa; SM: siembra maíz; CM: Cosecha maíz.	59
Gráfico 4-1: Relación entre la remoción de biomasa de leguminosa (%) y el rendimiento de biomasa del cultivo indicador (maíz) (kg Ms ha^{-1}).....	81
Gráfico 4-2: 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).	84
Gráfico 4-3: Nivel de nitratos (NO_3) en el suelo en el momento de incorporación de la leguminosa (NO_3I) y al momento de cosecha del maíz (NO_3C).....	85
Gráfico 4-4: Contenido de carbono (% C) en el suelo en el momento de incorporación de la leguminosa (CI) y al momento de cosecha del maíz (CC).....	86
Gráfico 5-1: Relación entre nivel de N incorporado y eficiencia aparente de uso del nitrógeno.....	106
Gráfico 5-2: Dinámica de nitrógeno total (N) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en el CI Motilonia C. <i>brasiliensis</i> ; CE: <i>C. ensiformis</i> ; VU: <i>V. unguiculata</i> ; C. <i>brasiliensis</i> ; CT: <i>C. ternatea</i> ; VU: <i>V. unguiculata</i> . LP: <i>L. purpureus</i>	107
Gráfico 5-3: Dinámica de nitrógeno total (N) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en la finca Doña Rosa	107
Gráfico 5-4: Dinámica de nitrógeno total (N) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en la finca Salguero.....	108
Gráfico 5-5: Dinámica de nitrato disponible (NO_3) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en el CI Motilonia.....	109

Gráfico 5-6: Dinámica de nitrato disponible (NO_3) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en la finca Doña Rosa	109
Gráfico 5-7: Dinámica de nitrato disponible (NO_3) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en la finca Salguero	110
Gráfico 5-8: Dinámica de carbono orgánico (C) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en el CI Motilonia	113
Gráfico 5-9: Dinámica de carbono orgánico (C) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en la finca Doña Rosa, La Paz	113
Gráfico 5-10: Dinámica de carbono orgánico (C) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en la finca Salguero, Valledupar	114

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Producción de biomasa, contenido de nitrógeno (N) y aporte de N equivalente por las leguminosas evaluadas como abono verde	38
Tabla 2-2: Concentración de minerales (%) en la parte aérea de las leguminosas evaluadas como abonos verdes.....	39
Tabla 2-3: Producción de biomasa del cultivo indicador (maíz) y extracción de N con una fuente de N químico y de leguminosas usadas como abonos verdes	40
Tabla 2-4: Calidad nutricional en el maíz (cultivo indicador) en función de fertilización con N o la incorporación de leguminosas al suelo	42
Tabla 2-5: Relación carbono nitrógeno (C:N) y humedad del suelo en las leguminosas evaluadas	46
Tabla 3-1: Producción de biomasa y contenido de nitrógeno (N) en especies de leguminosas evaluadas como abono verde con dos manejos.....	62
Tabla 3-2: Concentración de minerales (%) en la parte aérea en las especies de leguminosas evaluadas como abonos verdes con dos manejos de siembra/incorporación	63
Tabla 3-3: Calidad nutricional en forraje de maíz en función de fertilización con N e incorporación al suelo de leguminosas usadas como abono verde	66
Tabla 3-4: Contenido de nitrógeno total (NT) y nitrato (NO ₃) en el suelo con diferentes manejos de siembra/incorporación de leguminosas usadas como abonos verdes.....	67
Tabla 4-1: Biomasa seca de la leguminosa incorporada y producción de biomasa del cultivo indicador (maíz)	80
Tabla 4-2: Calidad nutricional del cultivo forrajero indicador (maíz).....	82
Tabla 4-3: Contenido de minerales en la leguminosa removida en diferentes proporciones (%).....	83
Tabla 4-4: Oferta de forraje y composición botánica en pasturas de Colosuana en los tratamientos de niveles de suplementación de heno de <i>C. brasiliensis</i>	88
Tabla 4-5: Producción y calidad composicional de la leche en vacas suplementadas con diferentes niveles de inclusión de heno de <i>C. brasilienses</i> en época seca.....	89
Tabla 5-1: Análisis de suelos de los sitios donde se realizaron los experimentos	99
Tabla 5-2: Producción de biomasa, contenido de nitrógeno (N) y aporte de N equivalente por las leguminosas evaluadas como abono verde en las tres localidades	100
Tabla 5-3: Contenido de minerales (%) en la parte aérea de las leguminosas evaluadas como abonos verdes en el CI Motilonia	102
Tabla 5-4: Contenido de minerales (%) en la parte aérea de las leguminosas evaluadas como abonos verdes en La Paz, Cesar	102

Tabla 5-5: Contenido de minerales (%) en la parte aérea de las leguminosas evaluadas como abonos verdes en Valledupar, Cesar	103
Tabla 5-6: Producción de biomasa del cultivo indicador (maíz), aporte de N y eficiencia de uso de N (EFN) en el maíz en los diferentes tratamientos en el CI Motilonia.....	104
Tabla 5-7: Producción de biomasa del cultivo indicador (maíz), aporte de N y eficiencia de uso de N (EUN) en el maíz en los diferentes tratamientos en la Paz, Cesar	104
Tabla 5-8: Producción de biomasa del cultivo indicador (maíz), aporte de N y eficiencia de uso de N (EUN) en el maíz en los diferentes tratamientos en Valledupar, Cesar	105
Tabla 5-9: Relación carbono nitrógeno (C:N) y humedad del suelo en las leguminosas evaluadas en las tres localidades	111
Tabla 5-10: Recomendación de fertilización nitrogenada de maíz (grano) obtenida con el sistema experto NuMaSS en función de niveles de N químico	115
Tabla 5-11: Recomendación de fertilización nitrogenada de maíz (grano) obtenida con el sistema experto NuMaSS en función de niveles de N de leguminosa incorporada.....	115

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura Término

C	Carbono
C:N	Relación carbono nitrógeno
Ca	Calcio
CB	<i>Canavalia brasiliensis</i>
CE	<i>Canavalia ensiformis</i>
CT	<i>Clitoria ternatea</i>
DIVMS	Digestibilidad in vitro de la materia seca
FDA	Fibra detergente ácido
FDN	Fibra detergente neutro
Ha	Hectárea
K	Potasio
Kg	kilogramo
LP	<i>Lablab purpureus</i>
m	metro
mg	miligramo
Mg	Magnesio
mm	milímetros
MO	Materia orgánica

Abreviatura Término

MS	Materia seca
N	Nitrógeno
NO ₃	Nitrato
NT	Nitrógeno total
P	Fosforo
PC	Proteína cruda
S	Azufre
VU	<i>Vigna unguiculata</i>

Introducción

En zonas secas donde predominan sistemas de ganado doble propósito, la producción de leche disminuye en forma significativa en época seca. Una alternativa para mantener la producción es mediante el uso de pastos de corte o cultivos anuales (maíz y sorgo) para ensilar (Tui et al. 2014; Mojica et al. 2013). Sin embargo, para que el uso de cultivos forrajeros sea sostenible se requiere de la aplicación de N, dado que en zonas tropicales con suelos de baja fertilidad es uno de los elementos más limitantes para la producción de biomasa de forrajes. Infortunadamente el uso de fertilizantes sintéticos es limitado por altos costos. Por otra parte, el uso de altos niveles de N químico puede tener efectos adversos, tales como producción de óxido nitroso (gas de efecto invernadero) y acumulación de nitratos en las aguas freáticas con efectos negativos en calentamiento global y salud humana, respectivamente (Schlesinger, 2009; Smith et al. 2007).

Como estrategia de suministro de N surge el uso de leguminosas como abonos verdes para suplir el N requerido por los cultivos forrajeros, tecnología ya documentada en diferentes escenarios, tanto para cultivos de maíz como de arroz (Biederbeck et al. 1998; Burle et al. 1992; Mureithi et al. 2003). Donde con la incorporación de las leguminosas como fuente de nutrientes al suelo, se ha logrado reemplazar parte de la fertilización química, mejorando las propiedades físicas y químicas del suelo (Douxchamps et al. 2014). La incorporación al suelo de abonos verdes de leguminosas para la producción y luego conservación de cultivos forrajeros no es una práctica generalizada en sistemas ganaderos del trópico. Sin embargo, se postula que su uso podría contribuir a minimizar el uso de fertilizantes nitrogenados y por ende a reducir los costos de producción de cultivos de los ensilajes (Ellis y Freeman 2004; Lemaire et al. 2013).

Sin embargo, 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 con beneficios que no compensan los costos de su implementación (Russelle et al. 2007; Wilkins 2008).

Por lo anterior, se postula 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 que se pierde) al usar parte de la leguminosa para incorporar al suelo y la otra para la alimentación animal.

Existen muchas opciones de especies de leguminosas con potencial para ser usada como abono verde, con sus respectivos beneficios en el mejoramiento de la fertilidad del suelo y productividad del cultivo asociado. Por otra parte, el efecto benéfico del uso de leguminosas como suplemento de bovinos en época seca, tanto en producción como en calidad de la leche está bien documentado en la literatura. Sin embargo, no existen estudios en los cuales leguminosas usadas como abonos verdes hayan sido evaluadas como henos para producir leche en época seca y como fuente de N para cultivos forrajeros utilizados como ensilaje o en sistemas de corte y acarreo.

Por lo tanto, partiendo de la hipótesis que leguminosas forrajeras adaptadas e introducidas en sistemas ganaderos doble propósito mejoran los rendimientos de cultivos forrajeros para ensilar y la producción y calidad composicional de la leche de bovinos en época seca cuando una parte de la biomasa se incorpora al suelo como abono verde y otra parte de la biomasa se cosecha para fabricar henos. Con el objetivo general de mejorar la productividad y rentabilidad de los sistemas lecheros doble propósito en el trópico seco a través del uso de leguminosas forrajeras en forma directa como heno y en forma indirecta como fuentes de nitrógeno para cultivos forrajeros usados como ensilaje para suplementar en época seca. Por medio de cuatro objetivos específicos: 1. Determinar el aporte equivalente de N de leguminosas empleadas como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros en sistemas de ganadería doble propósito. 2. Definir los efectos de leguminosas empleadas como abonos verdes en diferentes épocas del año en la

producción de cultivos forrajeros para ensilar 3. Evaluar el efecto de la remoción de diferentes niveles de biomasa de una leguminosa usada como abono verde en el rendimiento de un cultivo forrajero y en la producción de leche de vacas suplementadas con heno de la leguminosa removida. 4. Generar recomendaciones de fertilización nitrogenada (orgánica e inorgánica) en función de las expectativas de producción y utilizando el Sistema Experto NuMaSS.

1. Evaluación e integración de abonos verdes en sistemas de producción de leche doble propósito en el trópico seco

Resumen

En zonas secas donde predominan sistemas de ganado doble propósito la producción de leche disminuye en forma significativa en época seca. Una alternativa para mantener la producción es mediante el uso de cultivos anuales (maíz y sorgo) para ensilar. Sin embargo, para que el uso de cultivos forrajeros sea sostenible se requiere de la aplicación de N ya que es uno de los elementos más limitantes para la producción de biomasa de forrajes. Infortunadamente el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos es limitado por altos costos, Por otra parte los fertilizantes nitrogenados tienen efectos adversos, tales como producción y lixiviación de nitratos que contaminan las aguas freáticas con efectos negativos en salud humana y en producción de óxido nitroso que es un potente gas de efecto invernadero que tiene efectos negativos en calentamiento global. Una alternativa al uso de nitrógeno químico es el uso de leguminosas forrajeras fijadoras de N como abonos verdes para suplir el N requerido por los cultivos forrajeros, pero la adopción de los abonos verdes en sistemas ganaderos es muy baja posiblemente debido a que los beneficios que se obtienen con su uso no se reflejan en forma directa en producción de leche en épocas críticas del año, lo cual es importante para los productores. Por lo anterior, se postula que para que el uso de leguminosas como coberturas/abonos verdes sea atractivo para productores de leche en sistemas doble propósito en el trópico seco es necesario seleccionar leguminosas fijadoras de N con alta producción de biomasa y tolerancia a sequía y demostrar que esas leguminosas tienen efectos positivos en forma directa en la época seca en producción de leche cuando se suplementan como henos y en forma indirecta en el mejoramiento de los rendimientos de cultivos forrajeros utilizados como ensilaje a través del efecto de transferencia de N de la leguminosa al cultivo forrajero.

Palabras clave: nitrógeno, heno, equivalente N, Canavalia, Lablab

Evaluation and integration of green manure systems dual purpose milk production in the dry tropics

Abstract

In dry areas dominated dual purpose cattle systems the production of milk decreases significantly in dry season. An alternative to maintain production is using annual crops (maize and sorghum) for silage. However, for the use of forage crops is sustainable it requires the application of N as it is one of the most limiting factors for forage biomass production elements. Unfortunately the use of synthetic nitrogen fertilizers is limited by high costs, on the other hand nitrogen fertilizers have adverse effects, such as production and leaching of nitrates that contaminate groundwater with negative effects on human health and nitrous oxide production effects is a potent greenhouse gas that has negative effects on global warming. An alternative to the use of chemical nitrogen is the use of N-fixing legumes as green manure to supply the N required by forage crops, but the adoption of green manures in livestock systems is very low possibly because the benefits obtained with use not reflected directly in milk production in times of the year, which is important for producers. Therefore, it is postulated that the use of leguminous cover / green manure is attractive to dairy farmers in dual purpose systems in the dry tropics is necessary to select N fixing legumes with high biomass production and tolerance to drought and demonstrate these pulses have positive effects directly in the dry season milk production when supplemented as hay and indirectly in improving yields of forage crops used as silage through the transfer effect of the legume to N forage crop.

Keywords: nitrogen, hay, equivalent N, Canavalia, Lablab

1.1 Funciones de los abonos verdes

Los abonos verdes son especialmente útiles en sistemas donde hay bajo uso de insumos externos. Consistiendo en la incorporación de una cantidad de masa vegetal no descompuesta de plantas cultivadas para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Martín y Rivera 2001). Por otra parte, la adopción de abonos verdes podría ser especialmente rápida cuando asociado a su uso varias limitantes pueden ser solucionadas a la vez como son: baja fertilidad del suelo, alta infestación de malezas y severa erosión del suelo (Anderson et al. 1997; Giller 2001; Muraoka et al. 2002).

Los abonos verdes son de gran beneficio en el manejo de malezas (Schmidt et al. 2005), pues compiten con plantas invasoras por luz, humedad y nutrientes, también en el control de plagas (Cherr et al. 2006). Las leguminosas tolerantes a sequía integradas como abonos verdes proveen una protección al suelo a procesos erosivos durante la época seca, además de la conservación de la humedad en el suelo (Douxchamps 2010; Marín 1995).

Los abonos verdes protegen el suelo de la alta precipitación y proporcionan canales, por medio de sus raíces, a las capas sub-superficiales conduciendo de esa forma a más altas tasas de infiltración (Folorunso et al. 1992; Holt-Gimenez 2002) y agregados más estables (McVay et al. 1989). Mejoras e aireación del suelo han sido uno de los beneficios de las coberturas de *Calopogonium caeruleum* sobre las raíces de las plantas de banano. Sin embargo, bajo condiciones de sequía las coberturas vegetales podrían competir por agua y consecuentemente ser menos benéficas que un “mulch” (Cintra y Borges 1988). También se menciona la importancia de los abonos verdes de leguminosas dentro del grupo de estrategias para ayudar a restaurar la calidad del aire por conversión del carbono y nitrógeno atmosférico en biomasa (Etchevers et al. 2005).

Dadas las múltiples ventajas de los abonos verdes se pensaría que es una tecnología fácil de diseminar si se logra demostrar sus beneficios y se da el apoyo necesario en semilla e información a los potenciales adoptadores. Sin embargo, este no ha sido el caso, pues son pocos los casos de adopción masiva de abonos verdes como por ejemplo la adopción de *Mucuna* en sistemas de maíz en Honduras (Bunch y Kadar 2004). En muchas regiones, particularmente en Centro América, la diseminación de la tecnología de abonos verdes ha sido de “agricultor a agricultor” y con más ayuda de ONGs que de servicios de extensión

del gobierno. El conocimiento local, la confianza para experimentar y una efectiva distribución de semillas, han sido efectivos en la diseminación de la tecnología de abono verdes a través del movimiento “Campesino – Campesino” (Anderson et al. 1997).

1.2 Especies de leguminosas usadas como abonos verdes

Los abonos verdes pueden ser especies leguminosas o no leguminosas como *Secale cereale*, *Setaria italica* o *Helianthus* sp. En el segundo caso, el aporte para el cultivo siguiente es el resultado de reducir las pérdidas del nutriente que ocurren durante el periodo del barbecho y los aportes de N son menores que en los abonos de leguminosas (Becker et al. 1994). Cuando el abono verde es una leguminosa existe un aporte de N, producto de la fijación simbiótica (Douxchamps et al. 2014; Peoples et al. 1995). Smith et al. (1987) presentan resultados experimentales en los que el abono verde aportó entre 15 y 200 kg / ha de N, con valores más probables entre 60 y 100 kg ha⁻¹ de N. Las variaciones en aporte de N son debidas a la producción de materia seca de la leguminosa y al manejo del barbecho y del cultivo.

En las últimas décadas en Latinoamérica se han evaluado distintas especies de leguminosas como abonos verdes y cultivos de cobertura en diferentes sistemas de producción. Por ejemplo, el frijol terciopelo (*Mucuna* spp.), en sistemas de maíz el cual se ha diseminado rápidamente en regiones húmedas de México y Centro América, ya que no se adapta a sitios con periodos secos prolongados. Otros ejemplos de leguminosas evaluadas son: *Dolichos lablab*, *Vicia faba* y *Phaseolus coccineus* (Thurston 1996). También Cherr et al. (2006), citan una serie de leguminosas de clima cálido (*Canavalia ensiformis*, *Centrosema pubescens*, *Clitoria ternatea*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Desmanthus virgatus*, *Indigofera tinctoria*, *Lablab purpureus*, *Macroptilium atropurpureum*, *Mucuna aterrima*, *Mucuna pruriens*, *Stylosanthes guianensis*, *Teramnus uncinatus*, *Vigna mungo*, *Vigna radiata*, *Vigna unguiculata*) que han sido evaluadas como abono verde con aportes de N/ha que van desde los 60 hasta los 300 kg.

Existen otros ejemplos en Honduras de asociaciones de leguminosas como abonos verdes con cultivos anuales como son la asociación de maíz o sorgo con *Canavalia ensiformis*,

Mucuna pruriens, *Phaseolus vulgaris*, *Vigna unguiculata*, Otros ejemplos vienen de El Salvador, con sorgo asociado con *Phaseolus vulgaris*, y de México, con maíz y tomate asociado con *Vigna* spp. y *Canavalia ensiformis*. (Anderson et al. 1997).

1.3 Efecto de abonos verdes en fertilidad del suelo y producción de cultivos

1.3.1 Abonos verdes y el ciclo del nitrógeno

La fijación de nitrógeno, mineralización de materia orgánica, nitrificación y desnitrificación y la amonificación, son procesos muy importantes en el ciclo del nitrógeno en el suelo. Se parte de unas entradas vía fijación biológica de nitrógeno (FBN), fijación vía tormentas, deposición de heces y fertilización química de síntesis (Hari and Kulmala, 2008; Smolander et al., 2012). En este proceso el N orgánico se mineraliza a NH_4 que luego es nitrificado a NO_3 que es la forma más asimilable por las plantas (Schlesinger, 2009). El proceso inverso equivale a la inmovilización, donde el N puede quedar en la forma orgánica no disponible para plantas (Galloway et al., 2008). La nitrificación es el proceso que domina el ciclo del N en los sistemas agrícolas, inclusive con leguminosas como abonos verdes, donde el NO_3 representa más del 95 % del N tomado por las plantas, haciendo que el ciclo se algo ineficiente, dado que gran parte se pierde como lixiviado o por desnitrificación, generando NO y N_2O en emisiones atmosféricas asociadas a gases que ocasionan calentamiento global (Schlesinger, 2009; Smith et al. 2007). En el proceso se ve involucrada la carga del catión NH_4^+ que hace que sea atraído por la carga negativa de arcillas del suelo, contrario al NO_3^- que no se liga y por lo tanto puede perderse más fácilmente (Mosier et al. 1996). Se debe tener un claro conocimiento del ciclo del N y los procesos donde se puede generar más pérdida, donde con la incorporación de abonos verdes de leguminosas de adecuada relación C:N (<25), se logra tener una mineralización en el suelo, además de coincidir con el momento de mayor demanda del cultivo de interés (Seneviratne 2000).

Las leguminosas representan una fuente sustancial de N vía fijación biológica en sistemas agrícolas tropicales (Giller 2001). En adición las raíces profundas y los nódulos incrementan la disponibilidad de N y realizan su distribución en los horizontes del suelo y

la superficie con la hojarasca (Bünemann et al. 2004; Gathumbi et al. 2003). El N acumulado puede estar disponible en el corto plazo para los cultivos siguientes vía mineralización de residuos, y en el largo plazo a través de la incorporación de residuos en las fracciones de materia orgánica del suelo (Martín y Rivera 2001; Mulvaney et al. 2009; Vanlauwe et al. 1998). Los residuos de leguminosas pueden incrementar el N mineral en el suelo (Barrios et al. 1996) y la cantidad de N almacenado en la biomasa microbial (Bünemann et al. 2004; Oberson et al. 1999). El N almacenado en la microbiota del suelo podría estar disponible para las plantas cuando las condiciones ambientales favorezcan la lisis de las células microbianas, por ejemplo en la alternancia entre periodos secos y húmedos (Martín y Rivera 2001; Turner y Haygarth 2001). Proceso que puede estar en sincronía con la demanda de la planta (Oberson et al. 2005; Turner et al. 2005). Si la mineralización del N liberado por los residuos de las leguminosas es demasiado rápida, antes que sea tomado por las raíces del cultivo siguiente, se puede perder vía volatilización, desnitrificación o lixiviación (Chikowo et al. 2006; Millar et al. 2004).

La eficiencia de uso del N fijado por leguminosas es normalmente un 10 a 20% menor que la del N adicionado como fertilizante químico (Barrios et al. 1996; Chikowo et al. 2006). Sin embargo, la eficiencia de uso del N fijado por una leguminosa usada como abono verde puede variar dependiendo de la sincronización que exista entre el momento de aporte de nutriente y la demanda del cultivo (Cobo et al. 2002; Seneviratne 2000). Por otra parte, el N liberado de los residuos de plantas incorporados al suelo depende de una serie de factores incluyendo composición química y concentración de N en el tejido vegetal, temperatura, y disponibilidad de agua en el suelo (Andren et al. 1992; Martín y Rivera 2001). La descomposición y liberación del N generalmente es más lenta en residuos de abonos verdes que tienen una alta relación C/N y altos contenidos de lignina y polifenoles (Palm et al. 2001; Seneviratne 2000).

La eficiencia de recuperación del N fijado por leguminosas usadas como abono verde puede oscilar entre un mínimo de 3% y un máximo de 56%. Dentro de los factores que condicionan la eficiencia de recuperación del N fijado por leguminosas, se citan el estado de madurez de la leguminosa, fecha de su incorporación, tiempo entre la incorporación y la siembra del cultivo y las condiciones de temperatura y humedad del suelo (Griffin et al. 2000; Reeves et al. 1993; Vaughan y Evanylo 1998; Vyn et al. 1999).

Con la incorporación de leguminosas como abonos verdes, el N en el suelo puede estar disponible hasta 90 días después de la incorporación, sobre todo si las leguminosas tienen taninos (Barrios et al. 1996; Seneviratne 2000). En estudios en Brasil se ha reportado que entre el 85 y el 95% del N proveniente de abonos verdes de *Mucuna*, *Canavalia* y *Crotalaria* en el suelo fue absorbido por el cultivo de maíz en los primeros 29 días después de la germinación, indicando una rápida mineralización (Chikowo et al. 2006; García et al. 2001; Rivera y Urquiaga 1995). En otros estudios se ha reportado que valores por encima de 46 mg kg⁻¹ de NO₃ se consideran altos, implicando riesgo de lixiviación y contaminación de acuíferos (Anken et al. 2004).

1.4 Relación Carbono: Nitrógeno (C:N) en leguminosas y humedad en suelo

La mineralización del N en el suelo depende en gran medida de la relación C:N del material incorporado. Un material vegetal incorporado al suelo con una relación C:N alta se descompone más lentamente en el suelo que un material con una relación C:N baja (Martín y Rivera, 2002; Nziguheba et al. 2005). Se ha reportado que plantas con relaciones C:N mayores a 27 inmovilizan N, mientras que plantas con una relación C:N menor a 27 mineralizan N, siendo 25 el valor crítico de equilibrio entre inmovilización y mineralización (Martín y Rivera 2002; Myers et al. 1994; Seneviratne et al. 1999; Seneviratne 2000).

Las leguminosas se degradan en el suelo en forma rápida cuando su relación de C:N es del orden de 9,0. En el caso de gramíneas la relación C:N es de 20 o más, lo cual determina su degradación lenta en el suelo (Barrios et al. 1997; Palm y Sánchez 1991; Sakala et al. 2000). Las leguminosas sin taninos que se descomponen rápidamente producen una gran cantidad de CO₂, y consecuentemente aportan poca MO al suelo, pero bastante nitrato (NO₃) que es forma de N más asimilable para las plantas. Alternativamente, leguminosas con taninos que tienen baja relación C:N se descomponen lentamente, dejando un buen residuo de MO y poco N disponible en el suelo, ya que el mismo es utilizado por los microorganismos del suelo para descomponer la leguminosa incorporada y en ese proceso se transforma en N orgánico no disponible para cultivos en rotación como maíz (Barrios et al. 1997; Oglesby y Fownes 1992; Palm y Sánchez 1991; Seneviratne 2000).

Un aumento en los niveles de humedad en el suelo puede resultar en aumento de la agregación y porosidad más alta del suelo y en mayor número de macroporos, todo lo cual es conducente a mejores condiciones para la incorporación de MO al suelo por microorganismos (Gupta y Singh 1981; Latif et al. 1992). Esto a su vez resulta en un aumento del contenido de N en el suelo, sobre todo si la humedad es mayor al 10% (Hartwig y Ammon 2002; Palm et al. 2001; Thonnissen et al. 2000).

1.5 Efecto de abonos verdes en producción de cultivos

En la literatura revisada se encontraron estudios realizados en varios países de América latina y África en los cuales se evaluó el aporte de N proveniente de abonos verdes a diferentes cultivos.

Resultados de experimentos conducidos en Cuyuta, Guatemala, mostraron que el valor de sustitución de fertilizante nitrogenado con *Mucuna* spp. y *Canavalia ensiformis* manejados bajo cero labranza (residuos no incorporados) fue de alrededor de 60 kg N/ha, mientras que la sustitución fue mayor (hasta 158 kg N ha⁻¹ para *Canavalia* y 127 para *Mucuna*), cuando los residuos fueron totalmente incorporados al suelo (Pound 2000).

En Brasil se realizaron ensayos para suplir la aplicación de N en cultivos de arroz utilizando N químico (urea) y abono verde de las leguminosas *Crotalaria juncea* y *Mucuna aterrina*. Se demostró que las leguminosas fueron una buena alternativa como fuente N, al aportar un equivalente de 40 kg ha⁻¹ de N para la producción de grano (Muraoka et al. 2002).

También en Brasil, se realizó una evaluación de las leguminosas *Mucuna deeringiana*, *Cajanus cajan*, *Crotalaria spectabilis* y *Canavalia ensiformis*, como abonos verdes para el cultivo de maíz, donde para el primer año no se encontraron diferencias en la producción de grano a través de los tratamientos, solo en el segundo se observaron las mayores producciones (20%) asociadas al tratamiento que tenía *Canavalia ensiformis* como abono (Heinrichs et al. 2005). En otros casos con leguminosas similares se han encontrado aumentos en la producción de maíz hasta en un 18% por encima del testigo e inclusive 10% por encima del tratamiento con fertilización nitrogenada, pero en este caso la mejor producción se obtuvo con *Crotalaria spectabilis* (Amado et al. 2002; Carvalho et al. 2004).

Fischler y Wortmann (1999), en el este de Uganda, utilizaron *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna pruriens*, *Dolichos lablab*, *C. ensiformis* como abonos verdes y observaron rendimientos de grano de maíz y frijol de un 50 a 60% más altos en comparación con rendimientos obtenidos sin abonos verdes. En Kenia, luego de la incorporación de *M. pruriens*, *C. ensiformis* y *L. purpureus*, se aumentó la producción de grano de maíz de un 35 a 100% en comparación con la aplicación de fertilizante nitrogenado (Mureithi et al. 2003). En Tanzania, también se reportan incrementos en producción de maíz de 46 - 130% con el uso de *Crotalaria ochroleuca* (Kullaya et al. 1998). Con mayores producciones en cultivos de maíz (25%), debido al incremento del suministro de N al suelo y la reducción de la pérdida por volatilización (Hudgens 2000), también a la conservación de la humedad en regiones áridas de África (Gachene et al. 2000).

En Colombia existen experiencias con el uso de abonos verdes como las realizadas en suelos fértiles del Valle del Cauca, en los suelos de baja fertilidad de los llanos de Colombia y en los suelos de moderada fertilidad del Caribe seco. Por ejemplo, en Valle del Cauca, se evaluaron como abonos verdes las leguminosas *Cajanus cajan* y *Canavalia ensiformis*, las gramíneas (Pasto Estrella y Maíz) y una cucurbitácea (*Cucúrbita moschata*). Los materiales se incorporaron al suelo y a los 150 días se cosechó maíz (choclo) usado como cultivo indicador. El maíz y la *Canavalia* aportaron la mayor cantidad de biomasa al suelo (10.068 y 9.748 kg ha⁻¹, respectivamente) mientras que *C. cajan* y *C. ensiformis* aportaron las mayores cantidades de nitrógeno (254 y 213 kg ha⁻¹). El maíz y el pasto estrella, por sus altos contenidos de lignina, se descompusieron más lentamente que las leguminosas (Salamanca et al. 2006).

En el ecosistema del piedemonte llanero y altillanura Colombiana, se realizó la caracterización de un grupo de leguminosas con potencial para ser usadas como abono verde en diferentes tipos de suelos. Los resultados indicaron que *Crotalaria retusa*, *C. juncea* y *C. striata* tuvieron buen comportamiento en suelos de vega (inceptisol), donde aportan entre 41 y 252 kg N ha⁻¹. En suelos de sabana (oxisol) se destacaron *Canavalia ensiformis*, *Vigna unguiculata* y *Crotalaria spectabilis*, con aportes de nitrógeno entre 31 y 326 kg N ha⁻¹ (Corpoica 1999).

En el departamento del Cesar se realizó un estudio para evaluar los efectos de la incorporación de follaje de caranganito (*Senna atomaria*) como abono verde y de estiércol caprino en pasturas de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). Los resultados mostraron que la producción de materia seca del pasto en donde se incorporó el abono verde + estiércol fue superior en un 32% a la obtenida con el testigo sin incorporación de abono verde. El contenido de proteína cruda del pasto estrella fue inferior con el manejo sin abono verde y sin fertilización con estiércol (Barros y Rodríguez 2003).

1.6 Efecto de uso de leguminosas como suplementos en producción de leche en época seca

En muchos sistemas de producción los residuos de cosecha son importantes para la alimentación del ganado en la época seca (t Mannetje 1997). En un estudio en Honduras y Nicaragua se encontró que el 66% de los encuestados, en especial productores mixtos de cultivos y ganado, utilizaban residuos de cosecha de baja calidad para la alimentación del ganado durante la época seca. Por lo tanto, el mejoramiento de la calidad de los residuos de cosecha por medio del uso de leguminosas multipropósito se identificó como una estrategia para reducir el efecto negativo de la falta de alimento en la época seca (Fujisaka et al. 2005). No fue sorprendente entonces que los productores seleccionaran *Canavalia brasiliensis* como una leguminosa apropiada para los sistemas de producción cultivos-ganados debido a su tolerancia a la sequía y efecto positivo en el rendimiento de maíz cuando se usó como abono verde o cobertura en la época seca (Schmidt et al. 2005).

Los abonos verdes como Mucuna, Canavalia, Dólicos, Gandul y Alacín, también llamados cultivos de cobertura, pueden ser utilizados en la alimentación de ganado, aves y cerdos. Sin embargo, lo que hasta ahora más se ha enfatizado en la evaluación de estas plantas es su contribución al mejoramiento del suelo. Una de las limitantes para que en nuestros países no haya una mayor adopción de los cultivos de cobertura ha sido el desconocimiento sobre los usos alternativos de la semilla o el follaje de estas especies. El frijol Mucuna, por ejemplo, en lugares húmedos puede llegar a producir unos 2.300 kilogramos de semilla y hasta 25 toneladas de follaje por hectárea (Buckles et al. 1994).

En un gran número de estudios se ha evaluado la inclusión de leguminosas en la dieta de vacas lactantes y novillos en ceba, empleando especies como *Centrosema macrocarpum*, *C. acutifolium*, *C. brasilianum*, *Desmodium ovalifolium* y *Stylosanthes guianensis*, donde en la mayoría de casos reportan incrementos de 1 a 1,5 litros día en leche y de 200 a 300 g más de ganancia de peso (Holmann y Lascano 2004; Ulrich et al. 1994; Vera et al. 1996).

En República Dominicana se evaluó el efecto de la inclusión de parte de la leguminosa *Clitoria ternatea*, proveniente de un lote no incorporado al suelo en la producción de leche de vacas Holstein X Pardo. Como parte del estudio se evaluó el efecto de la sustitución parcial de concentrado con forraje de leguminosa en producción de leche. Los resultados indicaron que a pesar de no existir diferencias significativas en la producción de leche (14,5 vs 13,5 kg/vaca/día⁻¹) entre solo concentrado y concentrado + Clitoria, al realizar un análisis económico se vio un efecto benéfico de la incorporación de la leguminosa en el concentrado (Valerio et al. 2006).

Existen otros casos, como el reportado por Villanueva et al. (2004) en México, en donde la producción de leche fue similar (10,5 vs 10,1) al suministrar heno de alfalfa o heno de Clitoria a vacas Pardo Suizo, lográndose sustituir hasta un 50% de concentrado con heno de Clitoria sin detrimento de la producción láctea, pero con una reducción de 30% en los costos de alimentación. En la sustitución parcial de gramíneas por Clitoria se incrementó de 1,6 a 3,0 kg/animal/día⁻¹ la producción de leche sin efectos en su calidad.

En el Centro de Investigación Mtwapa en Kenia, África, se evaluó el forraje de *Gliricidia sepium*, *Mucuna pruriens* y *Clitoria ternatea* como suplementos proteínicos para vacas Jersey lactantes alimentadas con rastrojo de maíz. Los resultados mostraron que las vacas alimentadas con Clitoria, Gliricidia y Mucuna tuvieron una producción de leche 15, 20 y 15% mayor que aquellas alimentadas con la dieta control (Juma et al. 2006).

En Venezuela se ha empleado la asociación de la leguminosa *Centrosema* incorporada al suelo y la *Vigna unguiculata* suministrada como harina en la suplementación de vacas lactantes evaluando el crecimiento en terneros predestete en mestizos Brahmán x Holstein, observando la mayor producción de leche en el tratamiento que recibió un adieta basada en harina de *Vigna* mas maíz, frente a la sola harina en el lote con *Centrosema*

incorporado, no siendo así para la ganancia de peso que fue mayor en los animales alimentados con harina de *Vigna* solamente (Canelones y Castejon 2006).

En Colombia, Bernal et al. (2008), evaluaron el efecto en producción de leche de suplementar vacas Holstein x Cebú, con las leguminosas *Calliandra calothyrsus* y *Vigna unguiculata*. Se observó que la suplementación con heno de *V. unguiculata* resulto en producciones de 5,3 kg día⁻¹ de leche corregida por grasa (LCG) vs 3,6 kg con la leguminosa tanífera *C. calothyrsus*. Estos resultados son un buen ejemplo del aporte que puede tener la leguminosa *V. unguiculata*, no solo como abono verde, sino como suplemento en ganado de leche.

Si bien con la integración de las leguminosas en sistemas mixtos (cultivos + ganadería) se puede mejorar la calidad de los residuos de cosecha usados en alimentación animal e incrementar la producción de grano de la siguiente cosecha, no se conoce cuáles son los “trade offs” de usar parte de la leguminosa para incorporar al suelo y otra para la alimentación animal. En otras palabras no se sabe que se pierde y que se gana con el uso de leguminosas multipropósito para mejorar la fertilidad del suelo, y como fuente de alimento en la época seca para complementar los residuos de cosecha o para hacer heno y/o ensilaje.

1.7 Adopción de leguminosas como abonos verdes en sistemas agrícolas y ganaderos

Cuando se revisa la información publicada sobre adopción de leguminosas tropicales alrededor del mundo, se concluye que luego de 50 años de investigación la adopción ha sido relativamente baja en los sistemas agropecuarios (Elbasha et al. 1999; Pengelly et al. 2003; Peters y Lascano 2003; Thomas y Sumberg 1995). En Latinoamérica y el Caribe entre 1980 y el 2000, de 14 cultivares de leguminosas que fueron liberados, ninguno fue adoptado en forma masiva o proporcional a la gran cantidad de literatura generada en 30 años de investigación, como es el caso de *Stylosanthes* spp (Miles y Lascano 1997; Peters y Lascano 2003). En Australia, de más de 70 cultivares que fueron liberados desde 1910, solo un pequeño número (< 10) han tenido impacto en la industria ganadera (Shelton et al. 2005).

En la literatura se mencionan tres factores como causas de la baja adopción de leguminosas en sistemas agrícolas y ganaderos: 1. Falta de percepción de los beneficios de las leguminosas por parte de los productores, 2. Fallas en la tecnología generada y aplicada, y 3. Falta de un enfoque participativo en la investigación y procesos de difusión (Shelton et al. 2005).

A continuación se discuten brevemente las tres razones principales para la baja adopción de leguminosas y se mencionan algunos ejemplos de casos exitosos de adopción; además se discuten las perspectivas para la adopción de leguminosas como abonos verdes y para alimentar animales en sistemas ganaderos en el trópico seco.

1.7.1 Baja adopción por falta de percepción de beneficios

Se ha tenido el concepto que las gramíneas tienen más resiliencia y se adaptan mejor a diferentes manejos y ambientes que las leguminosas (Peters y Lascano 2003). Por otra parte, también se ha argumentado que las leguminosas tienen baja palatabilidad, que su establecimiento es muy lento y que cuando están asociadas con gramíneas tienen muy baja persistencia bajo pastoreo (Omoro et al. 1999).

1.7.2 Baja adopción por fallas en la tecnología generada

En muchos casos la baja adopción de leguminosas puede estar asociada a fallas en la tecnología per se, ya que no ha estado a la altura de las expectativas de los productores (Shelton et al. 2005). En Australia por ejemplo, la susceptibilidad de cultivares de *Stylosanthes* a antracnosis determinaron que su utilización en asociaciones con gramíneas fuera desaprobado por productores y extensionistas (Andrade et al. 2004).

Algunos factores socioeconómicos y ambientales también han contribuido a la baja adopción de leguminosas en sistemas de rotación con cultivos. Tal es el caso de la baja adopción de sistemas de rotación maíz-leguminosas en el este de África, debido principalmente a alto costo de la tecnología, precipitaciones variables y bajo interés por innovar de productores tradicionales (Ndove et al. 2004). En Zimbabue, el fomento del uso de *Mucuna pruriens* como leguminosa multipropósito en sistemas de cultivos anuales no fue exitoso debido a la alta demanda de mano de obra que se asoció con el uso de abonos verdes (Maasdorp et al. 2004). Otras limitaciones para la adopción de abonos verdes en

Zimbabue han sido deficiente suministro de semilla, falta de crédito, e inseguridad en tenencia de la tierra (Elbasha et al. 1999).

1.7.3 Baja adopción por falta de participación de productores en los procesos de investigación y difusión

La falta de un enfoque participativo de investigación se ha mencionado como una limitante en la adopción de la tecnología de leguminosas. En muchos casos la investigación con leguminosas se ha desarrollado en estaciones experimentales y las leguminosas seleccionadas no se han evaluado posteriormente en fincas de productores utilizando métodos participativos (Douthwaite et al. 2002). Otra limitante para la adopción de leguminosas también ha sido el divorcio existente entre investigadores y agentes promotores de tecnología en el sector privado, lo que ha resultado en la ausencia sistemas de producción y distribución de semilla (Miles 2001). Tal es el caso de limitaciones de semilla de *Stylosanthes* spp y *Arachis pintoii* en Latinoamérica (Peters y Lascano 2003), *Vigna unguiculata* (cowpea) en Nigeria (Kristjanson et al. 2004), *Aeschynomene americana* y *Desmodium heterocarpon* en Florida (Sollenberger y Kalmbacher 2005).

1.7.4 Casos de adopción exitosos de leguminosas

Los casos de adopción exitosa de leguminosas han sido más frecuentes en Asia y Australia que en Latinoamérica, tal vez con excepción de Brasil en donde hay algunos éxitos notables. Entre los factores que han llevado a éxitos en adopción de leguminosas se cita: 1. La tecnología responde a una necesidad de los productores, 2. La situación socioeconómica de los productores conduce a la adopción, 3. Alianzas efectivas entre investigadores y productores, 4. Compromiso a largo plazo por parte de los productores en mejorar sus sistemas de producción, y 5. Programas de investigación con un enfoque participativo (Shelton et al. 2005).

A continuación se citan ejemplos de casos exitosos de adopción de leguminosas en diferentes regiones:

- Oeste de África: *Vigna unguiculata* y *Centrosema pascuorum* fueron adoptadas por ser multipropósito, para alimentar vacas y para rotar con cultivos (Tarawali et al. 2005).

- Este de África: se adoptó el uso de leguminosas arbustivas como *Calliandra calothyrsus* y *Leucaena trichandra* para suplementar vacas lecheras (Franzel et al. 2003).
- Norte de Australia: se adoptó en gran escala *L. leucocephala* (Mullen et al. 2005) y *Clitoria ternatea* en sistemas de pastoreo durante el verano (Conway 2005).
- Florida, USA: hubo adopción de *Arachis glabrata* debido a la demanda de henos de alta calidad (Williams et al. 2005); además en esta región también hubo adopción de *Aeschynomene americana* y *Desmodium heterocarpum* para uso en pastoreo (Sollenberger y Kalmbacher 2005).
- Zonas áridas de India: se adoptó *Stylosanthes guianensis* para la producción de harina (Ramesh et al. 2005). En el sur de China también se adoptó el *Stylosanthes* para la fabricación de harinas para alimentación de rumiantes y no rumiantes (Guodao y Chakraborty 2005).
- Indonesia y Filipinas: las leguminosas arbustivas multipropósito como *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium* son ampliamente utilizadas como fuentes de alimento de ganado (Piggin 2003).
- Malasia: leguminosas como el Kudzu (*Pueraria phaseoloides*) son utilizadas como cobertura en cultivos de caucho y palma de aceite (Piggin 2003).
- Sureste de Asia: se utiliza una especie perenne del frijol velloso (*Mucuna sp.*) para cosechar el grano, para mejorar barbecho y para controlar malezas (Douthwaite et al. 2002).
- Honduras, El Salvador y el sureste de México: se utiliza *Vigna* spp en rotación con maíz (Neill y Lee 2001).
- México (acoyote), Guatemala (piloy) y Honduras (chinapopo): se utiliza el frijol trepador escarlata (*Phaseolus coccineus*) como abono verde (Beltrán et al. 2005; Beltrán et al. 2009; Cherr et al. 2006; Singh et al. 2010).
- Brasil: se utilizan diferentes especies de *Stylosanthes* principalmente para la recuperación de pasturas degradadas y para asociar con gramíneas en sistemas de pastoreo de ganado de carne (Fernandes et al. 2005; Lascano et al. 2005; Valentim y Andrade 2005).

En sistemas ganaderos, la utilización de leguminosas ha sido principalmente para suplementar animales y en menor grado para mejorar el suelo y el rendimiento de residuos

de cosecha o de cultivos forrajeros. Por ejemplo, en Kenia se cita el uso de *Clitoria* sp, y *Gliricidia* sp en alimentación de vacas jersey (Juma 2005). En Bangladesh se reporta el uso de *Lathyrus sativus* para la alimentación de vacas lecheras (Akbar et al. 2000). En Nigeria se ha reportado la utilización de *Vigna unguiculata* en la alimentación de ganado de leche, (Akinlade et al. 2005).

Un caso exitoso y tal vez único de adopción temprana de abonos verdes en sistemas mixtos de cultivos y ganadería viene de Nicaragua, donde investigadores del CIAT evaluaron la leguminosa forrajera *Canavalia brasiliensis*, tolerante a la sequía, como abono verde, o como alimento para animales. En experimentos en fincas se sembró maíz durante la primera estación de lluvias (mayo a julio) y en la segunda estación de lluvias (septiembre a noviembre), tan pronto el maíz completó la etapa de llenado, se sembró la Canavalia. La Canavalia + residuos de cosecha del maíz pastoreada durante la época seca resultó en aumentos de leche en relación al testigo y en mayor producción de maíz en la cosecha del primer semestre del año subsiguiente, como resultado de mejoras en el suelo (CIAT 2008).

1.7.5 Perspectivas en la adopción de leguminosas en sistemas ganaderos para uso múltiple

La adopción de leguminosas en sistemas ganaderos es limitada, a pesar de que en estudios en los que se ha consultado a productores el valor que le dan a las leguminosas ellos indican que son apreciadas porque mantienen la fertilidad del suelo al mejorar la biomasa microbial y materia orgánica (Franzluebbbers y Stuedemann 2008; Miles y Brown 2011) y porque también se puede utilizar el follaje y las semillas para alimentación animal, (Akbar et al. 2000; Akinlade et al. 2005; McCartney y Fraser 2010; Franzluebbbers y Stuedemann 2007; Juma 2005). Es decir los productores visualizan el uso múltiple de leguminosas en sus sistemas ganaderos. Sin embargo, consideran que la utilización de leguminosas para usos múltiples no es una opción viable dado que se percibe que es una tecnología muy compleja de manejar y con beneficios que no compensan los costos de su implementación. Se plantea por lo tanto que para lograr alta adopción de leguminosas para uso múltiple en sistemas ganaderos se deben diseñar estrategias de manejo que sean de fácil implementación y demostrar sus ventajas económicas (Russelle et al. 2007; Wilkins 2008).

Por otra parte, para una amplia adopción de leguminosas de uso múltiple (abonos verdes y para alimentar animales) en sistemas ganaderos, se requiere conocer bien las limitantes de los sistemas existentes. También, se debe tener en cuenta que la adopción de una nueva tecnología, como la de leguminosas para usos múltiples puede ser un proceso lento, dado que los procesos de adopción normalmente siguen una curva sigmoidea (proceso lento al comienzo, seguido por un proceso rápido hasta alcanzar una asíntota (Pengelly et al. 2003; Shelton et al. 2005). Sin embargo, se postula que si se demuestra a ganaderos el impacto de utilizar leguminosas para usos múltiples en términos productivos y económicos se puede acelerar el proceso de adopción. Esto implica demostrar experimentalmente que mediante el uso de leguminosas adaptadas se aporta nitrógeno a pastos de corte y/o cultivos anuales para ensilar y también alimento en forma de henos de alta calidad para suplementar vacas en producción en época seca.

1.8 Conclusiones de la revisión de literatura

Una estrategia para resolver los problemas de alimentación en época seca es la producción de cultivos forrajeros de maíz y sorgo, la cual puede verse limitada por deficiencias de nitrógeno y cuya corrección con fertilizantes químicos es poco practicada por costosa. Una opción es el uso eficiente de fuentes alternativas de nitrógeno como son los abonos verdes.

Existen muchas opciones de especies de leguminosas con potencial para ser usadas como abono verde, con sus respectivos beneficios en el mejoramiento de la fertilidad del suelo y productividad del cultivo asociado. Por otra parte, el efecto benéfico del uso de leguminosas como suplemento de bovinos en época seca, tanto en producción como en calidad de la leche está bien documentado en la literatura Sin embargo, no existen estudios en los cuales leguminosas usadas como abonos verdes hayan sido evaluadas como henos para producir leche en época seca y como fuente de N para cultivos forrajeros utilizados como ensilaje o en sistemas de corte y acarreo.

1.9 Bibliografía

1. Akbar MA, Islam MS, Bhuiya MSU, Islam MS, Hossain MA. 2000. Integration of Fodder Legumes into Rice-based Cropping Systems in Bangladesh: Production of Lathyrus

- Sativus and Its Use as a Supplement to Straw-based Rations of Dairy Cows. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 13 Supplement July 2000 A: 526-528.
2. Akinlade JA, Smith JW, Raji AM, Busari AA, Adekunle IO, Adewumi MK. 2005. Effect of Two Cowpea (*Vigna unguiculata*) Fodder Cultivars as Supplements on Voluntary Intake, Milk Yield and Manure Production of Bunaji Cows. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* Volume 106, No. 2, 2005, pages 105–112.
 3. Anken T, Atamp 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.
 4. 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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.241-248, 2002.
 5. Anderson S, Ferraes N, Gundel S, Keane B, Pound B (Eds.). 1997. “Cultivos de Cobertura: componentes de sistemas integrados”. Taller Regional Latino- americano. 3-6 de Febrero 1997. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Apartado 116-4, Mérida 97100, Yucatán, México
 6. Andrade De RP, Karia CT, Braga Ramos AK. 2004. *Stylosanthes* as a forage legume at its centre of diversity. In: Chakraborty, S. (ed.) High-yielding anthracnose-resistant *Stylosanthes* for agricultural systems. *ACIAR Monograph*, 115, 39–50.
 7. Andren O, Steen E, Rajkai K. 1992. Modelling the effects of moisture on barley straw and root decomposition in the field. *Soil Biol. Biochem.* 24:727–736.
 8. Barrios E, Buresh RJ, Sprent JI. 1996. Nitrogen mineralization in density fractions of soil organic matter from maize and legume cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry* 28:1459-1465.
 9. Barrios E, Kwesiga F, Buresh R, Jand Sprent JI. 1997. Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 826–831.
 10. Barros HJA, Rodriguez FG. 2003. Incorporación de abono verde y orgánico en pasto estrella asociado a Caranganito en la baja guajira. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Boletín de Investigación No 8. Valledupar, Cesar. 2003.
 11. Becker M, Ladha JK, Simpson IC, Ottow JCG. 1994. Parameters affecting residue N mineralization in flooded soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1666–1671.
 12. Beltrán MFA, García HJL, Ruiz EJI, Fenech LL, Murillo AB, Palacios A y Troyo DT. 2009. Nutritional potential of red dolichos, brown dolichos and cowpea for green manure produced under three tillage Systems. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 10: 487-495.

13. Beltrán MFA, García HJL, Valdez CRD, Murillo AB, Troyo DE, Larrinaga MJ, García RF. 2000. Sistemas de labranza, incorporación de abono verde y recuperación de la fertilidad de un yermosol háplico. *Terra Latinoamericana*, 23(3), 381-388.
14. Bernal L, Ávila P, Ramírez G, Lascano C. 2008. Efecto de la suplementación con heno de *Calliandra calothyrsus* y *Vigna unguiculata* sobre la producción de leche por vacas Holstein x Cebú en Colombia. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Vol. 16, Núm. 3:109-114. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal (Arch. Latinoam. Prod. Anim.) www.alpa.org.ve/ojs/index/php
15. Buckles D, Ponce I, Sain JG, Medina G. 1994. Uso y difusión del frijol de abono (*Mucuna deeringiana*) en las laderas del Litoral Atlántico de Honduras. *Agronomía Mesoamericana* 5: 15-29. 1994
16. Bunch R, Kadar A. 2004. La mucuna en los sistemas de agricultura de bajos insumos externos en Universidad Autónoma de Yucatán. Versión en línea: 1870-0462.
17. Bünemann EK, Smithson PC, Jama B, Frossard E, Oberson A. 2004. Maize productivity and nutrient dynamics in maize-fallow rotations in western Kenya. *Plant And Soil* 264:195-208.
18. Canelones C, Castejon M. 2006. Harinas de planta entera de frijol (*Vigna unguiculata*) y de mazorca de maíz (*Zea mays*) como suplemento para becerros antes del destete. *Zootecnia Trop.*, sep. 2006, vol.24, no.3, p.361-378. ISSN 0798-7269.
19. Carvalho MD, Soratto RP, Athayde MLF, Arf O, Sá MD. 2004. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema plantio direto e convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.47-53, 2004.
20. Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT. Informe Anual 2008. ISSN 2145-1311.
21. Cherr CM, Scholberg JMS and McSorley, R. 2006. Green Manure Approaches to Crop Production: A Synthesis. *Agron. J.* 98:302–319 (2006).
22. Chikowo R, Mapfumo P, Leffelaar PA, Giller KE. 2006. Integrating legumes to improve N cycling on smallholder farms in sub-humid Zimbabwe: resource quality, biophysical and environmental limitations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76:219-231.
23. Cintra FLD, Borges AL. 1988. Use of a legume and a mulch in banana production systems. *Fruits*. 43(4) 211-217.
24. Cobo JG, Barrios E, Kass DCL, Thomas RJ. 2002. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical volcanic-ash soil. *Plant Soil* 240: 331-342.
25. Conway MJ. 2005. Butterfly pea in Queensland: a tropical forage legume success story. *Proceedings of the XX International Grassland Congress: Offered papers*, Dublin, 2005. p. 331.

26. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Navas RGE, Bernal RJH. 1999. Caracterización de leguminosas como abono verde para los sistemas de producción del piedemonte llanero y altillanura plana Colombiana. Boletín Técnico No 16. Villavicencio agosto de 1999.
27. Cherr CM, Scholberg JMS y McSorley R. 2006. Green Manure Approaches to Crop Production: A Synthesis. *Agron. J.* 98:302–319 (2006).
28. Douthwaite B, Manyong VM, Keatinge JDH, Chianu J. 2002. The adoption of alley farming and *Mucuna*: lessons for research, development and extension. *Agroforestry Systems*, 56, 193–202.
29. Douchamps S. 2010. Integration of *Canavalia brasiliensis* into the crop-livestock system of the Nicaraguan hillsides: environmental adaptation and nitrogen dynamics. Dissertation submitted to degree of Doctor of Sciences. ETH Zurich. Group of Plant Nutrition, Institute of Plant Sciences, ETH Zurich. 126 p.
30. Douchamps S, Rao IM, Peters M, Van der Hoek R, Schmidt A, Martens S, Oberson A. 2014. Farm-scale tradeoffs between legume use as forage versus green manure: The case of *Canavalia brasiliensis*. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(1), 25-45.
31. Elbasha E, Thornton PK, Tarawali G. 1999. An ex post economic impact assessment of planted forages in West Africa. ILRI Impact Assessment Series 2, ILRI, Nairobi, Kenya. 68pp.
32. Etchevers JD, Vergara MA, Acosta M, Monreal CM, Jiménez L. 2005. Soil organic carbon, quality index, and soil fertility in hillside agriculture. *Climate Change and Global Food Security*. Taylor and Francis, Boca Raton, Fl. pp, 589-604.
33. Fernandes CD, Grof B, Chakraborty S, Verzignassi JR. 2005. *Stylosanthes Campo Grande* in Brazil: a tropical forage legume success story. Proceedings of the XX International Grassland Congress: Offered papers, Dublin, 2005. p. 330.
34. Fischler M, Wortmann CS. 1999. Green manures for maize–bean systems in eastern Uganda: Agronomic performance and farmers' perceptions. *Agroforestry Systems* 47: 123–138, 1999.
35. Folorunso OA, Rolston DE, Prichard T, Louie DT. 1992. Cover crops lower soil surface strength, may improve soil permeability. *California Agriculture*, 46. (6): 26-27.
36. Franzel S, Wambugu C, Tuwei P, Karanja G. 2003. The adoption and scaling up of the use of fodder shrubs in central Kenya. *Tropical Grasslands*, 37, 239–250.
37. Franzluebbbers AJ, & Stuedemann JA. 2007. Crop and cattle responses to tillage systems for integrated crop–livestock production in the Southern Piedmont, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22(03), 168-180.

38. Fujisaka S, Holmann F, Peters M, Schmidt A, White D, Burgos C, Ordoñez JC, Mena M, Posas MI, Cruz H, Davis C, Hincapié B. 2005. Estrategias para minimizar la escasez de forrajes en zonas con sequías prolongadas en Honduras y Nicaragua. *Pasturas Tropicales*, Vol 27 No. 2: 73-92.
39. Gachene CKK, Mureithi JG, Makau M. 2000. Incorporation of green manure crops in maize based cropping system in a semi-arid environment, Kenya. *Proceedings of the 2nd Scientific Conference of the Soil Management and Legume Research Network Projects, 26-30 June 2000*. Kenya Agricultural Research Institute. Pp. 145-151.
40. Galloway JN, Townsend AR, Erismann JW, et al. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions and potential solutions. *Science* 320: 889–892.
41. García M, Treto E, Álvarez M. 2001. Comportamiento de diferentes especies de plantas para ser utilizadas como abonos verdes en las condiciones de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(4), 11-16.
42. Gathumbi SM, Cadisch G, Buresh RJ, Giller KE. 2003. Subsoil nitrogen capture in mixed legume stands as assessed by deep nitrogen-15 placement. *Soil Science Society of America Journal* 67:573-582.
43. Giller KE. 2001. *Nitrogen fixation in tropical cropping systems*. 2 ed. CABI, Wallingford, Oxon UK. 297 p.
44. Griffin T, Liebman M, Jemison J. 2000. Cover crops for sweet corn production in a short-season environment. *Agron. J.*92: 144-151.
45. Guodao L, Chakraborty S. 2005. Stylo in China: a tropical forage legume success story. *Proceedings of the XX International Grassland Congress: Offered papers, Dublin, 2005*. p. 322.
46. Gupta SR and Singh JS. 1981. The effect of plant species, weather variables and chemical composition of plant material on decomposition in a tropical grassland. *Plant Soil* 59, 99–117.
47. Hartwig NL, Ammon HU. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Sci.* 50:688–699.
48. Hari P, Kulmala L. eds. 2008. *Boreal forest and climate change*. New York: Springer.
49. Heinrichs R, Vitti CG, Moreira A, Monteiro de Figueiredo PA, Fancelli A I, Corazza E J. 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* vol.29 no.1 Viçosa Jan./Feb. 2005.
50. Holmann F. and Lascano C. (eds). 2004. *Feeding systems with forage legumes to intensify dairy production in Latin America and the Caribbean: A project executed by the Tropileche Consortium*. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Tropileche Consortium, Cali, Colombia; SLP (System-wide Livestock Programme),

Addis Ababa, Ethiopia; and ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya. 172 pp.

51. Holt-Gimenez E. 2002. Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agriculture Ecosystems & Environment* 93:87-105.
52. Hudgens RE. 2000. Sustaining soil fertility in Africa: the potential for legume green manures. *Soil technologies for sustainable smallholder farming systems in East Africa. Proceedings of the 15th Conference of the Soil Science Society of East Africa, Nanyuki, Kenya.* Pp. 63-78.
53. Juma H. 2005. The effects of supplementing maize stover and napier grass with clitoria, gliricidia or mucuna on intake, diet digestibility and milk yield of lactating jersey cows in coastal lowland Kenya. A thesis submitted to Graduate school in partial fulfilment for the requirement for the Master of Science Degree in Animal Production (Animal Nutrition) of Egerton University. SEPTEMBER 2005.
54. Juma HK, Abdulrazak SA, Miunga RW, Ambula, MK. 2006. Effects of supplementing maize stover with Clitoria, Gliricida y Mucuna on performance of lactating Jersey Cows in Coastal Lowland Kenya. *Tropical and subtropical Agroecosystems* 2006 (6) 1-7. Universidad Autónoma de Yucatán. Versión en línea: 1870-0462.
55. Kristjanson PM, Okike I, Tarawali S, Singh BB. 2004. Adoption and impact of improved dual-purpose cowpea on food, feed and livelihoods in the West African dry savanna zone. *Agricultural Economics*, 32, 195–210.
56. Kullaya IK, Kilisara M, Aune JB. 1998. The potential of marejea (*Crotalaria ochroleuca*) as green manure in maize production in the Kilimanjaro region of Tanzania. *Soil Use Management* 14: 117-118.
57. Lascano CE, Peters M, Holmann F. 2005. *Arachis pintoi* in the humid tropics of Colombia: a forage legume success story. *Proceedings of the XX International Grassland Congress: Offered papers, Dublin, 2005.* p. 327.
58. Latif MA, Mehuys GR, Mackenzie AF, Alli I, Faris MA. 1992. Effects of legumes on soil physical quality in a maize crop. *Plant and Soil*, 140(1), 15-23.
59. Maasdorp BV, Jiri O, Temba E. 2004. Contrasting adoption, management, productivity and utilisation of mucuna in two different smallholder farming systems in Zimbabwe. In: Whitbread, A.M. and Pengelly, B.C. (eds) *Tropical legumes for sustainable farming systems in Southern Africa.* ACIAR Proceedings No. 115, 154–163.
60. Marin C.E. 1995. *Revista "Sociedad Agrícola" Año 2, Nr 3, Nicaragua.*
61. Martín GM, Rivera R. 2001. Mineralización del nitrógeno incorporado con los abonos verdes y su participación en la nutrición de cultivos de importancia económica. *Cultivos tropicales.* 2001. Vol 22. No 3. P 89-96.

62. Martín GM, & Rivera R. 2002. Participación del nitrógeno de los abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz (*Zea mays* L.) cultivado sobre suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*, 23(3), 91-96.
63. McVay KA, Radcliffe DE, Hargrove WL. 1989. Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirement. *Soil Science Society of America Journal*, 53(6): 1856-1862.
64. McCartney D, & Fraser J. 2010. The potential role of annual forage legumes in Canada: A review. *Canadian Journal of Plant Science*, 90(4), 403-420.
65. Miles JW. 2001. Achievements and perspectives in the breeding of tropical grasses and legumes. Proceedings of the XIX International Grassland Congress, Sao Paulo, Brazil. pp. 509–515.
66. Miles JW, Lascano CE. 1997. Status of *Stylosanthes* development in other countries. 1. *Stylosanthes* development and utilisation in South America. *Tropical Grasslands*, 31, 454–459.
67. Miles RJ, Brown JR. 2011. The Sanborn field experiment: Implications for long-term soil organic carbon levels. *Agron. J.* 103: 268 278.
68. Millar N, Ndufa JK, Cadisch G, Baggs EM. 2004. Nitrous oxide emissions following incorporation of improved-fallow residues in the humid tropics. *Global Biogeochemical Cycles*, 18(1).
69. Mosier AR, Duxbury JM, Freney JR, Heinmeyer O, Minami K. 1996. Nitrous oxide emissions from agricultural fields: assessment, measurement and mitigation. *Plant and Soil* 181: 95–108.
70. Mullen BF, Shelton HM, Dalzell SA. 2005. *Leucaena* in northern Australia: a forage tree legume success story. Proceedings of the XX International Grassland Congress: Offered papers, Dublin, 2005. p. 333.
71. Mulvaney RL, Khan SA, Ellsworth TR. 2009. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. *Journal of Environmental Quality* 38:2295-2314.
72. Muraoka T, Ambrosano EJ, Zapata F, Bortoletto N, Martins ALM, Trivelin PCO, Boaretto AE, Scivittaro WB. 2002. Eficiencia de abonos verdes (*Crotalaria* y *Mucuna*) y urea, aplicados solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. *TERRA Latinoamericana*, ene-mar, vol 20, No 001.
73. Mureithi JG, Gachene CKK, Ojiem J. 2003. The role of green manure legumes in smallholder farming systems in Kenya: the legume research network project. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 1:57–70.

74. Myers RJK, Palm CA, Cuevas E, Gunatilleke IUN, Brossard M. 1994. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: Woomer PL, Swift MJ (eds) *The biological management of tropical soil fertility*. Wiley, Chichester, UK, pp 81–116
75. Ndove TS, Whitbread AM, Clark RA, Pengelly BC. 2004. Identifying the factors that contribute to the successful adoption of improved farming practices in the smallholder sector of Limpopo Province, South Africa. In: Whitbread, A.M. and Pengelly, B.C. (eds) *Tropical legumes for sustainable farming systems in Southern Africa*. ACIAR Proceedings No. 115, 146–154.
76. Neill SP, Lee DR. 2001. Explaining the adoption and disadoption of sustainable agriculture: the case of cover crops in northern Honduras. *Economic Development and Cultural Change*, 49, 793–820.
77. 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.
78. Oberson A, Friesen DK, Tiessen H, Morel C, Stahel W. 1999. Phosphorus status and cycling in native savanna and improved pastures on an acid low-P Colombian Oxisol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55:77-88.
79. Oberson A, Bünemann EK, Friesen DK, Rao IM, Smithson PC, Turner BL, Frossard E. 2005. Improving phosphorus fertility in tropical soils through biological interventions, in: N. Uphoff (Ed.), *Biological approaches to improving the fertility and sustainability of soil systems*, CRC Press.
80. Oglesby KA, Fownes JH. 1992. Effect of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees. *Plant Soil* 143 :127–132
81. Omore A, Muriuki H, Kenyanjui M, Owango M, Staal S. 1999. The Kenyan dairy sub-sector: a rapid appraisal. Ministry of Agriculture/Kenya Agricultural Research Institute/International Livestock Research Institute Small holder Dairy Project Report, ILRI, Nairobi, Kenya.37pp.
82. 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. *Tropical Grasslands*, 37, 207–216.
83. Palm CA, Gachengo CN, Delve RJ, Cadisch G, Giller KE. 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agric Ecosyst Environ* 83: pp. 27-42.
84. Palm CA, Sanchez PA. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23:83-88.

85. Peoples MB, Herridge DF, Ladha JK. 1995. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant and Soil* 174:3–28.
86. Peters M, Lascano CE. 2003. Linking on-station research with participatory approaches: Forage development as the pathway to forage technology adoption. *Tropical Grasslands* 37: 197-203.
87. Piggan C. 2003. The role of *Leucaena* in swidden cropping and livestock production in Nusa Tenggara Timur province, Indonesia. In: da Costa, H., Piggan, C., da Cruz, C.J. and Fox, J.J. (eds) *Agriculture: new directions for a new nation*. ACIAR Proceedings No. 113, 115–129.
88. Pound B. 2000. Cultivos de cobertura para la agricultura en América Latina. En: *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*. 97-120.
89. Ramesh CR, Chakraborty S, Pathak PS, Biradar N, Bhat P. 2005. Stylo in India — much more than a plant for the revegetation of wasteland. *Proceedings of the XX International Grassland Congress: Offered papers, Dublin, 2005*. p. 320.
90. Reeves DW, Wood CW, Touchton JT. 1993. Timing nitrogen application for corn in a winter legume conservation-tillage system. *Agron. J.*85: 30-85.
91. Rivera R, Urquiaga S. 1995. Mineralización y participación del nitrógeno de tres especies de abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz. *Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica: Programa y Resúmenes*. La Habana, Cuba.
92. Russelle MP, Entz MH, Franzluebbbers AJ. 2007. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. *Agron. J.* 99: 325 334.
93. Salamanca WF, Bonilla CR, Sánchez MS. 2006. Evaluación de seis abonos verdes en un vertisol ústico en condiciones del Valle del Cauca. *Acta Agronómica*. Vol 53 No 3. 2006.
94. Sakala WD, Cadisch G, Giller KE. 2000. Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. *Soil biology and biochemistry*, 32(5), 679-688.
95. Schmidt A, Peters M, Franco LH, and Schultze-Kraft R. 2005. *Canavalia brasiliensis* — a multipurpose legume for the sub-humid tropics. In *XX international grassland congress: offered papers*, Wageningen Academic Publishers (p. 382).
96. Schlesinger WH. 2009. On the fate of anthropogenic nitrogen. *Proceedings of National Academy of Sciences, USA* 106: 203–208.
97. Seneviratne G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: A synthesis. *Biol. Fertil. Soils* 31:60–64.

98. Seneviratne G, Van Holm LHJ, Balachandra, LJA, Kulasoorya SA. 1999. Differential effects of soil properties on leaf nitrogen release. *Biol Fertil Soils* 28:238–243.
99. Shelton HM, Franzel S, Peters M. 2005. Adoption of tropical legume technology around the world: analysis of success. *Tropical Grasslands* (2005) Volume 39, 198–209
100. Singh M, Singh S, Singh RS, Tripathi AK, Singh DA. 2010. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) as a green manure to improve the productivity of a menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. *Indust. Crops Prod.* 31:289-293.
101. Smith MS, Frye WW, Varco JJ. 1987. Legume winter cover crops. In: B.A. Stewart (ed.) *Advances in Soil Science* Vol. 7:95-139. Springer-Verlag, New York, NY.
102. Smith P, Martino D, Cai Z, et al. 2007. Agriculture. In: Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA. eds, *Climate change 2007: mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 497–540.
103. Smolander A, Kanerva S, Adamezyk B, Kitunen V. 2012. Nitrogen transformations in boreal forest soils – does composition of plant secondary compounds give any explanations? *Plant and Soil* 350: 1–26.
104. Sollenberger LE, Kalmbacher RS. 2005. Aeschynomene and carpon desmodium: legumes for bahiagrass pasture in Florida. *Proceedings of the XX International Grassland Congress: Offered papers, Dublin, 2005.* p. 334.
105. Tarawali S, Okike I, Kristjanson PK, Singh BB, Thornton P. 2005. Dual-purpose cowpea for west Africa. *Proceedings of the XX International Grassland Congress: Offered papers, Dublin, 2005.* p. 317.
106. Thomas D, Sumberg J. 1995. A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems and the Environment*, 54, 151–163.
107. Thonissen C, Midmore DJ, Ladha JK, Oik DC. 2000. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agron. J.* 92: 253–260.
108. Thurston HD. 1996. *Sustainable Practices for Plant Disease Management in Traditional Farming Systems*, Westview Press Inc, USA, 1996.
109. t Mannelje L. 1997. Harry Stobbs memorial Lecture, 1997: Potential and prospects of legume-based pastures in the tropics. *Tropical Grasslands* 31: 81-94.

110. Turner BL, Frossard E, Oberson A. 2005. Enhancing phosphorus availability in lowfertility soils, in: N. Uphoff (Ed.), *Biological approaches to sustainable soil systems*, CRC Press.
111. Turner BL, Haygarth PM. 2001. Phosphorus solubilization in rewetted soils. *Nature* 411:258.
112. Ulrich C, Vera RR, Weniger JH. 1994. Producción de leche con vacas de doble propósito en pasturas solas y asociadas con leguminosas. *Pasturas Tropicales (CIAT)*. 1994. 16(3):27-30.
113. Valentim JF, Andrade CMS. 2005. Tropical kudzu (*Pueraria phaseoloides*): successful adoption in sustainable cattle production systems in the western Brazilian Amazon. *Proceedings of the XX International Grassland Congress: Offered papers, Dublin, 2005*. p. 328.
114. 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. 2006.
115. Vanlauwe B, Sanginga N, Merckx R. 1998. Soil organic matter dynamics after addition of nitrogen-15-labeled leucaena and dactyladenia residues. *Soil Science Society of America Journal* 62:461-466.
116. Vaughan JD, Evanylo GK. 1998. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. *Agron. J.* 90: 536-544.
117. Vera RR, García O, Botero BR, Ullrich Ch. 1996. Producción de leche y reproducción en sistemas de doble propósito: algunas implicaciones para el enfoque experimental. *Pasturas Tropicales (CIAT)*. Dic., 1996. v. 18(3) p. 25-32.
118. Villanueva AJF, Bonilla CJA, Rubio CJV, Bustamante GJJ. 2004. Agrotecnia y utilización de *Clitoria ternatea* en sistemas de producción de carne y leche. *Tec. Pecu. Mex.* 2004;42(1):79-96.
119. Vyn TJ, Janovicek KJ, Miller MH, Beauchamp EG. 1999. Soil nitrate accumulation and corn response to preceding small-grain fertilization and cover crops. *Agronomy Journal*, 91(1), 17-24.
120. Wilkins RJ. 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363: 517-525. doi:10.1098/rstb.2007.2167.
121. Williams MJ, Quesenberry KH, Prine GM, Olson CB. 2005. *Rhizoma* peanut — more than a 'lucerne' for subtropical USA. *Proceedings of the XX International Grassland Congress: Offered papers, Dublin, 2005*. p. 335.

2. Aporte equivalente de nitrógeno de leguminosas empleadas como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros en sistemas de ganadería doble propósito en el Caribe seco

Resumen

Los sistemas ganaderos de doble propósito en el trópico son afectados durante la época seca con reducción en la producción de leche debido a la disminución en la cantidad y calidad de los forrajes. El impacto de la sequía se puede disminuir mediante el uso de cultivos forrajeros como suplementos, pero requieren aplicación de N, lo cual no es económicamente viable. El objetivo de esta investigación fue determinar el aporte de N de leguminosas como abono verde en producción de forraje de maíz. La leguminosa *C. ensiformis* presentó el mayor aporte de N (151 kg/ha) y *V. unguiculata* (35 kg/ha) el menor. La aplicación de 200 kg de N y la incorporación de *C. brasiliensis* y *C. ensiformis* no mostró diferencias en el rendimiento de biomasa de maíz. La eficiencia de uso de N del maíz fue del 31 - 84%, la cual se redujo con aumento en la dosis de N. Los niveles de NO_3 en el suelo variaron entre 20 y 41 mg/kg al momento de la cosecha, sugiriendo que una proporción del N aportado por la leguminosa no fue asimilado por el cultivo de maíz. La relación C:N fue de 11,63 en las leguminosas y 23,94 en el material no leguminoso, indicando que las leguminosas se degradarían rápido en el suelo. El C orgánico en el suelo aumentó en 22% con abonos verdes, siendo los mayores contenidos (0,70%) con *L. purpureus*. Las leguminosas *C. ensiformis*, *C. brasiliensis* y *L. purpureus* mostraron alto potencial para aportar N, C y conservar humedad del suelo como abonos verdes.

Palabras clave: fertilidad suelo, maíz, carbono, eficiencia N

Nitrogen input equivalent legumes used as green manure for the production of forage crops in dry Caribbean dual purpose livestock

Abstract

In dual-purpose cattle systems in the tropics milk production is reduced during the dry season due to the decrease in the quantity and quality of forage on offer. The negative impact of drought can be reduced through the use of cut and carry forage crops as supplements with application of N, which is not economically viable. An alternative is to use legumes as green manures in rotation with forage crops. The objective of work presented was to quantify the contribution of N from legumes as green manure in forage production from corn. The legume *C. ensiformis* showed the largest contribution of N (151 kg/ha) and the lowest contribution (35 kg/ha) was with *V. unguiculata*. The application of 200 kg of N and the incorporation of *C. ensiformis* and *C. brasiliensis* showed no difference in corn biomass yield. Nitrogen use efficiency by corn crop was 31 - 84%, and was reduced with increased dose of N. The level of NO₃ in the soil ranged from 20 to 41 mg/kg at the time of harvest, suggesting that a high proportion of N coming from the legume was not assimilated by the crop. The C:N ratio was 11,63 in legumes and 23,94 in non-leguminous material indicating that legumes degrade rapidly in the soil. Organic soil C increased by 22% due to legume green manure, with highest content (0,70%) in *L. purpureus*. The legumes *C. ensiformis*, *C. brasiliensis* and *L. purpureus* showed high potential to provide N, C, and to conserve soil moisture when used as green manure (257).

Keywords: soil fertility, corn, carbon, N efficiency

2.1 Introducción

En zonas secas donde predominan sistemas de ganado doble propósito, la producción de leche disminuye en forma significativa en época seca. Una alternativa para mantener la producción es mediante el uso de pastos de corte o cultivos anuales (maíz y sorgo) para ensilar. Sin embargo, para que el uso de cultivos forrajeros sea sostenible se requiere de la aplicación de N, dado que en zonas tropicales con suelos de baja fertilidad es uno de los elementos más limitantes para la producción de biomasa de forrajes. Infortunadamente el uso de fertilizantes sintéticos es limitado por altos costos. Por otra parte, el uso de altos niveles de N químico puede tener efectos ambientales adversos, tales como producción de óxido nitroso (gas de efecto invernadero) y acumulación de nitratos en las aguas freáticas con efectos negativos en calentamiento global y salud humana, respectivamente (Schlesinger, 2009; Smith et al. 2007).

Se postula que el uso de leguminosas herbáceas como abonos verdes es una opción para productores de leche en sistemas doble propósito en el trópico bajo dada su capacidad de fijar N y la posibilidad de integrarlas en sistemas de rotación con cultivos forrajeros.

En Latinoamérica se han evaluado distintas especies de leguminosas como abonos verdes en diferentes sistemas de producción. Por ejemplo, se cita el frijol terciopelo (*Mucuna* spp.), *Dolichos lablab*, *Vicia faba* y *Phaseolus coccineus*. *Canavalia ensiformis*, *Centrosema pubescens*, *Clitoria ternatea*, *Crotalaria juncea*, *Desmanthus virgatus*, *Lablab purpureus*, *Macroptilium atropurpureum*, *Mucuna aterrima*, *Mucuna pruriens*, *Stylosanthes guianensis*, *Teramnus uncinatus* y *Vigna unguiculata*, las cuales como abono verde han tenido aportes de N que ha variado entre 60 y 300 kg ha⁻¹ (Cherr et al. 2006; Thurston 1996). Por otra parte, experimentos en Guatemala mostraron que el valor de sustitución de fertilizante nitrogenado con *Mucuna* spp. y *C. ensiformis* incorporados fue de 60 hasta 158 kg N ha⁻¹ (Pound 2000). En Nicaragua se evaluó *C. brasiliensis* y su aporte de N como abono verde, producción de biomasa fue de 2448 a 5357 kg ha⁻¹, con una tasa de incorporación de N entre 150 - 200 kg ha⁻¹ (Douxchamps 2010). En investigaciones realizadas en el este de Uganda, con *Crotalaria ochroleuca*, *M. pruriens*, *D. lablab*, *C. ensiformis* como abonos verdes, se observaron rendimientos de maíz de un 50 a 60% más altos en comparación con rendimientos obtenidos sin abonos verdes (Mureithi et al. 2003). En Brasil se realizaron

ensayos para suplir N en arroz utilizando N químico (urea) y abonos verdes de *C. juncea* y *M. aterrina*, con niveles de sustitución de hasta 40 kg ha⁻¹ de N (Carvalho et al. 2004; Muraoka et al. 2002). En Colombia se han evaluado como abonos verdes leguminosas como *C. cajan*, *C. ensiformis* en el Valle del Cauca (Salamanca et al. 2006) y *C. retusa*, *C. juncea*, *C. ensiformis*, *V. unguiculata* en los llanos (Corpoica 1999).

Para definir el potencial de uso de abonos verdes en sistemas ganaderos en el trópico se realizó el presente estudio que tuvo como objetivo determinar el aporte equivalente de N de leguminosas seleccionadas y su efecto en la producción de cultivos forrajeros en sistemas de ganadería doble propósito en el Caribe Seco Colombiano.

2.2 Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Centro de Investigación Motilona de CORPOICA, ubicado en la microrregión Valle del Cesar. Se evaluaron en total 12 tratamientos; 7 niveles de fertilización nitrogenada y 5 leguminosas incorporadas al suelo como abono verde.

Los tratamientos fueron: T1: 0 kg N ha⁻¹, T2: 25 kg N ha⁻¹, T3: 50 kg N ha⁻¹, T4: 75 kg N ha⁻¹, T5: 100 kg N ha⁻¹, T6: 150 kg N ha⁻¹, T7: 200 kg N ha⁻¹, T8: Incorporación de *Canavalia brasiliensis*, T9: Incorporación de *Vigna unguiculata*, T10: Incorporación de *Clitoria ternatea*, T11: Incorporación de *Canavalia ensiformis*, T12: Incorporación de *Lablab purpureus*.

Las leguminosas se establecieron al final del periodo de lluvias del primer semestre de 2013 y se dejaron como cobertura durante toda la época seca para ser incorporadas al inicio del siguiente periodo de lluvias. Para la siembra de las leguminosas se empleó semilla sin inocular, para tener los materiales en las condiciones naturales del medio. Cada parcela experimental estuvo conformada por 9 surcos de 5 m de longitud separados a 50 cm entre sí; la siembra dentro del surco se hizo a una distancia de 50 cm entre sitios. El tamaño de cada parcela fue de 20 m² (4 m x 5 m), con una separación de 1 m entre calles y 2 m entre repeticiones.

A comienzos del periodo de lluvias del segundo semestre de 2013, se incorporaron las leguminosas al suelo y 15 días después se sembró Maíz (variedad - ICA-V109) como

cultivo indicador. Cada parcela estuvo conformada por 6 surcos de 5 m de largo cada uno separados a 70 cm y con 5 - 7 plantas de maíz por metro lineal. Las dosis de N se aplicaron en forma fraccionada en tres aplicaciones a los 10, 20 y 32 días después de emergencia de las plantas de maíz.

2.2.1 Variables medidas

Se midió la producción de biomasa en base seca en las leguminosas incorporadas al suelo y en el cultivo indicador (maíz). En la biomasa de las leguminosas y maíz se midió el contenido de minerales (P, Ca, Mg y K), PC ($N \times 6.25$) (Kjeldahl, AOAC- 7.033 - 7.037 1984), FDN, FDA (Van Soest et al. 1991) y DIVMS (Tilley y Terry 1963). En el suelo se midió el contenido de NO_3 (Phiri et al. 2001) y N total (Krom 1980). El N equivalente aportado por cada leguminosa se calculó por medio de una ecuación de regresión lineal ($Y = a + bX$), donde Y es el rendimiento de maíz y X la cantidad de N químico aplicado al maíz.

2.2.2 Análisis estadístico

Para el experimento se empleó un diseño de Bloques Completos al Azar, con 7 niveles de N, 5 entradas de leguminosas y 3 repeticiones, para un total de 36 parcelas experimentales. Los resultados se analizaron usando el PROC GLM del paquete estadístico SAS (V 9.3) y para la comparación de medias se usó el método Tukey.

2.3 Resultados y Discusión

2.3.1 Producción de biomasa y aporte de N en leguminosas

Los resultados mostraron diferencias ($p < 0,001$) en la producción de biomasa entre leguminosas evaluadas (Tabla 2-1). La mayor producción de biomasa se observó con *C. ensiformis* ($6.428 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y la menor con *C. ternatea* ($2.651 \text{ kg MS ha}^{-1}$). La producción de biomasa de *C. brasiliensis* en este estudio fue superior a lo reportado por Douxchamps (2010) en Nicaragua (2.448 vs. $5.357 \text{ kg MS ha}^{-1}$), pero menor a la obtenida ($9.748 \text{ kg MS ha}^{-1}$) en un estudio reportado por Salamanca et al. (2006) en el Valle del Cauca, Colombia.

En cuanto al contenido de N en el follaje de las leguminosas no se observaron diferencias ($p > 0,05$), entre entradas, siendo el promedio de 3,0%.

Tabla 2-1: Producción de biomasa, contenido de nitrógeno (N) y aporte de N equivalente por las leguminosas evaluadas como abono verde

Leguminosa	Producción biomasa kg MS ha ⁻¹	% N	N equivalente ² kg ha ⁻¹
<i>C. ternatea</i>	2.651 cd ¹	3,5 ¹	106 ab ¹
<i>V. unguiculata</i>	3.891 bc	3,4	35 bc
<i>C. ensiformis</i>	6.428 a	3,3	151 a
<i>L. purpureus</i>	5.565 a	3,1	103 ab
<i>C. brasiliensis</i>	5.076 ab	3,3	129 ab
Biomasa no leguminosa	1.824 d	1,5	-37 c
<i>Promedio</i>	4.239	3,0	81,2

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), según prueba de Tukey. ² Calculado con la ecuación: $X = (Y - a) / b$ derivada de la ecuación de regresión: $Y = 13681,48 + 20,30X$; $r = 0,84$: donde $Y = \text{kg MS ha}^{-1}$ de maíz y $X \text{ kg de N ha}^{-1}$ aplicado.

El equivalente de N (kg ha^{-1}) aportado por las leguminosas incorporadas al suelo se cuantificó con la ecuación de regresión: $Y = 13681,5 + 20,3X$; $r = 0,84$, la cual se obtuvo a partir de la producción de biomasa de maíz (Y) y las dosis de N aplicadas (X).

El mayor aporte equivalente de N se observó con *C. ensiformis* (151 kg N ha^{-1}) y el menor con *V. unguiculata* (35 kg N ha^{-1}). Los valores de N equivalente aportado por las leguminosas evaluadas fueron inferiores a los reportados en Cuyuta, Guatemala, en donde los valores de sustitución de fertilizante fueron de 127 y 158 kg N ha^{-1} con *Mucuna* spp. y *C. ensiformis*, respectivamente (Pound 2000). En Nicaragua con *C. ensiformis* se observaron valores de N equivalente entre $150 - 200 \text{ kg ha}^{-1}$ (Douxchamps 2010). En suelos ácidos de los llanos orientales de Colombia se reportó que *C. ensiformis*, *V. unguiculata* y *Crotalaria spectabilis*, tuvieron aportes de N que variaron entre 31 y 326 kg ha^{-1} (Corpoica 1999). Sin embargo, se debe tener en cuenta que en esos estudios el N aportado por las leguminosas incorporadas al suelo se calculó partir de la biomasa de los materiales y de su contenido de N, y no de N equivalente calculado en función de N químico aplicado.

En general, los resultados mostraron un buen comportamiento de *C. ensiformis* y *C. brasiliensis* en condiciones del trópico seco del Cesar, tanto en producción de biomasa, tolerancia a sequía y aporte de N al suelo, lo cual coincide con lo reportado en otras zonas de Centro América y África con periodos secos prolongados (Anderson et al. 1997; Cherr et al. 2006; Keller et al. 2006; Maass et al. 2010).

2.3.2 Contenido de minerales en las leguminosas

Los resultados no mostraron diferencias ($p > 0,05$) en el contenido de K entre leguminosas. Sin embargo, los contenidos de N, P, Ca y Mg fueron diferentes ($p < 0,05$) entre leguminosas (Tabla 2-2). El contenido de N varió entre 3,1 y 3,5% en las leguminosas y 1,5% en la biomasa de material no leguminoso (testigo negativo). El nivel de P en las leguminosas evaluadas varió entre 0,2 y 0,5% mientras que los niveles de Ca variaron entre 1,3 y 4,3% y los de S entre 0,2 a 0,8%.

Tabla 2-2: Concentración de minerales (%) en la parte aérea de las leguminosas evaluadas como abonos verdes

Tratamiento	N	P	Ca	Mg (%)	K	S
<i>C. ternatea</i>	3,5 ¹	0,45 ab ¹	1,25 cd ¹	0,47 b ¹	2,44 ¹	0,23 bc ¹
<i>V. unguiculata</i>	3,4	0,46 ab	4,29 a	0,51 b	3,84	0,24 bc
<i>C. ensiformis</i>	3,3	0,20 c	2,45 bc	0,21 b	1,91	0,48 b
<i>L. purpureus</i>	3,1	0,54 a	2,59 b	0,27 b	3,72	0,20 c
<i>C. brasiliensis</i>	3,3	0,36 b	4,08 a	0,27 b	2,22	0,17 c
No leguminosa	1,5	0,37 b	0,36 d	2,82 a	1,60	0,77 a
Promedio	3,03	0,40	2,50	0,76	2,62	0,35

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), según prueba de Tukey.

La concentración de minerales en las leguminosas evaluadas están 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 et al. 1997).

2.3.3 Producción de biomasa del cultivo indicador (maíz)

La producción de forraje de maíz (en base seca), fue mayor ($p < 0,05$) en el tratamiento con 200 kg de N ($17.420 \text{ kg MS ha}^{-1}$) comparado con el rendimiento que se obtuvo cuando se incorporó *V. unguiculata* ($14.388 \text{ kg MS ha}^{-1}$) y con el rendimiento que se obtuvo con el testigo sin N ($12.932 \text{ kg MS ha}^{-1}$). La producción de forraje de maíz con $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$ fue superior ($p < 0,05$) en un 25% a la que se obtuvo cuando no se aplicó N (Tabla 2-3).

Tabla 2-3: Producción de biomasa del cultivo indicador (maíz) y extracción de N con una fuente de N químico y de leguminosas usadas como abonos verdes

Tratamiento	kg MS ha ⁻¹	Extracción por Maíz ² kg N ha ⁻¹
0N	12.933 e ¹	157,7 d
25N	14.765 cd	171,2 cd
50N	13.993 de	181,9 bc
75N	16.089 abc	202,2 ab
100N	16.275 ab	205,8 ab
150N	16.475 ab	204,7 ab
200N	17.420 a	222,7 a
<i>C. brasiliensis</i>	16.300 ab	224,1 a
<i>C. ensiformis</i>	16.743 ab	225,9 a
<i>V. unguiculata</i>	14.388 d	185,6 bc
<i>C. ternatea</i>	15.821 bc	205,8 ab
<i>L. purpureus</i>	15.757 bc	194,6 bc
Promedio	15.580	198,6

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), según prueba de Tukey. ²Calculado por la producción de biomasa de maíz: $\text{kg MS ha}^{-1} * \% \text{ N maíz}$

Con la incorporación al suelo de *C. brasiliensis*, *C. ensiformis*, *C. ternatea* y *L. purpureus* se observó que la producción de forraje de maíz no fue diferente ($p > 0,05$) a la producción que se obtuvo con $75 \text{ kg de N ha}^{-1}$. Por otra parte, con la incorporación de *C. ensiformis* al suelo (equivalente a 151 kg N ha^{-1}) se logró una producción de forraje de maíz que fue un 16% superior ($p < 0,05$) a la que se obtuvo con la dosis comúnmente usada de N en la zona (50 kg ha^{-1}) y un 6 % inferior ($p > 0,05$) a la producción que se obtuvo con la dosis más alta de N (200 kg ha^{-1}) aplicado en este estudio. Más, a partir de 75 kg N ha^{-1} no hubo diferencia estadística hasta los 200 kg N ha^{-1} .

El aporte equivalente de N con la biomasa incorporada de las leguminosas evaluadas y su efecto en producción de forraje de maíz en este estudio están en la misma dirección de otros estudios reportados en la literatura. Sin embargo los resultados no son estrictamente

comparables pues en esos estudios se midió producción de grano y no de biomasa del cultivo indicador. Por ejemplo, Fischler y Wortmann (1999) en el este de Uganda, utilizaron *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna pruriens*, *Dolichos lablab*, *C. ensiformis* como abonos verdes y observaron rendimientos de grano de maíz y frijol de un 50 a 60% más altos en comparación con rendimientos obtenidos sin abonos verdes. En Kenia, luego de la incorporación de *M. pruriens*, *C. ensiformis* y *L. purpureus*, se aumentó la producción de grano de maíz de un 35 a 100% en comparación con la aplicación de fertilizante nitrogenado (Mureithi et al. 2003).

La eficiencia aparente de uso del N por parte del cultivo de maíz (calculada por un método indirecto: kg N ha^{-1} planta fertilizada – kg N ha^{-1} planta sin fertilizar)/ kg N ha^{-1} aplicado o incorporado) varió entre 31,4 y 83,6 ($p < 0,05$) y se redujo a medida que aumentó la dosis de N (Gráfico 2-1). En otros estudios también se ha encontrado una menor eficiencia en uso de N a medida que se aumenta la dosis de N aplicado por encima de 125 - 150 kg ha^{-1} (Barbieri et al. 2010; Soto et al. 2004; Valero et al. 2005).

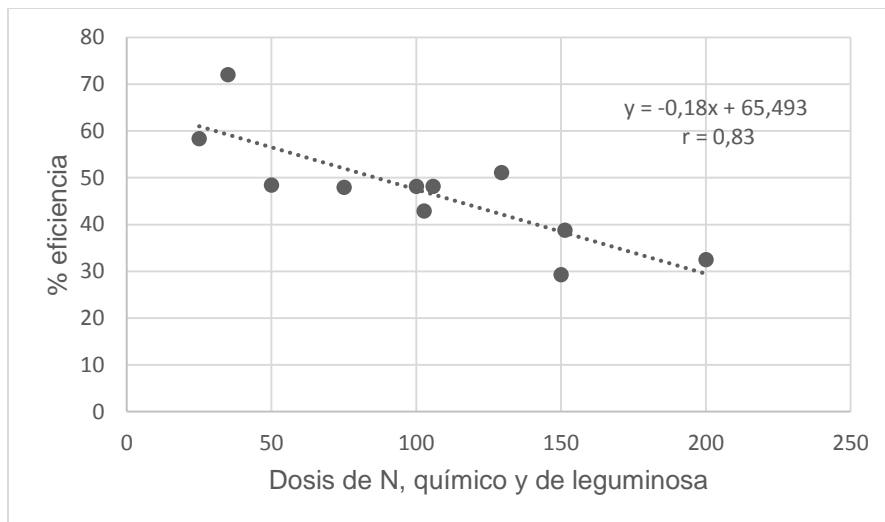


Gráfico 2-1: Relación entre nivel de N químico y N de leguminosas incorporado (kg ha^{-1}) y eficiencia aparente de uso del nitrógeno por un cultivo de maíz

Los valores de eficiencia de uso de N fueron similares a los observados (32 a 40%) en Cuba, usando el mismo método de cálculo, con abonos verdes de *Crotalaria*, *Mucuna* y

Sesbania (Martín y Rivera 2002). Por otra parte, en estudios en Venezuela se observó alta variación en eficiencia de uso de N químico (40 y 90%) (Delgado et al. 2001).

La eficiencia de uso del N fijado por leguminosas es normalmente un 10 a 20% menor que la del N adicionado como fertilizante químico (Barrios et al. 1996; Chikowo et al. 2006). Sin embargo, la eficiencia de uso del N fijado por una leguminosa usada como abono verde puede variar dependiendo de la sincronización que exista entre el momento de aporte de nutriente y la demanda del cultivo (Cobo et al. 2002; Seneviratne 2000).

2.3.4 Calidad nutricional del cultivo indicador (maíz)

En el forraje de maíz cosechado el nivel de PC después de incorporar leguminosas como abonos verdes fue similar ($p > 0,05$) al nivel encontrado en el forraje con la aplicación de N en forma química (Tabla 2-4). En otros estudios se han encontrado valores superiores de PC a los reportados en este estudio, pero con dosis de N (400 kg) más altas (Binder et al. 2000; Sinclair y Muchow 1995; Soto et al. 2004). Con la incorporación de leguminosas al suelo no se han logrado aumentos significativos en PC en el cultivo en rotación (Cox et al. 1993; Scharf et al. 2002; Soto et al. 2002).

Tabla 2-4: Calidad nutricional en el maíz (cultivo indicador) en función de fertilización con N o la incorporación de leguminosas al suelo

Tratamiento	PC (%)	FDN (%) ¹	FDA (%) ¹	DIVMS (%) ¹
0N	7,6	55,9 bc	43,4 abc	55,2 d
25N	7,3	54,5 bc	44,5 abc	56,3 bcd
50N	8,1	61,5 a	45,3 ab	55,9 cd
75N	7,5	59,1 ab	46,1 a	57,6 abcd
100N	7,9	57,0 abc	42,5 abcd	60,2 abcd
150N	7,6	57,0 abc	44,3 abc	60,0 abcd
200N	7,9	53,3 c	40,1 bcd	57,9 abcd
<i>C. brasiliensis</i>	8,6	56,7 bc	44,7 abc	59,6 abcd
<i>C. ensiformis</i>	8,1	53,4 c	37,0 d	61,9 a
<i>V. unguiculata</i>	8,0	54,9 bc	39,5 cd	60,4 abcd
<i>C. ternatea</i>	8,1	58,6 ab	41,3 abcd	61,2 ab
<i>L. purpureus</i>	7,7	56,3 bc	42,9 abc	60,8 abc
Promedio	7,9	56,4	42,6	58,9

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey.

El nivel de FDN en el forraje de maíz fue mayor ($p < 0,05$) en el tratamiento de 50 kg de N (61,5%), en comparación con los tratamientos con 200 kg de N (53,3%) y con la incorporación de *C. ensiformis* (53,4%). Los niveles de FDA en el forraje de maíz variaron entre 37,0 y 46,1%, y con tendencia a ser más bajo en los tratamientos donde se incorporó la leguminosa.

Los niveles de fibra (FDN y FDA) en el maíz usado como cultivo indicador en este estudio fueron inferiores a los obtenidos por Sandoval (2007) en el forraje de una asociación maíz + *M. pruriens* cosechada a los 75 días (FDN 59,2% y FDA 45,5%) y por Elizondo y Boschini (2001) para forraje de maíz cosechado a los 84 días (FDN 73,8 y FDA 48,7%).

En el caso de la DIVMS del forraje de maíz, los valores más altos ($p < 0,05$) se obtuvieron con el tratamiento de *C. ensiformis* (61,9%) y los más bajos con el forraje de maíz en la parcela testigo (55,2%). La relativa baja digestibilidad en el forraje de maíz se pudo deber a que la cosecha se realizó 12 días después de que se formara el grano lechoso, lo cual afectó su calidad. En otros estudios la digestibilidad (67%) del forraje de maíz fue más alta, debido posiblemente a que el forraje se cosechó antes de que el grano estuviese en estado lechoso (Jiménez et al. 2005).

2.3.5 Nitrógeno en el suelo

El contenido de N total (valor promedio de 0,12%) en el suelo al momento de la aplicación de N químico y de la incorporación de las leguminosas no varió ($p > 0,05$) debido a los tratamientos aplicados y como era de esperarse fue menor ($p < 0,05$) en todos los tratamientos al momento de cosecha de forraje de maíz (Gráfico 2-2). Se observó, además que al momento de la cosecha del maíz el contenido de N total en el suelo varió poco ($p > 0,05$) entre tratamientos de N aplicado y de incorporación de leguminosas (Gráfico 2-2).

Los niveles de nitrato (NO_3) en el suelo fueron mayores ($p < 0,05$) al momento de cosecha del maíz que al momento de fertilizar con N químico o de incorporar leguminosas al suelo (Gráfico 2-3). También fue evidente que los valores de NO_3 en el suelo fueron muy variables tanto cuando se aplicó N químico como cuando se incorporó la leguminosa.

44 Utilización de leguminosas forrajeras como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros y leche en ganaderías doble propósito en el trópico seco

Para interpretar los valores de NO_3 en el suelo en este estudio hay que tener cuenta que al fertilizar con N químico se lleva a cabo un proceso de mineralización mediante el cual parte del N aplicado se volatiliza (15 - 20%) y otra parte se convierte por acción de bacterias (nitrosomas - nitrobacter) en $\text{NO}_2\text{-NO}_3$. El N que la planta no absorbe se pierde por lixiviación o desnitrificación (25 - 30%) (Rufino et al. 2006; Watson et al. 2002).

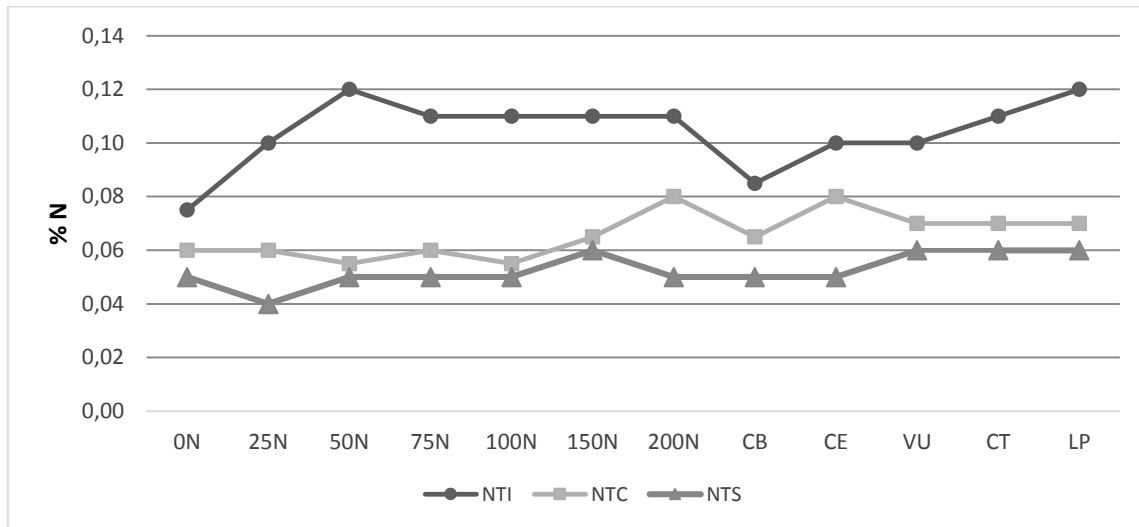


Gráfico 2-2: Contenido nitrógeno total (NT) en el suelo en el momento de incorporación de la leguminosa (NTI), al momento de cosecha del maíz (NTC) y al momento de siembra de las leguminosas (NTS)

(CB: *C. brasiliensis*, CE: *C. ensiformis*, VU: *V. unguiculata*, CT: *C. tematea*; LP: *L. purpureus*)

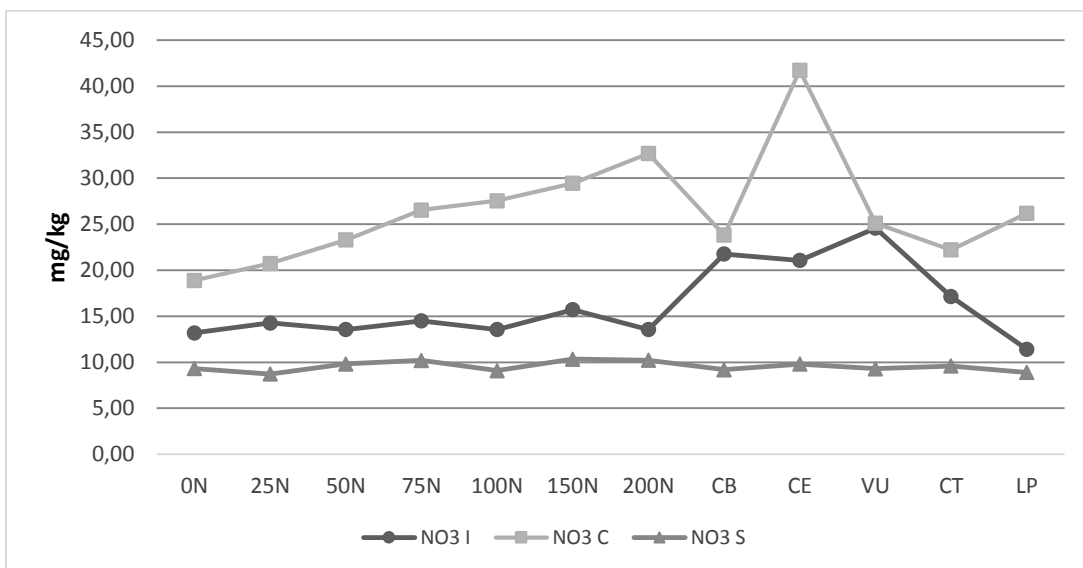


Gráfico 2-3: Contenido de nitrato (NO_3) en el suelo al momento de la incorporación de la leguminosa (NO_3I), al momento de la cosecha del maíz (NO_3C) y al momento de siembra de las leguminosas (NO_3S)

(CB: *C. brasiliensis*, CE: *C. ensiformis*, VU: *V. unguiculata*, CT: *C. tematea*; LP: *L. purpureus*)

Las plantas fertilizadas con N químico toman más N del suelo que las no fertilizadas (efecto priming), por un efecto del fertilizante sobre la mineralización, a través de los procesos físico-químicos y microbiológicos del suelo (Kuzyakov et al. 2000; Ma et al. 1999; Martín y Rivera 2002).

Con la incorporación de leguminosas como abonos verdes, el N en el suelo puede estar disponible hasta 90 días después de la incorporación, sobre todo si las leguminosas tienen taninos (Barrios et al. 1996; Seneviratne 2000). En estudios en Brasil se ha reportado que entre el 85 y el 95% del N proveniente de abonos verdes de *Mucuna*, *Canavalia* y *Crotalaria* en el suelo fue absorbido por el cultivo de maíz en los primeros 29 días después de la germinación, indicando una rápida mineralización (Chikowo et al. 2006; García et al. 2001; Rivera y Urquiaga 1995).

En otros estudios se ha reportado que valores por encima de 46 mg kg⁻¹ de NO₃ se consideran altos, implicando riesgo de lixiviación y contaminación de acuíferos (Anken et al. 2004). En este estudio se encontraron niveles de NO₃ que variaron entre 20 y 41 mg kg⁻¹ de NO₃ en el suelo después de la cosecha de maíz en los tratamientos donde se incorporó abonos verdes de leguminosas. Esto sugiere que una proporción relativamente alta del N aportado por la leguminosa no lo asimiló el cultivo de maíz. La consecuencia de esto es lixiviación de NO₃, lo cual se podría considerar una limitación de los abonos verdes fácilmente degradables en el suelo (García 1997; Mureithi et al. 2003; Seneviratne 2000).

2.3.6 Relación Carbono: Nitrógeno (C:N) en leguminosas y humedad en suelo

La relación más alta ($p < 0,05$) de C:N (23,9) se encontró en el material no leguminoso y no se observaron diferencias ($p > 0,05$) en relación C:N (11,6 a 13,2) entre las leguminosas evaluadas como abonos verdes (Tabla 2-5). Estos resultados concuerdan con los reportados en otros estudios, donde se encontraron relaciones C:N entre 9 y 25 en leguminosas como *C. brasiliensis*, *L. purpureus*, *Dolichos lablab* y *Mucuna pruriens* (Cobo et al. 2002; Douxchamps 2010; Odhiambo 2010).

La mineralización del N en el suelo depende en gran medida de la relación C:N del material incorporado. Un material vegetal incorporado al suelo con una relación C:N alta se descompone más lentamente en el suelo que un material con una relación C:N baja (Martín y Rivera 2002; Nziguheba et al. 2005). Se ha reportado que plantas con relaciones C:N mayores a 27 inmovilizan N, mientras que plantas con una relación C:N menor a 27 mineralizan N, siendo 25 el valor crítico de equilibrio entre inmovilización y mineralización (Martín y Rivera 2002; Myers et al. 1994; Seneviratne et al. 1999; Seneviratne 2000).

Las leguminosas se degradan en el suelo en forma rápida cuando su relación de C:N es del orden de 9,0. En el caso de gramíneas la relación C:N es de 20 o más, lo cual determina su degradación lenta en el suelo (Barrios et al. 1997; Palm y Sánchez 1991; Sakala et al. 2000). Las leguminosas sin taninos que se descomponen rápidamente producen una gran cantidad de CO₂, y consecuentemente aportan poca MO al suelo, pero bastante nitrato (NO₃) que es forma de N más asimilable para las plantas. Alternativamente, leguminosas con taninos que tienen baja relación C:N se descomponen lentamente, dejando un buen residuo de MO y poco N disponible en el suelo, ya que el mismo es utilizado por los microorganismos del suelo para descomponer la leguminosa incorporada y en ese proceso se transforma en N orgánico no disponible para cultivos en rotación como maíz (Barrios et al. 1997; Oglesby y Fownes 1992; Palm y Sánchez 1991; Seneviratne 2000).

Tabla 2-5: Relación carbono nitrógeno (C:N) y humedad del suelo en las leguminosas evaluadas

Leguminosa	Relación C:N en leguminosas	Contenido de humedad en el suelo (%)
<i>C. ternatea</i>	12,64 b	13,43 ab
<i>V. unguiculata</i>	12,51 b	11,30 b
<i>C. ensiformis</i>	11,63 b	13,70 ab
<i>L. purpureus</i>	13,18 b	14,83 a
<i>C. brasiliensis</i>	12,73 b	13,43 ab
Biomasa no leguminosa	23,94 a	8,61 c
<i>Promedio</i>	14,44	12,55

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), según prueba de Tukey.

El contenido de humedad en el suelo medido antes de la incorporación de las leguminosas fue mayor ($p < 0,05$) en las parcelas con leguminosa (11,3 a 13,7%), en comparación con

las parcelas de suelo sin abono verde de leguminosa (8,6%). Un aumento en los niveles de humedad en el suelo puede resultar en aumento de la agregación y porosidad más alta del suelo y en mayor número de macroporos, todo lo cual es conducente a mejores condiciones para la incorporación de MO al suelo por microorganismos (Gupta y Singh 1981 Latif et al. 1992). Esto a su vez resulta en un aumento del contenido de N en el suelo, sobre todo si la humedad es mayor al 10% (Hartwig y Ammon 2002; Palm et al. 2001; Thonissen et al. 2000).

El contenido de C orgánico en el suelo fue en todos los casos superior ($p < 0,05$) al momento de cosecha del maíz en comparación con el momento de incorporación de las leguminosas (Gráfico 2-4). Al momento de incorporación de la leguminosa se observó un contenido promedio de 0,49% de C orgánico en el suelo, que fue más bajo ($p < 0,05$) al valor observado (0,63%) al momento de la cosecha del maíz. El mayor contenido de C orgánico en el suelo se observó con *L. purpureus* ($p > 0,05$), tanto al momento de la incorporación de la leguminosa como al momento de la cosecha del maíz.

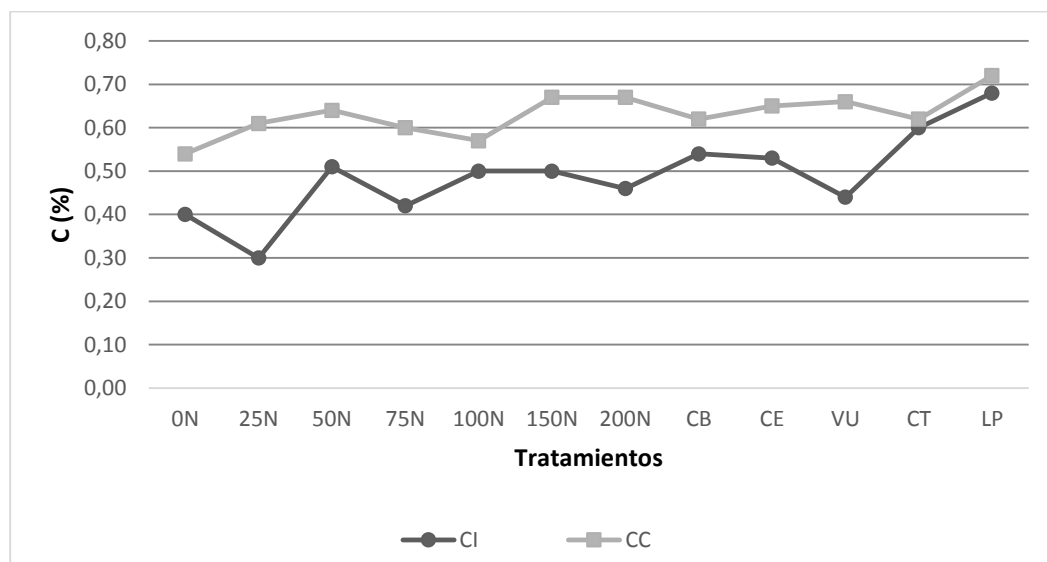


Gráfico 2-4: Contenido de carbono orgánico (C) en el suelo asociado con la incorporación de la leguminosa (CI) y momento de cosecha del maíz (CC)

(CB: *C. brasiliensis*, CE: *C. ensiformis*, VU: *V. unguiculata*, CT: *C. ternatea*; LP: *L. purpureus*)

Si bien en este estudio se presentó un aumento de C orgánico del suelo asociado con la incorporación de leguminosas como abono verde, estas se han utilizado en gran parte del mundo con más éxito para incrementar la cantidad de N asimilable que para aumentar la

cantidad de MO en el suelo (Nziguheba et al. 2005; Palm y Sánchez 1991; Seneviratne 2000).

2.4 Conclusiones

- Las leguminosas *C. ensiformis*, *C. brasiliensis* y *L. purpureus* mostraron estar bien adaptadas al trópico seco, tener un alto potencial para aportar N al suelo como abonos verdes y de contribuir a aumentar la producción de cultivos forrajeros para suplementar ganado en la época seca.
- Con el uso de abonos verdes de leguminosas se observó un aporte equivalente de N de hasta de 151 kg N ha⁻¹ con lo cual es posible obtener altos rendimiento de cultivos forrajeros.
- Rendimiento de cultivo forrajero con leguminosas destacadas
 - Fue 29 % mayor que el testigo (0 N)
 - 19% más que con 50Kg de N (dosis usada en la zona)
 - 4% inferior a dosis más alta de N (200 Kg /ha)
- Con el uso de leguminosas como *L. purpureus*, *C. ensiformis*, *C. brasiliensis* como abono verde se logró una relación C:N de 11.6 a 13.2 lo cual puede asegurar una eficiente mineralización del N.
- En los tratamientos con leguminosas como abono verde se observó una mayor humedad el suelo (11.3-14.8%), frente al testigo sin abono (8.6%).

2.5 Bibliografía

1. A.O.A.C. 1984. Official Methods of analysis of the Association of Analytical Chemists, (14 th ed).
2. A.O.A.C. 1998. Journal Official methods of analysis of the association of official agricultural chemists.
3. Anderson S, Ferraes N, Gundel S, Keane B, Pound B (Eds.). 1997. "Cultivos de Cobertura: componentes de sistemas integrados". Taller Regional Latino-americano. 3-6 de Febrero 1997. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Apartado 116-4, Mérida 97100, Yucatán, México.

4. Anken T, Atamp 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.
5. Barbieri PA, Echeverría HE, Rozas HS, Maringolo M. 2010. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. *Ciencia del suelo*, 28, 57-66.
6. Barrios E, Buresh RJ, Sprent JI. 1996. Nitrogen mineralization in density fractions of soil organic matter from maize and legume cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry* 28:1459-1465.
7. Barrios E, Kwesiga F, Buresh R, Jand Sprent JI. 1997. Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 826–831.
8. Binder DL, Sander DH, Walters DT. 2000. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. *Agron. J.* 92:1228-1236.
9. Carvalho MD, Soratto RP, Athayde MLF, Arf O, Sá MD. 2004. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema plantio direto e convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.47-53, 2004.
10. Cherr CM, Scholberg JMS, McSorley R. 2006. Green Manure Approaches to Crop Production: A Synthesis. *Agron. J.* 98:302–319 (2006).
11. Chikowo R, Mapfumo P, Leffelaar PA, Giller KE. 2006. Integrating legumes to improve N cycling on smallholder farms in sub-humid Zimbabwe: resource quality, biophysical and environmental limitations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76:219-231.
12. Cobo JG, Barrios E, Kass DCL, Thomas RJ. 2002. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical volcanic-ash soil. *Plant Soil* 240: 331-342.
13. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Navas RGE, Bernal RJH. 1999. Caracterización de leguminosas como abono verde para los sistemas de producción del piedemonte llanero y altillanura plana Colombiana. *Boletín Técnico* No 16. Villavicencio agosto de 1999.
14. Cox WJ, Kalonge S, Cherney DJR, Reid WS. 1993. Growth, yield and quality of forage maize under different nitrogen management practices. *Agron. J.* 85:341-347.
15. Delgado R, Ramírez R, Urquiaga S. 2001. Colocación del nitrógeno en el suelo y la eficiencia de uso por el maíz. *Agronomía Trop*, 51(3), 337-350.
16. Douchamps S. 2010. Integration of *Canavalia brasiliensis* into the crop-livestock system of the Nicaraguan hillsides: environmental adaptation and nitrogen dynamics. Dissertation submitted to degree of Doctor of Sciences. ETH Zurich. Group of Plant Nutrition, Institute of Plant Sciences, ETH Zurich. 126 p.

17. Elizondo J, Boschini C. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 12(2), 181-188.
18. Fischler M, Wortmann CS. 1999. Green manures for maize-bean systems in eastern Uganda: Agronomic performance and farmers' perceptions. *Agroforestry Systems* 47: 123-138, 1999.
19. García M. 1997. Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos económicos desarrollados sobre un suelo Ferralítico Rojo de La Habana. Doctoral dissertation, Tesis de Doctorado. La Habana: INCA).
20. García M, Treto E, Álvarez M. 2001. Comportamiento de diferentes especies de plantas para ser utilizadas como abonos verdes en las condiciones de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(4), 11-16.
21. Gupta SR, Singh JS. 1981. The effect of plant species, weather variables and chemical composition of plant material on decomposition in a tropical grassland. *Plant Soil* 59, 99-117.
22. Hartwig NL, Ammon HU. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Sci.* 50:688-699.
23. Jara FA, Bunch R, Valdivia AR, Pitty A, Andrews KL, Rodríguez V, CATIE Turrialba (Costa Rica). 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). Ene-Jun*, 38(1), 95.
24. Jiménez P, Cortés H, Ortiz S. 2005. Rendimiento forrajero y calidad del ensilaje de canavalia en monocultivo y asociada con maíz. *Acta Agronómica* 54(2). Universidad Nacional de Colombia ISSN: 0120-2812 Colombia.
25. Keller GD, Mndiga H, Maass BL. 2006. Diversity and genetic erosion of traditional vegetables in Tanzania from the farmer's point of view. *Plant Genet Resour* 3:400-413
26. Krom MD. 1980. Spectrophotometric determination of ammonia - a study of a modified Berthelot reaction using salicylate and dichloroisocyanurate. *Analyst* 105:305-316.
27. Kuzyakov Y, Friedel JK, Stahr K. 2000. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, 32(11), 1485-1498.
28. Latif MA, Mehuys GR, Mackenzie AF, Alli I, Faris MA. 1992. Effects of legumes on soil physical quality in a maize crop. *Plant and Soil*, 140(1), 15-23.
29. Ma BL, Dwyer LM, Gregorich EG. 1999. Soil nitrogen amendment effects on seasonal nitrogen mineralization and nitrogen cycling in maize production. *Agronomy Journal*, 91(6), 1003-1009.
30. Maass BL, Knox MR, Venkatesha SC, Tefera TA, Ramme S, Pengelly BC. 2010. Lablab purpureus—A Crop Lost for Africa. *Tropical Plant Biol.* (2010) 3:123-135.

31. Martín GM, Rivera R. 2002. Participación del nitrógeno de los abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz (*Zea mays* L.) cultivado sobre suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*, 23(3), 91-96.
32. Myers RJK, Palm CA, Cuevas E, Gunatilleke IUN, Brossard M. 1994. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: Woomer PL, Swift MJ (eds) *The biological management of tropical soil fertility*. Wiley, Chichester, UK, pp 81–116
33. Muraoka T, Ambrosano EJ, Zapata F, Bortoletto N, Martins ALM, Trivelin PCO, Boaretto AE, Scivittaro WB. 2002. Eficiencia de abonos verdes (*Crotalaria* y *Mucuna*) y urea, aplicados solos o juntamente como fuentes de N para el cultivo de arroz. *TERRA Latinoamericana*, ene-mar, vol 20, No 001.
34. Mureithi JG, Gachene CKK, Ojiem J. 2003. The role of green manure legumes in smallholder farming systems in Kenya: the legume research network project. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 1:57–70.
35. 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.
36. Odhiambo JJ. 2010. Decomposition and nitrogen release by green manure legume residues in different soil types. *African Journal of Agricultural Research*, 5 (1), 090-096.
37. Oglesby KA, Fownes JH. 1992. Effect of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees. *Plant Soil* 143:127–132
38. Palm CA, Gachengo CN, Delve RJ, Cadisch G, Giller KE. 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agric Ecosyst Environ* 83: pp. 27-42
39. Palm CA, Sanchez PA. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23:83-88.
40. Pauth MNJ, Olivas LLH, Palma MAM. 1997. Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de leguminosas nativas con potencial forrajero en Jalapa y Estelí, Nicaragua. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia (Brasil)*.
41. 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 and Soil* 231: 211-223.
42. Pound B. 2000. Cultivos de cobertura para la agricultura en América Latina. En: *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*. 97-120.

43. Rivera R, Urquiaga S. 1995. Mineralización y participación del nitrógeno de tres especies de abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz. Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica: Programa y Resúmenes. La Habana, Cuba.
44. Rufino MC, Rowe EC, Delve RJ, Giller KE. 2006. Nitrogen cycling efficiencies through resource-poor African croplivestock systems. *Agric Ecosyst Environ* 112:261–282
45. Sakala WD, Cadisch G, Giller KE. 2000. Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. *Soil biology and biochemistry*, 32(5), 679-688.
46. Salamanca AWF, Bonilla CCR, Sanchez MS. 2006. Evaluación de seis abonos verdes en un vertisol ústico en condiciones del Valle del Cauca. *Acta Agronomica*. Vol 53 No 3. 2006.
47. Sandoval B. 2007. Características agronómicas y nutricionales de asociaciones de gramíneas y leguminosas tropicales. Tesis de maestría. Puerto Rico. 102 p.
48. Scharf PC, Wiebold WJ, Lory JA. 2002. Corn yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. *Agron. J.* 94:435-441.
49. Seneviratne G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. April 2000, Volume 31, pp 60-64
50. Seneviratne G, Van Holm LHJ, Balachandra LJA, Kulasoorya SA. 1999. Differential effects of soil properties on leaf nitrogen release. *Biol Fertil Soils* 28:238–243
51. Sinclair TR, Muchow RC. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield. I. Modeling physiological responses. *Agron. J.* 87:632-641.
52. Soto P, Jahn E, Arredondo S. 2002. Población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el valle central regado. *Agric. Téc. (Chile)* 62:255-265.
53. Soto O, Jahn B, Arredondo S. 2004. Mejoramiento del porcentaje de proteína en maíz para ensilaje con el aumento y parcialización de la fertilización nitrogenada. *Agricultura Técnica*, 64(2), 156-162.
54. SAS (Statistical analysis system institute). 2011. SAS STAT User's Guide. Version 9.3. SAS Institute Inc. Cary. North Carolina, USA. 2011.
55. Thonissen C, Midmore DJ, Ladha JK, Oik DC. 2000. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agron. J.* 92: 253–260.
56. Thurston HD. 1996. Sustainable Practices for Plant Disease Management in Traditional Farming Systems, Westview Press Inc, USA, 1996.
57. Tilley JM, Terry RA. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. British Grass. Soc.* 28: 104-111.

58. Valero JDJ, Maturano M, Ramírez AA, Martín-Benito JT, Álvarez JO. 2005. Growth and nitrogen use efficiency of irrigated maize in a semiarid region as affected by nitrogen fertilization. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3(1), 134-144.
59. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral fiber and no starch polysaccharides in relation to nutrition. *J. Dairy Sci.* 1991. 74: 3583-3597.
60. Vivas May EF, Rosado Rubio JG, Castellanos Ruelas AF, Heredia y Aguilar M, Cabrera-Torres EJ. 2011. Contenido mineral de forrajes en predios de ovinocultores del estado de Yucatán. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(4), 465-475.
61. Watson CA, Bengtsson H, Ebbesvik M, Loes AK, Myrbeck A, Salomon E, Schroder J, Stockdale EA. 2002. A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of soil fertility. *Soil Use Manag* 18:264–273).

3. Efecto de manejo de abonos verdes de leguminosas en la producción de un cultivo forrajero para ensilar en sistemas ganaderos del trópico seco

Resumen

Sistemas ganaderos del trópico seco generalmente usan cultivos forrajeros ensilados para reducir efectos de sequía en la producción de leche. Adicionalmente, el uso de abonos verdes de leguminosas es una alternativa al uso de nitrógeno (N) químico como fuente para fertilización en cultivos forrajeros. Con el fin de utilizar los abonos verdes de leguminosas en una forma más eficiente en fincas ganaderas, se hace necesario seleccionar leguminosas de crecimiento rápido y adaptadas a sequía y evaluar manejos alternativos de rotación con cultivos forrajeros. Para tal fin, en este estudio se evaluaron cuatro leguminosas, *Canavalia brasiliensis*, *C. ensiformis*, *Lablab purpureus*, *Clitoria ternatea* y *Vigna unguiculata*, dos niveles de nitrógeno (0 y 50 kg ha⁻¹), y dos prácticas de manejo, siembra del cultivo al primer o al cuarto mes después de la incorporación del abono, en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Los rendimientos más altos de leguminosa se obtuvieron con *C. brasiliensis* y *L. purpureus* (5.201 y 5.538 kg MS ha⁻¹). El mayor intervalo de tiempo entre la incorporación del abono verde y la siembra del cultivo forrajero, resultó en menores niveles de NO₃ en el suelo (14,5-22,1 vs 22,7-41,9 mg kg⁻¹), debido posiblemente a un proceso de lixiviación. Se concluye que *C. brasiliensis* y *L. purpureus* son una opción para ser usadas como abono verde en sistemas ganaderos en trópico seco y que las prácticas de manejo de abonos verdes evaluados no afectaron el rendimiento del cultivo forrajero, pero sí podrían tener efectos ambientales diferenciales.

Palabras clave: *Canavalia*, incorporación, sincronización, maíz, nitrógeno, nitratos

Management effect of legume green manures in the production of a forage crop for silage in dry tropical livestock systems

Abstract

Dry tropical livestock systems generally use silage forage crops to reduce effects of drought on milk production. Additionally, the use of green manure legumes is an alternative to the use of nitrogen (N) as a chemical source for fertilization on forage crops. In order to use green manure legumes in a more efficient way in cattle farms, it is necessary to select fast-growing legume adapted to drought and assess alternative handling of rotation with forage crops. Four legumes, *Canavalia brasiliensis*, *C. ensiformis*, *Lablab purpureus*, *Vigna unguiculata*, and *Clitoria ternatea*; two nitrogen levels (0 and 50); and two management practices, crop planting to the first or fourth month after incorporation of green manure, in an arrangement of split plots with three replications. The highest yields were obtained with *C. brasiliensis* and *L. purpureus* legumes (5201 and 5538 kg DM ha⁻¹). The greatest time interval between the incorporation of green manure and forage crop planting, resulted in lower levels of NO₃ in soil (14.5 to 22.1 vs 22.7 to 41.9 mg kg⁻¹) due possibly to a leaching process. We conclude that *C. purpureus* and *L. brasiliensis* are an option to be used as green manure in dry tropical livestock systems. The handling practices of green manure evaluated did not affect forage crop performance, but that might have differential environmental effects.

Keywords: *Canavalia*, incorporation, synchronization, corn, nitrogen, nitrates

3.1 Introducción

En las ganaderías doble propósito del trópico se presenta una marcada disminución en la producción de leche durante la época seca. Como estrategia para minimizar los efectos de la sequía en la producción de leche está la de conservar como ensilaje cultivos forrajeros como maíz (Mojica et al. 2013, Tui et al. 2015). La incorporación al suelo de abonos verdes de leguminosas para la producción y luego conservación de cultivos forrajeros no es una práctica generalizada en sistemas ganaderos del trópico. Sin embargo, se postula que su uso podría contribuir a minimizar el uso de fertilizantes nitrogenados y por ende a reducir los costos de producción de cultivos de los ensilajes (Ellis y Freeman 2004; Lemaire et al. 2014).

En Latinoamérica se han evaluado distintas especies de leguminosas como abonos verdes y cultivos de cobertura en diferentes sistemas de producción agrícolas y pecuarios. Se pueden citar, *Mucuna pruriens*, *Dolichos lablab*, *Canavalia ensiformis*, *Centrosema molle*, *Clitoria ternatea*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Desmanthus virgatus*, *Indigofera tinctoria*, *Lablab purpureus*, *Macroptilium atropurpureum*, *Stylosanthes guianensis*, *Teramnus uncinatus* y *Vigna* spp, entre otras, con aportes de N ha⁻¹ que van desde los 60 hasta los 300 kg ha⁻¹ (Cherr et al. 2006; Thurston 1996). En Nicaragua con el uso de *C. brasiliensis*, especie adaptada a la sequía, se han obtenido aportes de N entre 150 - 200 kg ha al incorporar al suelo una biomasa que varió entre 2448 y 5357 kg ha⁻¹ (Douxchamps 2010).

En otros estudios se ha evaluado el efecto en rendimiento de biomasa de tiempos de siembra de cultivos como maíz y sorgo después de la incorporación del abono verde (Mureithi et al. 2003; Salamanca et al. 2006) y arroz (Carvalho et al. 2004; Muraoka et al. 2002). Por ejemplo, en Nicaragua, con el uso de *V. unguiculata*, como abono verde se observó que el N mineralizado, fue mayor en un 24% a las 10 semanas de incorporado el abono en comparación con 7 semanas (Franzluebbers et al. 1994; Martín y Rivera 2001). Otros estudios indican que los rendimientos en cultivos en rotación con abonos verdes son mayores con intervalos cortos de tiempo entre incorporación del abono y siembra del cultivo, sobre todo en condiciones tropicales con altas temperaturas que afectan descomposición de materia orgánica (George et al. 1998). Por lo tanto, se plantea que para

definir manejos alternativos de abonos verdes para la producción de forraje de cultivos para ensilar en fincas ganaderas es necesario seleccionar leguminosas de rápida degradación (i.e libres de taninos) y evaluar diferentes épocas de incorporación del abono verde y de siembra del cultivo posterior.

El objetivo de este estudio fue definir los efectos en la producción de maíz para ensilar de diferentes especies de leguminosa como abonos verdes con dos manejos definidos en términos de intervalo de tiempo entre incorporación al suelo del abono verde y siembra del cultivo forrajero en rotación.

3.2 Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en el Centro de Investigación Motilonia de Corpoica, localizado en la microrregión Valle del Cesar ubicado a 10° 11' Latitud Norte y 73° 15' Longitud Oeste, a una altitud de 160 m.s.n.m., temperatura media anual de 29°C, precipitación promedio anual de 1360 mm y enmarcado en la zona agroecológica Cj, correspondiente a Trópico Seco Colombiano.

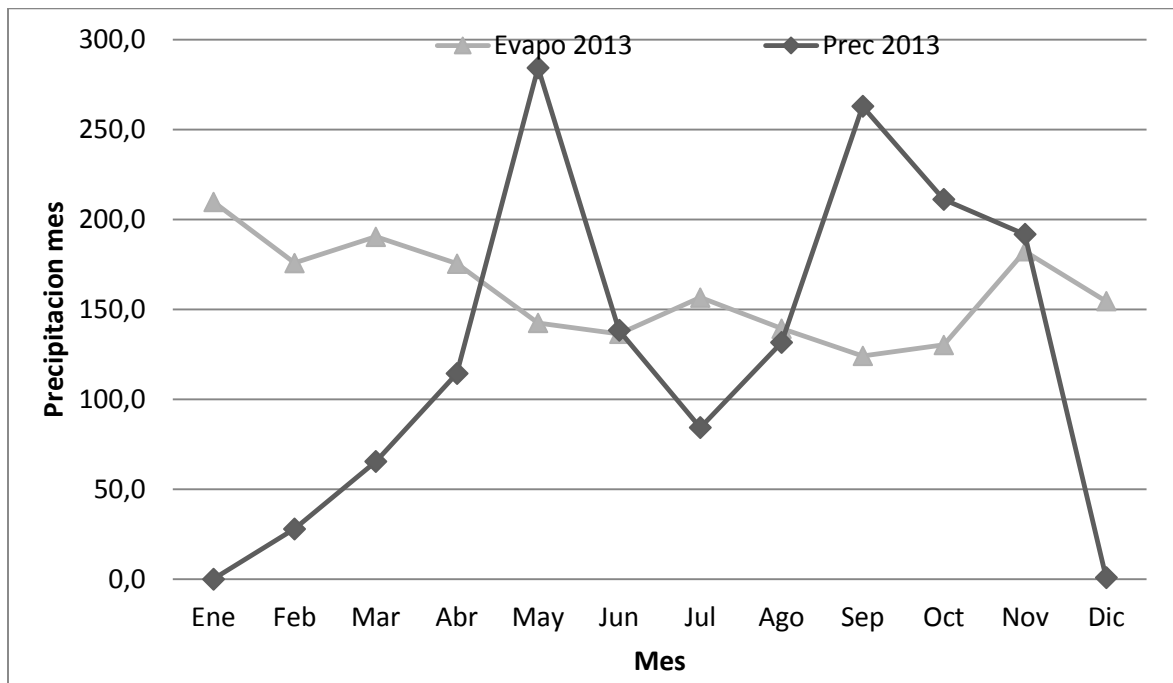
En la zona donde se montó el experimento se presenta un régimen de lluvias bimodal, con una primera época seca corta que normalmente va del mes de julio a septiembre (2 meses) y una época seca larga que va del mes de noviembre- diciembre a marzo (3 a 4 meses). Esto determina que haya dos épocas de lluvia: una entre abril y junio y otra entre octubre y noviembre. Es en la segunda época de lluvias cuando normalmente los productores siembran el maíz forrajero para hacer ensilaje que luego suministran al ganado en la época seca.

En el experimento que se montó, se evaluaron dos (2) tratamientos de manejo (M) de abonos verdes de 4 leguminosas así (Grafico 3-1):

M1: Parcela Principal (época de siembra/incorporación): Abono verde sembrado al inicio de lluvias del primer semestre del año (abril) e incorporación al final de las lluvias (junio) seguido por siembra de maíz al inicio de lluvias (octubre) del segundo semestre y cosecha en (diciembre). Subparcelas (leguminosas): 1. *Canavalia brasiliensis*, 2. *Vigna unguiculata*,

3. *Clitoria ternatea*, 4. *Lablab purpureus* 5. Testigo con aplicación de 50 kg N ha⁻¹ y 6. Testigo sin incorporación de leguminosa.

M2: Parcela Principal (época de siembra/incorporación): Abono verde sembrado al final de las lluvias del primer semestre (junio) del año e incorporación al final de la sequía (septiembre) seguido por siembra de maíz al inicio de lluvias (octubre) del segundo semestre y cosecha (diciembre). Subparcelas (leguminosas): 1. *C. brasiliensis*, 2. *V. unguiculata*, 3. *C. ternatea*, 4. *L. purpureus* 5. Testigo con aplicación de 50 kg N ha⁻¹ y 6. Testigo sin incorporación de leguminosa.



Manejo 1			SL		IL				SM		CM
Manejo 2					SL			IL	SM		CM

Gráfico 3-1: Curva de precipitación y evapotranspiración durante los momentos de manejo de incorporación de leguminosa y siembra de maíz. SL: siembra leguminosa; IL: incorporación leguminosa; SM: siembra maíz; CM: Cosecha maíz.

3.2.1 Parcelas experimentales

En cada época de siembra e incorporación del abono verde al suelo se establecieron 3 Parcelas (Parcela Principal) de 608 m² (32 x 19 m) dentro de las cuales se incluyeron Subparcelas de 20 m² (4 x 5 m) con las leguminosas usadas como abono verde, y los respectivos testigos (sin incorporación de la leguminosa y fertilización nitrogenada). En cada Subparcela se sembraron 6 surcos de 5 m de largo, usando un distanciamiento de 80 cm entre los surcos y 5 - 7 plantas de maíz por metro lineal.

Antes de sembrar el maíz se cortó la biomasa del abono verde de leguminosa y se distribuyó e incorporo en el suelo en forma uniforme en las respectivas parcelas dentro de tratamientos de manejo (M1 y M2). En todas las parcela se sembró la variedad de maíz que comúnmente se cultiva en la región (ICA V 109).

El maíz que se usó como cultivo forrajero indicador recibió una fertilización basal de acuerdo al análisis de suelos para eliminar cualquier limitación nutricional que pudiera enmascarar los efectos de la fertilización con N. Las leguminosas sembradas se fertilizaron con P (20 kg ha⁻¹) a la siembra y el resto de nutrientes (Ca, K, Mg, S) según los resultados de análisis de suelos.

3.2.2 Variables Medidas

En las parcelas se cortó y pesó la biomasa de leguminosas antes de incorporarlas al suelo. Los cortes se realizaron a 10 cm del suelo, utilizando un marco de 1 m² según metodología descrita por Toledo y Shultze-Kraft (1982). En la biomasa de leguminosa se analizo N, P, Ca, Mg, K y S (AOAC- 7.033 - 7.037, 1984; Fick et al. 1976). El equivalente de N de las leguminosas (kg N ha⁻¹) se calculó con base en la biomasa de leguminosa incorporada (kg MS) y el % N en la leguminosa (Martín y Rivera 2001). Calculado por el resultado kg MS * % N en la leguminosa

Para medir la producción de biomasa del cultivo forrajero (maíz), acumulación de N en la biomasa y calidad nutritiva se cosecharon dos surcos centrales de 4 m cada uno con cortes a 15 cm del suelo y, descartando las primeras hileras de plantas para eliminar efecto de borde (Boschini y Elizondo 2004).

En el forraje de maíz se midió el contenido de N Kjeldahl (AOAC- 7.033 - 7.037 1984), la DIVMS (Tilley y Terry 1963) niveles de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) (Van Soest et al. 1991).

3.2.3 Análisis estadístico

Los tratamientos se incluyeron en un diseño en bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas, donde la parcela principal fue el manejo (M) del abono verde (M1 y M2) y la subparcela la especie de leguminosa y los testigos, con 3 repeticiones por tratamiento. Las variables de respuesta (rendimiento y calidad de leguminosas y del maíz y las variables del suelo se sometieron a un análisis de varianza y a pruebas de comparación de medias Tukey (SAS V 9.3). Para separar medias cuando se presentó una interacción significativa de manejo por leguminosa se calculó la DMS ($p < 0,001$) (SAS V 9.3).

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Producción de biomasa y aporte de N en leguminosas

Los resultados mostraron que no hubo efecto ($p > 0,05$) del mes de siembra (abril o junio) en el rendimiento de las leguminosas cosechadas a los 2 y 3 meses después de establecidas. En las dos épocas de siembra y antes de la incorporación se observó la mayor ($p < 0,05$) producción de biomasa con *L. purpureus* y *C. brasiliensis* (Tabla 3-1). En cuanto al contenido de N, se presentó el mayor contenido en *C. brasiliensis* ($p < 0,05$) y el menor en *L. purpureus*, pero sin diferencias entre épocas de siembra ($p > 0,05$).

Estos resultados coinciden con los obtenidos en la zona, en un estudio en el que se evaluaron cinco entradas de leguminosas en términos de producción de biomasa y aporte de N equivalente (Castro et al. 2016). La producción de biomasa para las leguminosas utilizadas en este estudio también se encuentra dentro de los rangos obtenidos, tanto para Centro América (Douxchamps 2010; Douxchamps et al. 2014), como para Colombia (Salamanca et al. 2006).

No se observaron diferencias ($p > 0,05$) en el equivalente de N aportado por la leguminosa entre el M1 (108,2 kg N ha⁻¹) y el M2 (105,4 kg N ha⁻¹). El mayor equivalente de N se

observó con *C. brasiliensis* y *L. purpureus* con el M1 (189,5 y 181,1 kg N ha⁻¹ respectivamente), y el menor con *C. ternatea* con el M2 (99,7 kg N ha⁻¹) (Gráfico 3-2).

Tabla 3-1: Producción de biomasa y contenido de nitrógeno (N) en especies de leguminosas evaluadas como abono verde con dos manejos

Tratamiento	Producción biomasa kg MS ha ⁻¹	% N
Manejos		
M1	3.382 ¹	2,77
M2	3.404	2,82
Promedio	3.393	2,82
Leguminosa		
<i>C. brasiliensis</i>	5.201b	3,51a
<i>C. ternatea</i>	3.031d	3,39ab
<i>L. purpureus</i>	5.538a	3,22b
<i>V. unguiculata</i>	3.888c	3,42ab
No leguminosa	1.379e	1,57c
Promedio	3.807	3,02

¹ Para época y leguminosas las medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según prueba de Tukey. Manejo 1 (M1): abono verde sembrado al inicio de lluvias del primer semestre (abril) e incorporación al final de las lluvias del mismo (junio). Manejo 2 (M2): abono verde sembrado al final de las lluvias del primer semestre (junio) e incorporación al final de la época seca (septiembre).

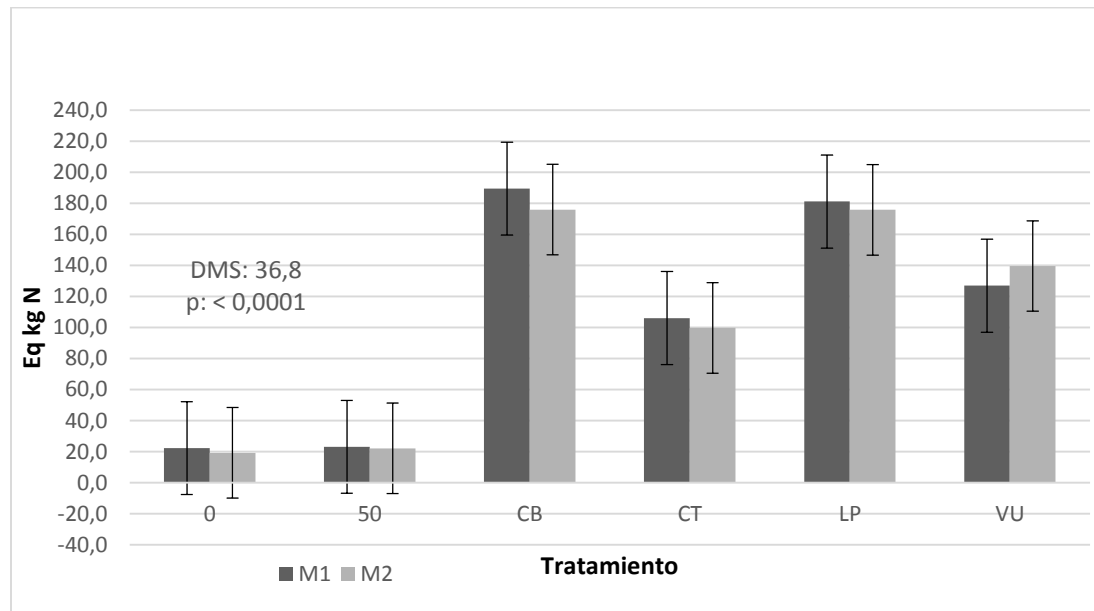


Gráfico 3-2: Equivalentes de N (kg/ha) en las leguminosas incorporadas para cada tipo de manejo

M1: abono verde sembrado al inicio de lluvias del primer semestre (abril) e incorporación al final de las lluvias del mismo (junio). M2: abono verde sembrado al final de las lluvias del primer semestre (junio) e incorporación al final de la época seca (septiembre). ² Calculado por el resultado kg MS leguminosa * % N en la leguminosa. CB: *C. brasiliensis*; CT: *C. ternatea*; LP: *L. purpureus*; VU: *V. unguiculata*

Los valores de N equivalente aportado por *C. brasiliensis* y *L. purpureus* están dentro de los rangos reportados (150 - 200 kg ha⁻¹) para *C. brasiliensis* en zonas secas de Nicaragua (Douxchamps 2010).

3.3.2 Contenido de minerales en las leguminosas

Los resultados mostraron que el Ca y K fueron mayores ($p < 0,05$) en las leguminosas con el M2 (1,37 y 2,60%, respectivamente) que con el M1 (1,24 y 2,22%, respectivamente) (Tabla 3-2); sin embargo, no hubo diferencias ($p > 0,05$) en el contenido de Mg y S asociados con el manejo de siembra/incorporación de las leguminosas. Los mayores ($p < 0,05$) niveles de Ca se observaron en *C. brasiliensis*, *L. purpureus* y *V. unguiculata*.

En el caso de P en promedio hubo una mayor ($p < 0,05$) concentración en leguminosas con el M2 (0,38%) que con el M1 (0,31%) (Gráfico 3-2). Por otra parte, en ambos manejos los menores ($p < 0,05$) valores de P se encontraron en *C. brasiliensis* y los mayores ($p < 0,05$) valores en *L. purpureus* y en *V. unguiculata* en M2 (0,46 y 0,45% respectivamente) (Gráfico 3-3).

Tabla 3-2: Concentración de minerales (%) en la parte aérea en las especies de leguminosas evaluadas como abonos verdes con dos manejos de siembra/incorporación

Tratamiento	Ca	Mg	S	K
Manejo				
M 1	1,24b ¹	0,31	0,59	2,22
M 2	1,37a	0,36	0,61	2,60
Promedio	1,31	0,34	0,60	2,41
Leguminosa				
<i>C. brasiliensis</i>	2,15a	0,19c	0,54b	2,05
<i>C. ternatea</i>	0,71d	0,34b	0,75 ^a	2,08
<i>L. purpureus</i>	1,44b	0,23c	0,56b	2,32
<i>V. unguiculata</i>	1,48b	0,35b	0,57b	2,08
No leguminosa	1,02c	0,46 ^a	0,59b	3,50
Promedio	1,36	0,31	0,60	2,41

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) entre manejos y leguminosas, según prueba de Tukey. M1: abono verde sembrado al inicio de lluvias del primer semestre (abril) e incorporación al final de las lluvias del mismo (junio). M2: abono verde sembrado al final de las lluvias del primer semestre (junio) e incorporación al final de la época seca (septiembre).

La concentración de minerales en las leguminosas evaluadas como abonos verdes están 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%; S: 0,12

a 0,8% 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 et al. 1997).

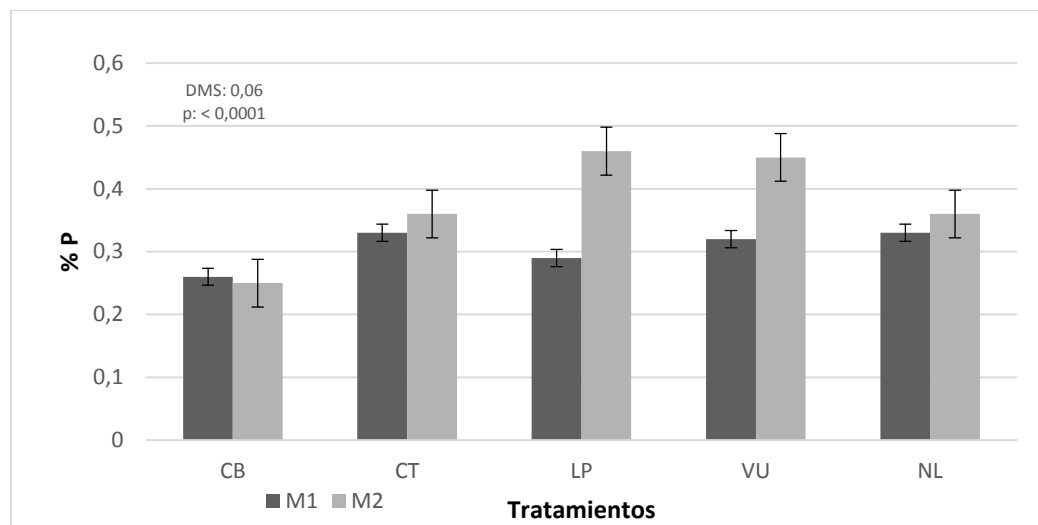


Gráfico 3-3: Contenido de P en leguminosas al momento de la incorporación del abono verde

M1: abono verde sembrado al inicio de lluvias del primer semestre (abril) e incorporación al final de las lluvias del mismo (junio). M2: abono verde sembrado al final de las lluvias del primer semestre (junio) e incorporación al final de la época seca (septiembre). NL: material no leguminosa; CB: *C. brasiliensis*; CT: *C. ternatea*; LP: *L. purpureus*; VU: *V. unguiculata*.

3.3.3 Producción de biomasa del cultivo forrajero de maíz

Los resultados no mostraron diferencias ($p > 0,05$) en la producción de maíz debido a los manejos (M) de siembra/incorporación de abonos verdes (Gráfico 3-4).

La producción de biomasa de maíz con la incorporación de *C. brasiliensis* (equivalente a $189,5 \text{ kg N ha}^{-1}$) con el M1 fue superior ($p < 0,05$) en 48% con respecto al testigo 0N pero solo en 40% con respecto a ese mismo testigo con M1. Con los dos manejos evaluados la producción de biomasa de maíz fue más alta (20 - 30%) con el uso de abonos verdes de leguminosas, que con la dosis de N comúnmente usada en la zona (50 kg ha^{-1}).

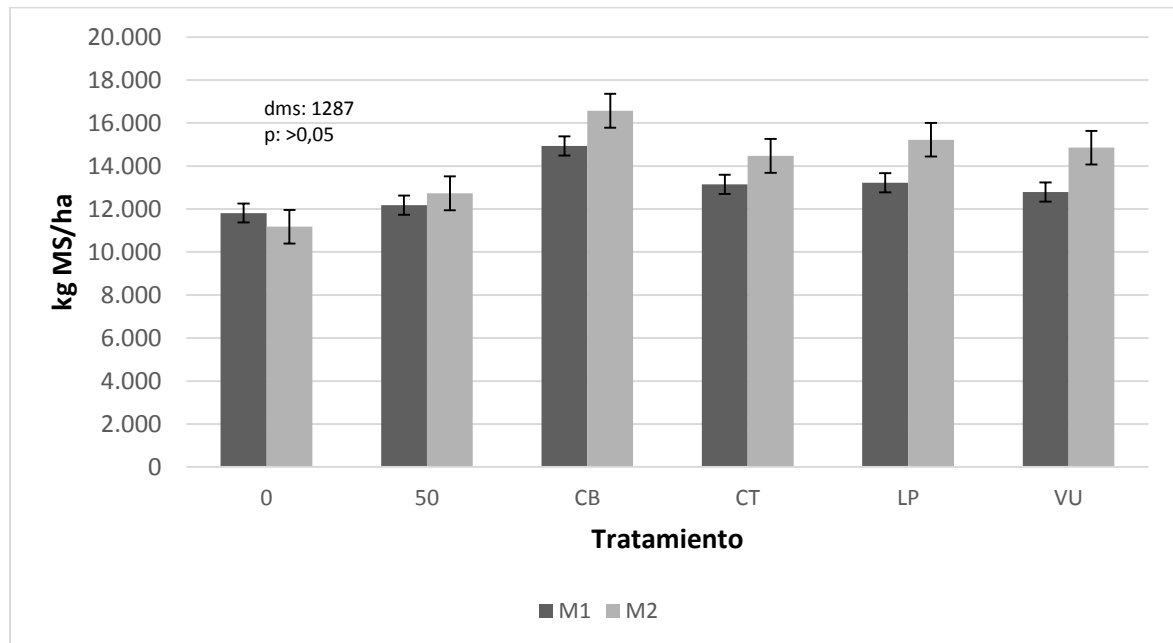


Gráfico 3-4: Producción de biomasa de maíz en rotación con leguminosas usadas como abono verde con diferentes manejos de siembra/ incorporación. M1: abono verde sembrado al inicio de lluvias del primer semestre (abril) e incorporación al final de las lluvias del mismo (junio). M2: abono verde sembrado al final de las lluvias del primer semestre (junio) e incorporación al final de la época seca (septiembre). NL: material no leguminosa; CB: *C. brasiliensis*; CT: *C. ternatea*; LP: *L. purpureus*; VU: *V. unguiculata*.

3.3.4 Calidad nutricional del forraje de maíz en rotación con abonos verdes

En el forraje de maíz cosechado luego de incorporar las leguminosas como abono verde no se observó efecto ($p > 0,05$) en los parámetros evaluados debido a manejos. También en FDN destacándose *V. unguiculata* con el menor contenido (Tabla 3-4).

El contenido de PC en el forraje de maíz fue mayor ($p < 0,05$) en todos los tratamientos en comparación al testigo de 0 kg de N. En otros estudios con maíz en rotación con abonos verdes se han encontrado valores superiores de PC ($> 9,5\%$) a los reportados en este estudio, pero con dosis de N más altas (400 kg ha^{-1}) (Binder et al. 2000; Sinclair y Muchow, 1995; Soto et al. 2004).

En general, los resultados reportados en la literatura indican que con la incorporación de leguminosas como abonos verdes al suelo no se logran aumentos significativos en PC en

el cultivo de maíz en rotación, en este caso maíz (Cox et al. 1993; Scharf et al. 2002; Soto et al. 2002).

Tabla 3-3: Calidad nutricional en forraje de maíz en función de fertilización con N e incorporación al suelo de leguminosas usadas como abono verde

Tratamiento	PC	FDN	FDA %	DIVMS
Manejos				
M 1	8,61	59,02	42,65	59,66
M 2	8,64	60,08	43,12	60,39
Promedio	8,63	59,55	42,89	60,03
Leguminosa				
0 N	7,51c	59,28ab	42,81	59,49
50 N	8,82ab	58,72b	42,95	59,32
<i>C. brasiliensis</i>	9,06a	61,06a	42,69	60,40
<i>C. ternatea</i>	8,47b	60,64a	42,99	61,84
<i>L. purpureus</i>	9,13a	60,47ab	42,78	59,26
<i>V. unguiculata</i>	8,77ab	56,84c	43,08	59,84
Promedio	8,60	59,50	42,88	60,03

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) entre subparcelas, según prueba de Tukey. NS: Sin diferencias entre manejos (parcelas) ($p > 0,05$) letras mayúsculas. M1: abono verde sembrado al inicio de lluvias del primer semestre (abril) e incorporación al final de las lluvias del mismo (junio). M2: abono verde sembrado al final de las lluvias del primer semestre (junio) e incorporación al final de la época seca (septiembre).

Los niveles de fibra (FDN y FDA) en el forraje de maíz usado como cultivo indicador en este estudio (73 días de edad de cosecha) fueron inferiores a los obtenidos en otros estudios. Por ejemplo, la fibra en forraje de maíz con edades de cosecha mayores a 85 días promedio 73,8% de FDN y 48,7% de FDA (Cubero et al. 2010; Elizondo y Boschini 2001).

La DIVMS del forraje de maíz en este estudio vario entre 59,3 a 61,8%, pero sin diferencias ($p > 0,05$) asociadas con los tratamientos evaluados (Tabla 3-4). La digestibilidad observada estuvo dentro de los rangos reportados en otros estudios (Tobia y Villalobos 2004).

3.3.5 Nitrógeno y Carbono en el suelo

El mayor ($p < 0,05$) contenido de NTI en el suelo se observó con *C. ternatea* (0,16%), pero el contenido de N en el suelo al momento de incorporación de las leguminosas (NTI) fue

similar ($p > 0,05$) en los dos manejos. El nivel de NTI en el suelo al momento de la incorporación de leguminosas fue similar ($p > 0,05$) al que se encontró con 50 kg de N.

Al momento de cosechar el maíz, el NT (NTFC) en el suelo disminuyó ($p < 0,05$) como era de esperarse con ambos manejos de siembra del abono verde con respecto al momento en que se realizó la incorporación (Tabla 3-5).

Los niveles de NO_3 en el suelo fueron mayores ($p < 0,05$) con el M2 (27,22 a 41,97%) que con el M1 (14,5 a 22,1%), tanto al momento de la siembra como al final de la cosecha del maíz (Tabla 3-5).

Tabla 3-4: Contenido de nitrógeno total (NT) y nitrato (NO_3) en el suelo con diferentes manejos de siembra/incorporación de leguminosas usadas como abonos verdes

Tratamiento	NTI	NTFC %	NO_3I	NO_3FC mg kg^{-1}
Manejos				
M 1	0,11	0,06	14,57b	22,1b
M 2	0,16	0,10	27,22a	41,97a
Promedio	0,14	0,08	20,90	32,04
Leguminosa				
0 N	0,10c	0,07	17,69c	26,69bc
50 N	0,12bc	0,06	18,92bc	22,68c
<i>C. brasiliensis</i>	0,11c	0,08	19,45bc	39,57a
<i>C. ternatea</i>	0,16a	0,09	22,13b	30,16abc
<i>L. purpureus</i>	0,15ab	0,09	20,52bc	35,52ab
<i>V. unguiculata</i>	0,14abc	0,10	26,67a	37,64a
Promedio	0,13	0,08	20,90	32,04

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) entre subparcelas, según prueba de Tukey. NS: Sin diferencias entre manejos (parcelas) ($p > 0,05$). M1: abono verde sembrado al inicio de lluvias del primer semestre (abril) e incorporación al final de las lluvias del mismo (junio). M2: abono verde sembrado al final de las lluvias del primer semestre (junio) e incorporación al final de la época seca (septiembre).

Fue evidente en este estudio que al transcurrir más tiempo (4 meses) desde la incorporación de las leguminosas a la siembra del maíz hubo menores niveles de NO_3 en el suelo, lo cual podría indicar que hubo pérdida de N como NH_4 (volatilización) y como NO_3 (lixiviación). De ser así, es una demostración de lo importante que es sincronizar el momento de la incorporación del abono verde y la siembra del maíz o cultivo en rotación para un uso más eficiente de N por la planta y para prevenir pérdidas de N en la forma de NO_3 por lixiviación u otras causas (Cobo et al. 2002; Seneviratne 2000). Sin embargo, es

de anotar que en este estudio los rangos de NO_3 en el suelo ($14,0 - 39,5 \text{ mg kg}^{-1}$) fueron inferiores a lo reportado como riesgoso para la contaminación de acuíferos ($> 46 \text{ mg kg}^{-1}$) (Anken et al. 2004).

El contenido de C orgánico fue mayor ($p < 0,05$) en promedio con el M2, tanto al momento de incorporación de las leguminosas (CI), como al momento de cosecha del maíz (CFC) (Gráfico 3-3). Sin embargo, al momento de incorporación de las leguminosas (CI), se observó el mayor ($p < 0,05$) contenido de C en las parcelas de *V. unguiculata* con el M2 (1,0%), en comparación con lo observado con 0N en el M1 (0,40%). Al momento de la cosecha del maíz (CFM), el contenido de C orgánico fue mayor ($p < 0,05$) en el tratamiento con *L. purpureus* con el M2 (1,47%), en comparación a 0N con M2 (0,53%) (Gráfico 3-5).

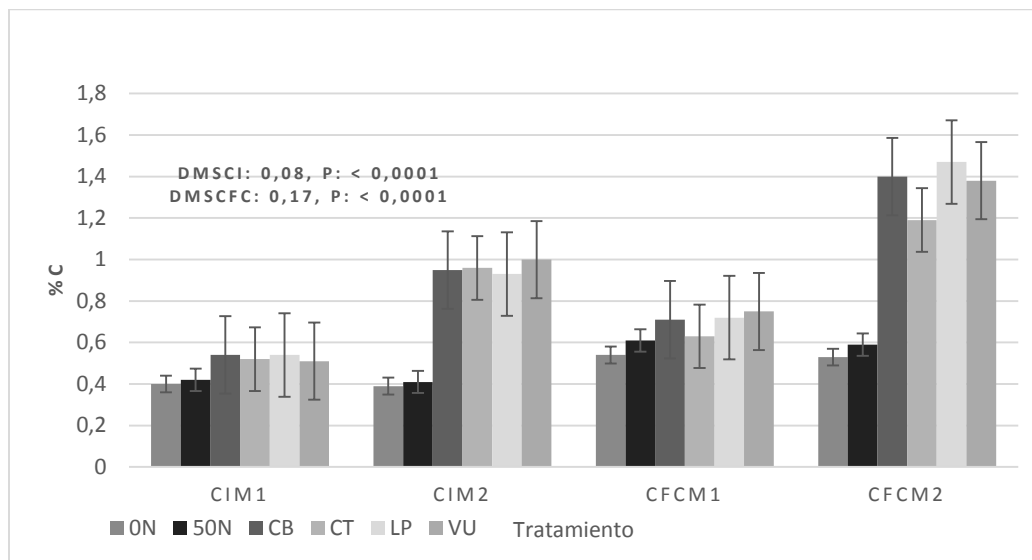


Gráfico 3-5: Contenido de carbono orgánico (C) en el suelo en el momento de incorporación de la leguminosa (CI) y a la cosecha del maíz (CFC)

En comparación de medias letras minúsculas para CFC, mayúsculas para CI. M1: abono verde sembrado al inicio de lluvias del primer semestre (abril) e incorporación al final de las lluvias del mismo (junio). M2: abono verde sembrado al final de las lluvias del primer semestre (junio) e incorporación al final de la época seca (septiembre). NL: material no leguminosa; CB: *C. brasiliensis*; CT: *C. ternatea*; LP: *L. purpureus*; VU: *V. unguiculata*.

Si bien en este estudio se presentó un aumento de C orgánico en suelo asociado tanto a la especie de leguminosa usada como abonos verdes como al manejo de siembra/incorporación del abono, se debe tener en cuenta que para lograr aumentos en el C del suelo, como materia orgánica, pueden pasar años (Seneviratne 2000). Por esta razón, el uso de abonos verdes en rotación con cultivos están más dirigidos a incrementar en el corto plazo la cantidad de N asimilable que para aumentar la cantidad de MO en el suelo (Palm y Sánchez, 1991; Nziguheba et al. 2005; Seneviratne 2000).

3.3.6 Consideraciones sobre manejo de abonos verdes derivadas del estudio

Los resultados de este estudio confirman que las especies de leguminosas *C. ensiformis*, *L. purpureus* y *C. brasiliensis* tienen rápido desarrollo, alta producción de biomasa (> a 4.000 kg MS ha⁻¹) y tolerancia a la sequía (Keller et al. 2006; Maass et al. 2010), lo que les confiere ventaja comparativa para ser usadas como abonos verdes en sistemas ganaderos del trópico seco con régimen de lluvia unimodal o bimodal.

Los resultados también mostraron que estas especies de leguminosa se pueden sembrar al inicio o mitad de un periodo lluvioso donde existe adecuada humedad en el suelo para su desarrollo. Sin embargo, preferiblemente deberían ser incorporadas al suelo unos 30 o 40 días antes de sembrar el maíz (hacia finales de la época lluviosa) con la finalidad de mejorar eficiencia de uso de N por el maíz y minimizar pérdidas de N como NH₄ (volatilización) y NO₃ (lixiviación).

La otra alternativa de manejo de abonos verdes de leguminosas de rápido crecimiento y tolerantes a la sequía en sistemas ganaderos en el trópico seco es sembrarlas hacia finales de la época de lluvias y cosechar parte para hacer heno y suplementar vacas en época seca. El remanente que queda en el campo cumple la función de conservar humedad del suelo y transferir N que es luego aprovechado por un pasto de corte sembrado en rotación con el abono verde para ser suministrado a vacas lechera en un sistema de corte y acarreo durante el periodo de lluvias. Esta estrategia de utilización de abonos verdes en sistemas ganaderos es discutida por Castro et al. (2015) (en imprenta).

3.4 Conclusiones

- El rendimiento de leguminosas no vario en función del manejo de siembra/incorporación al suelo del abono verde de leguminosa
- El rendimiento follaje de maíz fue mayor con el manejo de siembra abono verde al final de lluvias e incorporación al final de época seca
- Con el uso de abonos verdes de leguminosas anuales de rápido establecimiento, alta producción de biomasa y tolerancia a sequía (por ejemplo *C. brasiliensis*) se lograron

rendimientos de maíz forrajero para ensilar más altos (36%) que cuando se fertilizo con 50 kg de N por ha⁻¹, que es el nivel de referencia en la siembra maíz para ensilar.

- Los rendimientos de maíz forrajero no variaron en forma significativa en función del manejo de siembra/incorporación al suelo del abono verde de leguminosa.
- Niveles de NO₃ en el suelo (antes de siembra de maíz) fueron menores cuando el abono verde estuvo 4 meses incorporado en el suelo y mayores cuando el abono verde estuvo 1 mes incorporado en el suelo

- Bibliografía

1. A.O.A.C. 1984. Official Methods of analysis of the Association of Analytical Chemists, (14 th ed)
2. Anken T, Atamp 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.
3. Binder DL, Sander DH, Walters DT. 2000. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. *Agron. J.* 92:1228-1236.
4. Boschini C, Elizondo J. 2004. Rendimiento de forraje de dos materiales genéticos de maíz sembrados a diferentes distancias de siembra. *Revista Agricultura Tropical* 34: 87-92.
5. Carvalho MD, Soratto RP, Athayde MLF, Arf O, Sá MD. 2004. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema plantio direto e convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.47-53, 2004.
6. Castro RE, Sierra AAM, Mojica RJE, Carulla FJE, Lascano ACE. 2015. Aporte equivalente de nitrógeno de leguminosas empleadas como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros en sistemas de ganadería doble propósito en el Caribe seco. *Revista Corpoica*. En prensa.
7. Cobo JG, Barrios E, Kass DCL, Thomas RJ. 2002. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical volcanic-ash soil. *Plant Soil* 240: 331-342.
8. Cox WJ, Kalonge S, Cherney DJR, Reid WS. 1993. Growth, yield and quality of forage maize under different nitrogen management practices. *Agron. J.* 85:341-347.
9. Cubero JF, Rojas A, WingChing-Jones R. 2010. Uso del inóculo microbial elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo. *Agronomía Costarricense*, 34(2).
10. Cherr CM, Scholberg JMS, McSorley R. 2006. Green Manure Approaches to Crop Production: A Synthesis. *Agron. J.* 98:302–319 (2006).

11. Douxchamps S. 2010. Integration of *Canavalia brasiliensis* into the crop-livestock system of the Nicaraguan hillsides: environmental adaptation and nitrogen dynamics. Dissertation submitted to degree of Doctor of Sciences. ETH Zurich. Group of Plant Nutrition, Institute of Plant Sciences, ETH Zurich. 126 p.
12. Douxchamps S, Rao IM, Peters M, Van der Hoek R, Schmidt A, Martens S, Oberson A. 2014. Farm-scale tradeoffs between legume use as forage versus green manure: The case of *Canavalia brasiliensis*. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(1), 25-45.
13. Elizondo J, Boschini C. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 12(2), 181-188
14. Ellis F, Freeman HA. 2004. Rurallivelihoods and poverty reduction strategies in four African counties. *J. Dev. Stud.* 40 (4), 1–3
15. Fick KR, Miller SM, Funk JD, McDowell LR, Houser RH. 1976. Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. Gainesville, University of Florida, Latin American Research Program. 90 p.
16. Franzluebbbers K, Weaver RW, Juo ASR, Franzluebbbers AJ. 1994. Carbon and nitrogen mineralization from cowpea plants part decomposing in moist and in repeatedly dried and wetted soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 26(10), 1379-1387.
17. George T, Buresh RJ, Ladha JK, Punzalan G. 1998. Recycling in situ of legume-fixed and soil nitrogen in tropical lowland rice. *Agronomy Journal*, 90(3), 429-437.
18. Jara FA, Bunch R, Valdivia AR, Pitty A, Andrews KL, Rodríguez V, CATIE Turrialba (Costa Rica). 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)*. *Ene-Jun*, 38(1), 95.
19. Keller GD, Mndiga H, Maass BL. 2006. Diversity and genetic erosion of traditional vegetables in Tanzania from the farmer's point of view. *Plant Genet Resour* 3:400–413.
20. Lemaire G, Franzluebbbers A, de Faccio Carvalho PC, Dedieu B. 2014. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 4-8.
21. Martín GM, Rivera R. 2001. Mineralización del nitrógeno incorporado con los abonos verdes y su participación en la nutrición de cultivos de importancia económica. *Cultivos tropicales*. 2001. Vol 22. No 3. P 89-96.
22. Maass BL, Knox MR, Venkatesha SC, Tefera TA, Ramme S, Pengelly BC. 2010. *Lablab purpureus*—A Crop Lost for Africa. *Tropical Plant Biol.* (2010) 3:123–135.
23. Mojica RJE, Castro RE, Hortua CH, Silva ZJE, García L. 2013. Producción y calidad composicional de la leche en función de la alimentación en ganaderías doble propósito

del departamento del Cesar. 2013. Boletín de investigación. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Valledupar, Cesar. Colombia 96 p.

24. Muraoka T, Ambrosano EJ, Zapata F, Bortoletto N, Martins ALM, Trivelin PCO, Boaretto AE, Scivittaro WB. 2002. Eficiencia de abonos verdes (*Crotalaria* y *Mucuna*) y urea, aplicados solos o juntamente como fuentes de N para el cultivo de arroz. *TERRA Latinoamericana*, ene-mar, vol 20, No 001.
25. Mureithi JG, Gachene CKK, Ojiem J. 2003. The role of green manure legumes in smallholder farming systems in Kenya: the legume research network project. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 1:57–70.
26. 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.
27. Palm CA, Sanchez PA. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23:83-88.
28. Pauth MNJ, Olivas LLH, Palma MAM. 1997. Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de leguminosas nativas con potencial forrajero en Jalapa y Estelí, Nicaragua. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia (Brasil)*.
29. Salamanca AWF, Bonilla CCR, Sanchez MS. 2006. Evaluación de seis abonos verdes en un vertisol ústico en condiciones del Valle del Cauca. *Acta Agronomica*. Vol 53 No 3. 2006.
30. Scharf PC, Wiebold WJ, Lory JA. 2002. Corn yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. *Agron. J.* 94:435-441.
31. Seneviratne G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. April 2000, Volume 31, pp 60-64.
32. Sinclair TR, Muchow RC. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield. I. Modeling physiological responses. *Agron. J.* 87:632-641.
33. Soto P, Jahn E, Arredondo S. 2002. Población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el valle central regado. *Agric. Téc. (Chile)* 62:255-265.
34. Soto O, Jahn B, Arredondo S. 2004. Mejoramiento del porcentaje de proteína en maíz para ensilaje con el aumento y parcialización de la fertilización nitrogenada. *Agricultura Técnica*, 64(2), 156-162.
35. Tobia C, Villalobos E. 2004. Producción y valor nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. *Agronomía Costarricense* 28(1):17-25

36. Toledo JSK, Shultze-Kraft YR. 1982. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. Manual para la evaluación agronómica; Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. CIAT. Cali, Colombia, 91-110.
37. Tilley JM, Terry RA. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestión of forage crops. J. British Grass. Soc. 28: 104-111.
38. Tui SHK, Valbuena D, Masikati P, Descheemaeker K, Nyamangara J, Claessens L, Nkomboni D. 2015. Economic trade-offs of biomass use in crop-livestock systems: Exploring more sustainable options in semi-arid Zimbabwe. *Agricultural Systems*, 134, 48-60.
39. Thurston HD. 1996. Sustainable Practices for Plant Disease Management in Traditional Farming Systems, Westview Press Inc, USA, 1996.
40. Van Soest PJ, Robertson, Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral fiber and no starch polysaccharides in relation to nutrition. J. Dairy Sci. 1991. 74: 3583-3597.
41. Vivas MEF, Rosado RJG, Castellanos RAF, Heredia AM, Cabrera-TEJ. 2011. Contenido mineral de forrajes en predios de ovinocultores del estado de Yucatán. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(4), 465

4. Efecto de remoción de biomasa de leguminosa utilizada como abono verde en la producción de forraje de maíz y de leche de vacas suplementadas en época seca con heno de leguminosa removida del abono verde

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 (15 - 20%); 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⁻¹. La calidad composicional de la leche no varió debido a los tratamientos de suplementación de heno de *C. brasiliensis*.

Palabras clave: abono verde, producción leche, nitrógeno, maíz, heno

Effect of biomass removal legume used as green manure in the production of fodder corn and milk from cows supplemented with hay during the dry season legume green manure removed

Abstract

The dry tropical livestock systems presents a dramatic decrease in milk production during the dry season, which 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. 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 ($MS\ 11.283\ kg\ ha^{-1}$) compared to non-removal treatment ($12.601\ kg\ MS\ ha^{-1}$) ($p > 0,05$). At the time of corn harvest, 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 by 17% its production of milk with supplementation of $1,5\% LW/day^{-1}$. The compositional quality of milk did not change due to the treatment of hay supplementation of *C. brasiliensis*.

Keywords: green manure, milk production, nitrogen, corn, hay

4.1 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, resultando 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 N. Sin embargo, la adopción de leguminosas como abonos verdes en sistemas ganaderos ha sido baja (Elbasha et al. 1999; Pengelly et al. 2003; Peters y Lascano 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 con beneficios que no 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 en el uso de leguminosas 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 a 300 g más de ganancia de peso (Holmann y Lascano 2004; Ulrich et al. 1994; Vera et al. 1996).

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. La Canavalia + residuos de cosecha del maíz pastoreada durante la época seca resultó en aumentos (10 - 15%) de leche 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 (CIAT 2008).

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 gano y que pierdo) al usar parte de la leguminosa para incorporar al suelo y la otra para la alimentación animal.

El objetivo de este estudio fue el de cuantificar como el uso de leguminosas forrajeras como abonos verdes en sistemas lecheros tropicales contribuyen 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.

En lo que sigue, se describen los dos experimentos realizados para alcanzar los objetivos del estudio.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Experimento 1: Remoción de diferentes niveles de leguminosa usada como abono verde

Para medir el efecto en el rendimiento de un cultivo forrajero (maíz) de remover diferentes cantidades de leguminosa empleada como abono verde para hacer heno se establecieron parcelas (5 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 muy resistente a la sequía, de alta producción de biomasa y buena calidad nutricional (CIAT-ETH 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 en ese momento se incorporó al suelo el abono verde de leguminosa remanente en cada tratamiento. Luego 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). Para aplicar los tratamientos, se determinó el área total de la parcela y la remoción se realizó de acuerdo a esta, dejando en la parcela los % indicados como abono verde.

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

4.2.2 Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con 3 repeticiones por tratamiento. La comparación de medias se realizó con la prueba Tukey (SAS v 9.3).

4.3 Resultados y Discusión

4.3.1 Producción de la leguminosa y el cultivo forrajero indicador (maíz)

La biomasa de leguminosa incorporada al suelo varió entre 1051 y 3742 kg MS ha⁻¹ en los tratamientos de 75 y 0% de remoción de leguminosa, respectivamente (Tabla 4-1). 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 (12601 kg Ms ha⁻¹) en comparación con el forraje cosechado (8584 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 (11283 kg MS ha⁻¹) en comparación con el testigo donde no se removió leguminosa (12601 kg Ms ha⁻¹).

Tabla 4-1: 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 ¹
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		10610

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey.

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 (Gráfico 4-1).

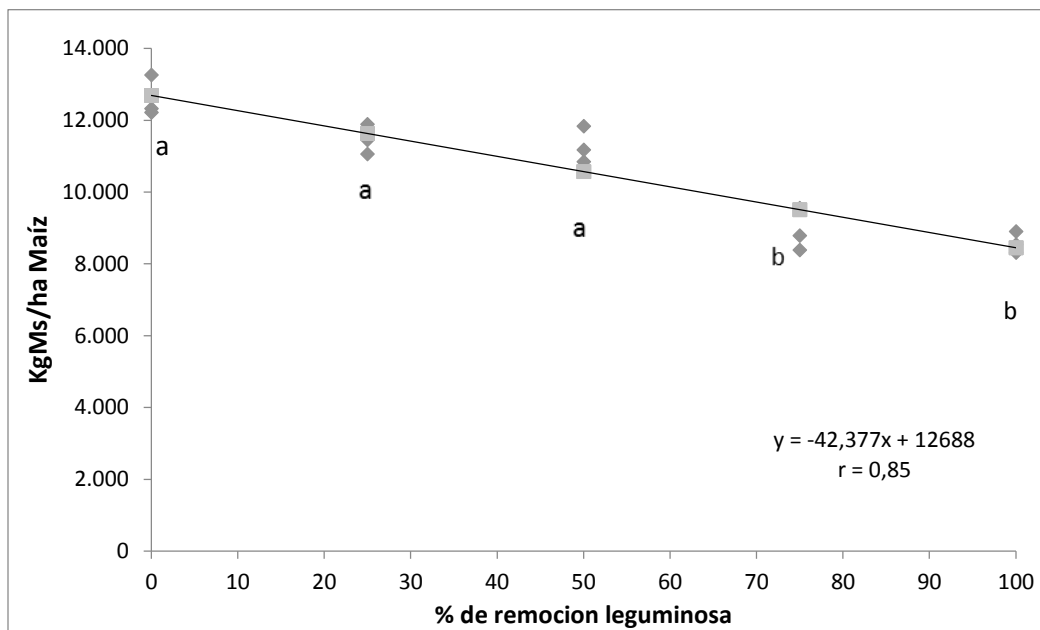


Gráfico 4-1: Relación entre la remoción de biomasa de leguminosa (%) y el rendimiento de biomasa del cultivo indicador (maíz) (kg Ms ha⁻¹)

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 (Gráfico 4-1). 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 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 estudio 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.

4.3.2 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 4-2). Sin embargo, el contenido de FDN del forraje de maíz presento diferencias, ($p < 0,05$) con niveles de remoción, aun cuando no grandes numéricamente. El nivel de FDA en el forraje de maíz también vario 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 presento diferencias ($p < 0,05$) debido a tratamientos pero las diferencias entre tratamiento (rango 61 a 68%) no fueron altas (Tabla 4-2).

En general, los parámetros de calidad en el forraje de maíz variaron debido a nivel de incorporación de abono verde de leguminosa, pero las diferencias no fueron grandes 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).

Tabla 4-2: Calidad nutricional del cultivo forrajero indicador (maíz)

Tratamiento	PC	FDN (%)	FDA	DIVMS
Remoción 0%	7,4 ¹	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

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey.

4.3.3 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 4-3).

Tabla 4-3: 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

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey.

Sin embargo, si 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 et al. 1997).

4.3.4 Nitrógeno en el suelo

Los niveles de NT y NO₃ en suelo en las parcelas al momento de remoción e incorporación de la leguminosa no presentaron diferencias ($p > 0,05$) entre los tratamientos, pero si entre momentos de medición (Gráficos 4-3 y 4-4).

Al momento de la cosecha del maíz (NTC) no se presentaron diferencias ($p > 0,05$) en el contenido de NT (Gráfico 4-3) 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.

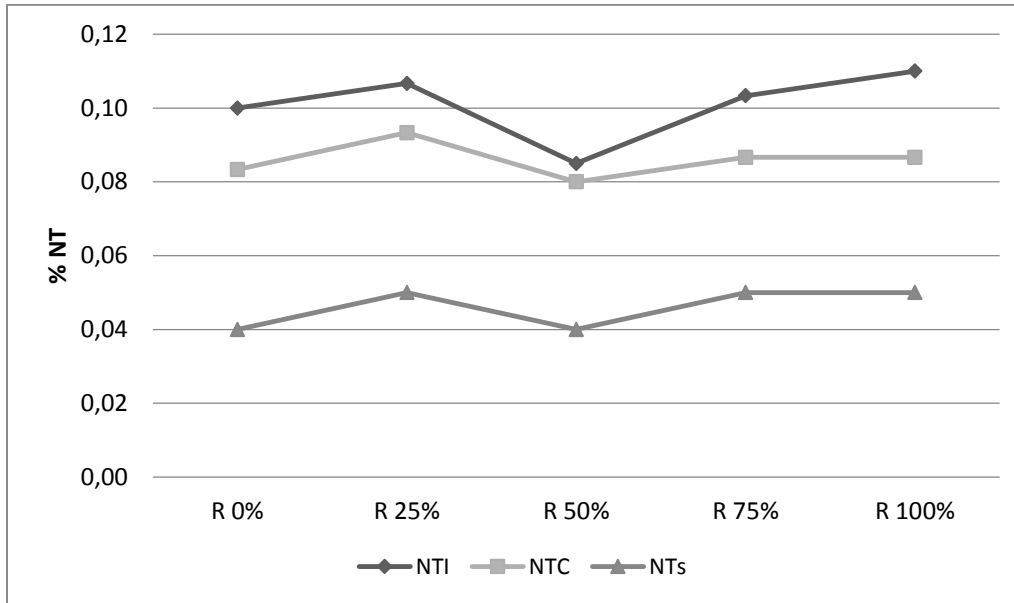


Gráfico 4-2: Contenido de nitrógeno total (NT) en el suelo en el momento de siembra (NTs) e incorporación de la leguminosa (NTI) y al momento de cosecha del maíz (NTC).

R: niveles de remoción 0, 25, 50, 75 y 100%.

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 (Gráfico 4-4). Por otra parte, en las parcelas donde se removi6 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 incorpor6 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.

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 incorpor6 abono verde de leguminosa.

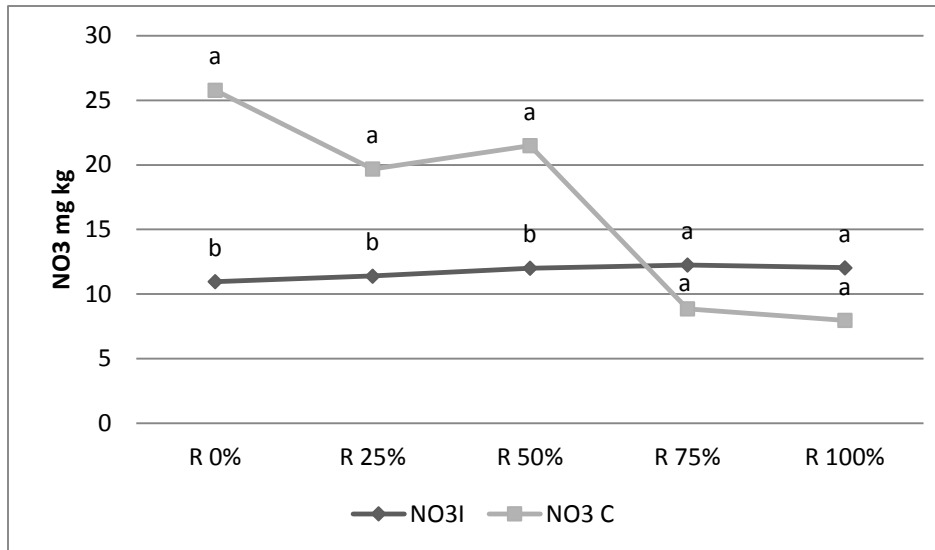


Gráfico 4-3: Nivel de nitratos (NO_3) en el suelo en el momento de incorporación de la leguminosa (NO_3I) y al momento de cosecha del maíz (NO_3C)

R: niveles de remoción 0, 25, 50, 75 y 100%. (Las letras a y b corresponden a comparación entre tiempo de incorporación y tiempo de cosecha)

4.3.5 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 (Gráfico 4-5). 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).

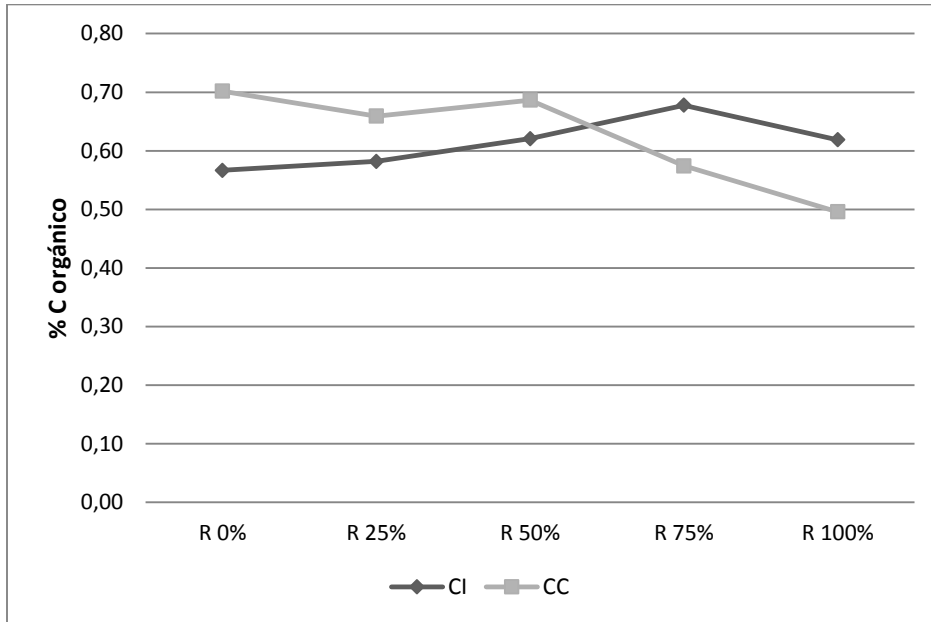


Gráfico 4-4: Contenido de carbono (% C) en el suelo en el momento de incorporación de la leguminosa (CI) y al momento de cosecha del maíz (CC)

R: niveles de remoción 0, 25, 50, 75 y 100%.

4.4 Experimento 2: Suplementación de heno de leguminosa a vacas lecheras

Para el desarrollo de este experimento se estableció un lote (1,0 ha) de *C. brasilienses* 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 (4) 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 2 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 pastaron 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.

4.4.1 Mediciones

Se midió la producción de leche diaria total por animal (vendible y consumida por el ternero). La leche consumida por el ternero 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- 325.23 1998), proteína cruda (AOAC- 7.033 - 7.037 1984), y grasa (AOAC- 905.02 1998). También se midió la calidad nutricional del heno de leguminosa en términos de humedad, proteína cruda (AOAC- 7.033 - 7.037 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).

4.4.2 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 4 periodos de 14 días por periodo (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).

4.5 Resultados y discusión

4.5.1 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 4-4. 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 2000 kg MS ha⁻¹, lo cual fue consecuencia de un proceso de recuperación y posterior periodo de descanso de 3 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 4-4: Oferta de forraje y composición botánica en pasturas de Colosuana en los tratamientos de niveles de suplementación de heno de *C. brasiliensis*

Variable	Rango
Oferta de forraje (kg MS ha ⁻¹)	2159-2385
Colosuana (%)	83,2-90,1
Otras gramíneas (%)	5,8-7,6
Arvenses (%)	1,7-9,8
Leguminosas nativas (%)	1,4-1,4

4.5.2 Producción y calidad composicional de la leche

La producción de leche vendible fue mayor en los tres (3) tratamientos de suplementación de heno de *C. brasiliensis* con relación al tratamiento testigo (Tabla 4-5). 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 día⁻¹ más de leche que sin suplementación.

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. brasilianum*, *Desmodium ovalifolium*, *Calliandra calothyrsus*, *V. unguiculata* y *Stylosanthes guianensis* como suplementos a vacas lecheras y se encontraron incrementos de leche de 1,0 a 1,5 l día⁻¹ (Bernal et al. 2008; Holmann y Lascano 2004; Ulrich et al. 1994; Vera et al. 1996).

Tabla 4-5: Producción y calidad composicional de la leche en vacas suplementadas con diferentes niveles de inclusión de heno de *C. brasilienses* en época seca

	Testigo	0,5% *	1,0%*	1,5%*
Producción leche				
Vendible (kg/vaca/día)	4,33b	4,90ab	4,91ab	5,26 ^a
Consumida 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

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma fila no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey.

La calidad composicional de la leche no varió ($p > 0,05$) debido a los tratamiento de suplementación de heno de *C. brasiliensis* y los resultados (Tabla 4-5) 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 (Guerrero et al. 2002; Valerio et al. 2006; Villanueva et al. 2004).

4.6 Conclusiones

Los resultados de este estudio permiten dilucidar 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 afecto 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 incremento en 17% la producción de leche vendible en vacas doble propósito bajo pastoreo en pasto Colosuana.

En general, el estudio 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 de abonos por ganaderos, repercutiendo en mayor rentabilidad y competitividad de los sistemas doble propósito.

4.7 Bibliografía

1. A.O.A.C. 1984. Official Methods of analysis of the Association of Analytical Chemists, (14 th ed).
2. A.O.A.C. 1998. Journal Official methods of analysis of the association of official agricultural chemists.
3. 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. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p.241-248, 2002.
4. Amador AL, Boschini C. 2000. Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana*, 11(1), 171-177.
5. Anken T, Atamp 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.
6. Barrios E, Kwesiga F, Buresh R, Jand Sprent JI. 1997. Lightfraction soil organic matter and vailable nitrogen following trees and maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 826–831.
7. Barrios E, Buresh RJ, Sprent JI. 1996. Nitrogen mineralization in density fractions of soil organic matter from maize and legume cropping systems. *Soil Biolog and Biochemistry* 28:1459-1465.
8. Bernal L, Ávila P, Ramírez G, Lascano C. 2008. Efecto de la suplementación con heno de Calliandra calothyrsus y Vigna unguiculata sobre la producción de leche por vacas Holstein x Cebú en Colombia. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Vol. 16, Núm. 3:109-114. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal (Arch. Latinoam. Prod. Anim.) www.alpa.org.ve/ojs.index/php.
9. Carvalho MD, Soratto RP, Athayde MLF, Arf O, Sá MD. 2004. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema plantio direto e convencional. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.47-53, 2004.
10. Cobo JG, Barrios E, Kass DCL, Thomas RJ. 2002. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical volcanic-ash soil. *Plant Soil* 240: 331-342.

11. Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT. Informe Anual 2008. ISSN 2145-1311.
12. Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT. Swiss Federal Institute of Technology Zurich. ETH. 2011. *Canavalia brasiliensis* Mart. ex Benth CIAT 17009. Forraje que restituye la salud del suelo y mejora la nutrición del ganado. Managua, Nicaragua.
13. Elbasha E, Thornton PK, Tarawali G. 1999. An ex post economic impact assessment of planted forages in West Africa. ILRI Impact Assessment Series 2, ILRI, Nairobi, Kenya. 68pp.
14. Elizondo J, Boschini C. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 12(2), 181-188.
15. Fischler M, Wortmann CS. 1999. Green manures for maize-bean systems in eastern Uganda: Agronomic performance and farmers' perceptions. *Agroforestry Systems* 47: 123-138, 1999.
16. Guerrero B, Ávalos J, Cárdenas J, Ceja J. 2002. Utilización del heno de clitoria (*Clitoria ternatea* L.) en la alimentación de vacas Suizo pardo en lactación. *Tec. Pec. Méx*, 42(3), 477-487.
17. Heinrichs R, Vitti CG, Moreira A, Monteiro de Figueiredo PA, Fancelli AI, 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* vol.29 no.1 Viçosa Jan./Feb. 2005
18. Holmann F, Lascano C. (eds). 2004. Feeding systems with forage legumes to intensify dairy production in Latin America and the Caribbean: A project executed by the Tropileche Consortium. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Tropileche Consortium, Cali, Colombia; SLP (System-wide Livestock Programme), Addis Ababa, Ethiopia; and ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya. 172 pp.
19. Jara FA, Bunch R, Valdivia AR, Pitty A, Andrews KL, Rodríguez V, CATIE Turrialba (Costa Rica). 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)*. Ene-Jun, 38(1), 95.
20. Jiménez P, Cortés H, Ortiz S. 2005. Rendimiento forrajero y calidad del ensilaje de canavalia en monocultivo y asociada con maíz. *Acta Agronómica* 54(2). Universidad Nacional de Colombia ISSN: 0120-2812 Colombia.
21. Juma HK, Abdulrazak SA, Miunga RW, Ambula, MK. 2006. Effects of supplementing maize stover with *Clitoria*, *Gliricida* y *Mucuna* on performance of lactating Jersey Cows in Coastal Lowland Kenya. *Tropical and subtropical Agroecosystems* 2006 (6) 1-7. Universidad Autónoma de Yucatán. Versión en línea: 1870-0462.

22. Krom MD. 1980. Spectrophotometric determination of ammonia - a study of a modified Berthelot reaction using salicylate and dichloroisocyanurate. *Analyst* 105:305-316.
23. Mojica RJE, Castro RE, Hortua CH, Silva ZJE, García L. 2013. Producción y calidad composicional de la leche en función de la alimentación en ganaderías doble propósito del departamento del Cesar. 2013. Boletín de investigación. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Valledupar, Cesar. Colombia 96 p.
24. Nelson DW, Sommers LE. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
25. 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.
26. Pauth MNJ, Olivas LLH, Palma MAM. 1997. Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de leguminosas nativas con potencial forrajero en Jalapa y Estelí, Nicaragua. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia (Brasil)*.
27. 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. *Tropical Grasslands*, 37, 207–216.
28. Peters M, Lascano CE. 2003. Linking on-station research with participatory approaches: Forage development as the pathway to forage technology adoption. *Tropical Grasslands* 37: 197-203.
29. 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 and Soil* 231: 211-223.
30. 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 Alvarson). *Revista CORPOICA. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*.
31. Russelle MP, Entz MH, Franzluebbers AJ. 2007. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. *Agron. J.* 99: 325-334.
32. Sakala WD, Cadisch G, Giller KE. 2000. Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. *Soil biology and biochemistry*, 32(5), 679-688.
33. Sandoval B. 2007. Características agronómicas y nutricionales de asociaciones de gramíneas y leguminosas tropicales. Tesis de maestría. Puerto Rico. 102 p.
34. Seneviratne G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. April 2000, Volume 31, pp 60-64
35. Tilley JM, Terry RA. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. British Grass. Soc.* 28: 104-111.

36. Thomas D, Sumberg J. 1995. A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems and the Environment*, 54, 151–163.
37. Ulrich C, Vera RR, Weniger JH. 1994. Producción de leche con vacas de doble propósito en pasturas solas y asociadas con leguminosas. *Pasturas Tropicales (CIAT)*. 1994. 16(3):27-30.
38. 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. 2006.
39. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral fiber and no starch polysaccharides in relation to nutrition. *J. Dairy Sci.* 1991. 74: 3583-3597.
40. Vera RR, García O, Botero BR, Ullrich Ch. 1996. Producción de leche y reproducción en sistemas de doble propósito: algunas implicaciones para el enfoque experimental. *Pasturas Tropicales (CIAT)*. Dic., 1996. v. 18(3) p. 25-32.
41. Villanueva AJF, Bonilla CJA, Rubio CJV, Bustamante GJJ. 2004. Agrotecnia y utilización de *Clitoria ternatea* en sistemas de producción de carne y leche. *Tec. Pecu. Mex.* 2004;42(1):79-96.
42. Vivas May EF, Rosado Rubio JG, Castellanos Ruelas AF, Heredia y Aguilar M, Cabrera-Torres EJ. 2011. Contenido mineral de forrajes en predios de ovinocultores del estado de Yucatán. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(4), 465-475.
43. Wilkins RJ. 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363: 517-525. doi:10.1098/rstb.2007.2167.

5. Recomendaciones con el sistema experto NuMaSS para fertilización nitrogenada en maíz a partir de abonos verdes de leguminosas

Resumen

El uso de cultivos forrajeros y de leguminosas forrajeras, usados como abonos verdes puede reducir el impacto negativo de periodos secos en el trópico seco, caracterizados por disminución de la producción agrícola y pecuaria. Adicionalmente, el sistema experto NuMaSS se puede usar para generar recomendaciones de fertilización de los cultivos. Esta investigación tuvo como objetivo generar recomendaciones específicas de fertilización nitrogenada, en función de expectativas de producción usando el NuMaSS. Se establecieron tres experimentos de campo con siete niveles de nitrógeno (N) (0, 25, 50, 75, 100, 150 y 200 kg ha⁻¹) y con la incorporación de *Canavalia brasiliensis*, *Vigna unguiculata*, *Clitoria ternatea*, *Canavalia ensiformis* y *Lablab purpureus* como abono verde para determinar el aporte de N en un cultivo indicador (maíz). El mayor aporte de N se logró con *L. purpureus* (171 kg ha⁻¹) y el menor con *V. unguiculata* (35 kg ha⁻¹). La mayor producción de maíz se obtuvo al incorporar *C. ensiformis* y *L. purpureus* junto con 150 o 200 kgN ha⁻¹. La eficiencia de uso de N por el maíz fue del 24-83%, la cual se redujo al aumentar la dosis de N. Las recomendaciones generadas con NuMaSS indican que las leguminosas aportan N suficiente para el maíz (36-79 kgN ha⁻¹) y que la fertilización con N mineral puede incrementar costos. Se concluye que el uso de leguminosas como abono verde genera aportes importantes de nitrógeno al cultivo. Así mismo, el uso de NuMaSS puede generar recomendaciones de fertilización nitrogenada adecuadas.

Palabras clave: fertilidad suelo, maíz, carbono, eficiencia nitrógeno

Recommendations from expert system NuMaSS for nitrogen fertilization in corn from leguminous green manures

Abstract

The use of forage crops and forage legumes used as green manure can reduce the impact of dry periods in the dry tropics, characterized by decreased agricultural and livestock production. Additionally, the NuMaSS expert system can be used to generate recommendations for fertilization of crops. This research aimed to generate specific recommendations for nitrogen fertilization, depending on production expectations using the NuMaSS. Three field experiments with seven levels of nitrogen (N) (0, 25, 50, 75, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹) and with the addition of *Canavalia brasiliensis*, *Vigna unguiculata*, *Clitoria ternatea*, *Canavalia ensiformis* y *Lablab purpureus* as green manure, to determine the contribution of N in an indicator crop (maize). The greatest contribution of N was achieved with *L. purpureus* (171 kg ha⁻¹) and the lowest with *V. unguiculata* (35 kg ha⁻¹). Increased production of corn was obtained by incorporating *C. ensiformis* and *L. purpureus* with 150 or 200 kg N ha⁻¹. The N use efficiency by corn was 24-83%, which decreased with increasing doses of N. The recommendations generated by NuMaSS indicate that legumes provide sufficient N for corn (36-79 kg N ha⁻¹) and mineral N fertilization may increase costs. We conclude that the use of legumes as green manure generates significant contributions of nitrogen to the crop. Likewise, the use of NuMaSS can generate adequate nitrogen fertilization recommendations.

Keywords: soil fertility, corn, carbon, nitrogen efficiency

5.1 Introducción

En la actualidad se presenta un uso intensivo de la tierra, con efectos adversos en fertilidad del suelo, agotamiento de nutrientes y erosión (Tan et al. 2005). En el trópico seco, hay una disminución drástica de la producción agrícola y pecuaria asociada a los fuertes periodos secos y procesos avanzados de degradación de suelos (Douxchamps et al. 2010). Para suplir las deficiencias en producción de biomasa para alimentación de animales, se opta por la producción de cultivos forrajeros como maíz. Este cultivo es dependiente de aplicación de nitrógeno químico para obtener niveles de producción adecuados (Chikowo et al. 2006). Sin embargo, en la mayoría de casos no se aplican cantidades adecuadas de fertilizantes y en las explotaciones agrícolas se presenta el agotamiento de N que se traduce en una importante limitante para la producción (Ayarza et al. 2007; Smyth et al. 2004). Como estrategia de suministro de N surge el uso de leguminosas como abonos verdes, tecnología ya documentada en diferentes escenarios, tanto para cultivos de maíz como de arroz (Biederbeck et al. 1998; Burle et al. 1992; Mureithi et al. 2003). Donde con la incorporación de las leguminosas como fuente de nutrientes al suelo, se ha logrado reemplazar parte de la fertilización química, mejorando las propiedades físicas y químicas del suelo (Douxchamps et al. 2014).

Por lo tanto, el uso de abonos verdes de leguminosas como fuente de N, acompañado de herramientas de decisión para determinar niveles adecuados de suministro de nutrientes, en este caso N son estrategias que pueden hacer más eficiente y económico la producción de cultivos forrajeros. Una de las herramientas de decisión más adecuadas para este propósito es el Sistema Experto NuMaSS, que nace como esfuerzo cooperativo de varias universidades en Estados Unidos (Cornell, Texas A&M, Carolina del Norte y de la Universidad de Hawái) (Smyth et al. 2007). El NuMaSS diagnostica deficiencias de N y P, genera recomendaciones de fertilización para varios cultivos, con un rendimiento deseado y analiza la rentabilidad económica de las dosis recomendadas. Este sistema ha sido empleado en países como Honduras, Nicaragua (Cahill et al. 2007; Trejo Tercero et al. 2006), Brasil y África (Kebede y Yamoah 2009; Nigussie y Kissi 2012), Filipinas (Corton et al. 2003; Walker et al. 2009), México, Bolivia, Perú, en cultivos como maíz y arroz. Las evaluaciones en maíz han mostrado resultados donde se compara el nivel de fertilización del productor frente al nivel de fertilización que genera el NuMaSS, teniendo en cuenta el tipo de suelo, disponibilidad de nutrientes y costos de los fertilizantes, encontrando en

algunos casos que la dosis de N y P debería ser la mitad de la usada y en otros que tal vez no era necesaria la aplicación de algunos de ellos (Cahill et al. 2007; Trejo Tercero et al. 2006). No hay muchos reportes del uso de leguminosas como abonos verdes como fuente de nutrientes en el NuMaSS, sin embargo el programa permite incluir una serie de leguminosas, con su respectiva producción y aporte de kgMS y el contenido de N de la misma (Smyth et al. 2007).

Por lo tanto se plantea la necesidad de generar recomendaciones específicas de fertilización nitrogenada en función de las expectativas de producción y condiciones económicas del productor utilizando el Sistema Experto NuMaSS. Partiendo de la premisa que el NuMaSS es una herramienta adecuada para establecer niveles de fertilización nitrogenada a nivel local requeridos por cultivos forrajeros anuales con el uso de abonos verdes de leguminosas.

5.2 Metodología

La investigación se realizó en el Centro de Investigación Motilona de CORPOICA y dos fincas en los municipios de La Paz (Doña Rosa) y Valledupar (Salguero) ubicadas en la microrregión Valle del Cesar, con condiciones de suelo caracterizadas al inicio de los experimentos (Tabla 5-1). Los resultados reflejan adecuadas condiciones de fertilidad en términos de pH y disponibilidad de macronutrientes. Se evaluaron en total 12 tratamientos; 7 niveles de fertilización nitrogenada y 5 leguminosas incorporadas al suelo como abono verde. Los tratamientos fueron: T1: 0 kg N ha⁻¹, T2: 25 kg N ha⁻¹, T3: 50 kg N ha⁻¹, T4: 75 kg N ha⁻¹, T5: 100 kg N ha⁻¹, T6: 150 kg N ha⁻¹, T7: 200 kg N ha⁻¹, T8: Incorporación de *Canavalia brasiliensis*, T9: Incorporación de *Vigna unguiculata*, T10: Incorporación de *Clitoria ternatea*, T11: Incorporación de *Canavalia ensiformis*, T12: Incorporación de *Lablab purpureus*.

Las leguminosas se establecieron en los 3 sitios al final del periodo de lluvias del primer semestre de 2013, y se dejaron como cobertura durante toda la época seca, para ser incorporadas al inicio del siguiente periodo de lluvias. Cada parcela recibió una fertilización de establecimiento para garantizar que no se existiera limitación de nutrientes (P: 25, K: 20, Mg: 10, S: 10, B: 10 kg ha⁻¹). Cada parcela experimental estuvo conformada por 9 surcos de 5 m de longitud separados a 50 cm entre sí; la siembra dentro del surco se hizo

a una distancia de 50 cm entre sitios. El tamaño de cada parcela fue de 20 m² (4 m x 5 m), con una separación de 1 m entre calles y 2 m entre repeticiones.

Tabla 5-1: Análisis de suelos de los sitios donde se realizaron los experimentos

Finca	pH	Textura	MO %	P	S	Ca	Mg	K	Na
	mg/kg				cmol/kg				
Valledupar	7,2	FAar	1,2	419,66	3,1	4,89	2,08	2,06	0,09
La Paz	7,5	FA	1,1	25,97	2,9	4,19	0,62	0,30	0,06
CI Motilonia	6,6	FAar	1,9	512,99	4,2	6,40	0,89	0,51	0,05

A comienzos del periodo de lluvias del segundo semestre de 2013, se incorporaron las leguminosas al suelo y 15 días después se sembró maíz (variedad- ICA-V109) como cultivo indicador. Cada parcela estuvo conformada por 6 surcos de 5 m de largo cada uno separados a 70 cm y con 5 - 7 plantas de maíz por metro lineal. Las dosis de N se aplicaron en forma fraccionada en tres aplicaciones a los 10, 20 y 32 días después de emergencia de las plantas de maíz.

5.2.1 Variables medidas

Se determinó la producción de materia seca en las leguminosas incorporadas y del cultivo indicador (maíz), contenido de nutrientes (N, P, Ca, Mg y K) de la biomasa de las leguminosas y del maíz. En el suelo se determinó el contenido de NO₃ (Phiri et al. 2001), N total (Krom 1980) y carbono total (C) (Nelson y Sommers 1982). El N equivalente aportado por cada leguminosa se calculó por medio de una ecuación de regresión lineal ($Y = a + bX$), donde Y es el rendimiento de maíz y X la cantidad de N químico aplicado al maíz en los ensayos de niveles de nitrógeno (a: intercepto, b: pendiente).

5.2.2 Análisis estadístico

Para el experimento se empleó un diseño de Bloques Completos al Azar, con 7 niveles de N, 5 entradas de leguminosas y 3 repeticiones, para un total de 36 parcelas experimentales en cada sitio experimental. Los resultados se analizaron usando el PROC GLM del paquete estadístico SAS (V 9.3) y para la comparación de medias se usó el método Tukey.

5.3 Resultados y Discusión

5.3.1 Producción de biomasa y aporte de N en leguminosas

En el experimento localizado en el centro de investigación (Agustín Codazzi), los resultados mostraron diferencias ($p < 0,001$) en la producción de biomasa entre las leguminosas (Tabla 5-2). La mayor producción se observó con *C. ensiformis* (6.428 kg MS ha⁻¹) y la menor con *C. ternatea* (2.651 kg MS ha⁻¹). En el sitio de la Paz también se destacó por la mayor producción *C. ensiformis* ($p < 0,05$) frente a *C. ternatea* (6.589 y 2.779 kg MS ha⁻¹) respectivamente. En el sitio de Valledupar también se obtuvo la mayor producción (6.186 kg MS ha⁻¹) con *C. ensiformis*, pero la menor ($p < 0,05$) con *V. unguiculata* (2.643 kg MS ha⁻¹).

Tabla 5-2: Producción de biomasa, contenido de nitrógeno (N) y aporte de N equivalente por las leguminosas evaluadas como abono verde en las tres localidades

Leguminosa	Motilonia		La Paz		Valledupar	
	kg MS ha ⁻¹	² kg ha ⁻¹	kg MS ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg MS ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
<i>C. ternatea</i>	2.651 d ¹	106 ab ¹	2.779 b	90 b	2.776 d	106 b
<i>V. unguiculata</i>	3.891 c	35 bc	3.193 b	126 b	2.643 d	86 b
<i>C. ensiformis</i>	6.428 a	151 a	6.589 a	166 a	6.186 a	173 a
<i>L. purpureus</i>	5.565 ab	103 ab	6.382 a	171 a	4.924 c	159 a
<i>C. brasiliensis</i>	5.076 b	129 a	5.276 a	115 b	5.513 b	109 b
Biomasa no leguminosa	1.824 d	-37 c	2.102 b	-7 c	1.810 e	-19 c
Promedio	4.239	81,2	4.386	110	3.976	102

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey. ²Calculado con la ecuación: $X = (Y - a) / b$ derivada de la ecuación de regresión: $Y = 13681,48 + 20,30X$; $r = 0,84$; donde $Y = \text{kg MS ha}^{-1}$ de maíz y $X \text{ kg de N ha}^{-1}$ aplicado.

La producción de biomasa de *C. brasiliensis* en este estudio fue superior a la reportado por Douchamps (2010) en Nicaragua (2.448 vs. 5.357 kg MS ha⁻¹), pero menor a la obtenida (9.748 kg MS ha⁻¹) en un estudio reportado por Salamanca et al. (2006) en el Valle del Cauca, Colombia. La menor producción observada en este estudio, comparada con otras zonas, puede obedecer a condiciones de suelo y adaptación de los materiales forrajeros empleados. En cuanto al contenido de N en el follaje de las leguminosas no se observaron diferencias ($p > 0,05$), entre especie, siendo el promedio de 3,0% para las 3 localidades, mostrando la misma tendencia. En cuanto al N total aportado por las leguminosas (kg N

kg MS⁻¹), este puede variar de acuerdo al nivel de biomasa producida por las leguminosas incorporadas.

El equivalente de N (kg N ha⁻¹) aportado por las leguminosas incorporadas al suelo se cuantifico con una ecuación de regresión ($Y = 13.681,5 + 20,3X$; $r = 0,84$) obtenida a partir de la producción de biomasa de maíz (Y) y las dosis de N aplicadas (X). Tanto en el CI Motilonia como en La Paz y Valledupar, el mayor equivalente de N se observó con *C. ensiformis* (151, 166 y 173 kg N ha⁻¹ respectivamente). El menor equivalente en el CI Motilonia y Valledupar se observó en *V. unguiculata* (35 y 86 kg N ha⁻¹ respectivamente) (Tabla 5-2). Mientras en La Paz el menor equivalente se obtuvo con *C. ternatea* (90 kg N ha⁻¹) (Tabla 5-2). En el valor promedio de equivalente s de N fue mayor en La Paz, asociado a mayores niveles de producción de biomasa de maíz como respuesta a los diferentes niveles de N aplicados. Los valores de N equivalente fueron inferiores a los reportados en Cuyuta, Guatemala, en donde los valores de sustitución de fertilizante fueron de 127 y 158 kg N ha⁻¹ con *Mucuna* spp. y *C. ensiformis*, respectivamente (Pound 2000). En Nicaragua con *C. ensiformis* se observaron valores de N equivalente entre 150 - 200 kg ha⁻¹ (Douxchamps 2010).

En experimentos conducidos en suelos ácidos de los llanos orientales de Colombia se reportó que *C. ensiformis*, *V. unguiculata* y *Crotalaria spectabilis*, tuvieron aportes de N que variaron entre 31 y 326 kg ha⁻¹ (Corpoica 1999). Sin embargo, se debe tener en cuenta que en estos estudios el N aportado por las leguminosas incorporadas al suelo se calculó a partir de la biomasa de los materiales y de su contenido de N, y no de N equivalente calculado en función de N químico aplicado.

En general, los resultados mostraron un buen comportamiento de *C. ensiformis* y *C. brasiliensis* en las tres localidades evaluadas en condiciones del trópico seco del Cesar, tanto en producción de biomasa, tolerancia a sequía y aporte de N al suelo como equivalentes en kg N ha⁻¹, lo cual coincide con lo reportado en otras zonas de Centro América y África con periodos secos prolongados (Anderson et al. 1997; Cherr et al. 2006; Keller et al. 2006; Maass et al. 2010).

5.3.2 Contenido de minerales en las leguminosas

Los resultados en el C.I Motilona no mostraron diferencias ($p > 0,05$) en el contenido de K entre leguminosas. Sin embargo, los contenidos de N, P, Ca y Mg fueron diferentes ($p < 0,05$) entre leguminosas (Tabla 5-3). El contenido de N vario entre 3,1 y 3,5% en las leguminosas y 1,5% en el forraje no leguminoso (testigo negativo). El nivel de P en las leguminosas evaluadas vario entre 0,2 y 0,5% mientras que los niveles de Ca variaron entre 1,3 y 4,3% y los de S entre 0,2 a 0,8%. En La Paz se observaron diferencias en el contenido de Ca, K y S ($p < 0,05$) (Tabla 5-4), no siendo así para N y P, donde las diferencias observadas son hacia el material no leguminoso incorporado, que entre leguminosas. En Valledupar se observaron diferencias para todos los minerales ($p < 0,05$) (Tabla 5-5). Pero en general dentro de las 3 localidades no se observan diferencias mayores entre los contenidos de las leguminosas evaluadas ($p > 0,05$).

Tabla 5-3: Contenido de minerales (%) en la parte aérea de las leguminosas evaluadas como abonos verdes en el CI Motilonia

Tratamiento	N	P	Ca	Mg	K	S
<i>C. ternatea</i>	3,5 ¹	0,45 ab ¹	1,25 cd ¹	0,47 b ¹	2,44 ¹	0,23 bc ¹
<i>V. unguiculata</i>	3,4	0,46 ab	4,29 a	0,51 b	3,84	0,24 bc
<i>C. ensiformis</i>	3,3	0,20 c	2,45 bc	0,21 b	1,91	0,48 b
<i>L. purpureus</i>	3,1	0,54 a	2,59 b	0,27 b	3,72	0,20 c
<i>C. brasiliensis</i>	3,3	0,36 b	4,08 a	0,27 b	2,22	0,17 c
No leguminosa	1,5	0,37 b	0,36 d	2,82 a	1,60	0,77 a
Promedio	3,03	0,40	2,50	0,76	2,62	0,35

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey.

Tabla 5-4: Contenido de minerales (%) en la parte aérea de las leguminosas evaluadas como abonos verdes en La Paz, Cesar

Tratamiento	N	P	Ca	Mg	K	S
<i>C. ternatea</i>	3,03	0,35	1,42 ab	0,46	2,78 ab	2,60 ab
<i>V. unguiculata</i>	2,89	0,27	2,34 a	0,32	1,80 b	2,46 ab
<i>C. ensiformis</i>	3,09	0,21	2,06 a	0,45	1,99 b	2,87 a
<i>L. purpureus</i>	3,11	0,21	2,16 a	0,35	2,02 b	1,45 ab
<i>C. brasiliensis</i>	3,15	0,34	1,56 ab	0,35	3,15 a	2,50 ab
No leguminosa	1,18	0,23	0,87 b	0,39	2,75 ab	0,83 b
Promedio		0,27	1,74	0,39	2,41	2,12

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey.

Los contenidos de minerales observados en las leguminosas evaluadas están 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 et al. 1997).

Tabla 5-5: Contenido de minerales (%) en la parte aérea de las leguminosas evaluadas como abonos verdes en Valledupar, Cesar

Tratamiento	N	P	Ca	Mg	K	S
<i>C. ternatea</i>	3,08 ab	0,21 ab	1,14 b	0,39 ab	1,78 b	2,88 a
<i>V. unguiculata</i>	2,87 b	0,29 a	1,64 ab	0,47 a	1,76 b	1,45 ab
<i>C. ensiformis</i>	3,08 ab	0,19 b	1,70 ab	0,47 a	2,39 ab	0,77 b
<i>L. purpureus</i>	3,48 a	0,17 b	1,99 a	0,17 b	2,95 a	2,43 a
<i>C. brasiliensis</i>	2,65 b	0,14 b	1,87 a	0,33 ab	1,80 b	2,19 ab
No leguminosa	1,12 c	0,18 b	1,05 b	0,36 ab	2,86 a	2,04 ab
Promedio	2,71	0,19	1,73	0,38	2,41	2,12

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey.

5.3.3 Producción de biomasa en cultivo indicador (maíz)

En Motilonia con la incorporación de *C. brasiliensis*, *C. ensiformis*, *C. ternatea* y *L. purpureus* se observó que la producción de forraje de maíz no fue diferente ($p < 0,05$) a la producción que se obtuvo con 200 kg de N ha⁻¹. La producción de forraje de maíz con 200 kg de N ha⁻¹ fue superior en un 34% a la que se obtuvo cuando no se aplicó N. Con la incorporación de *C. ensiformis* al suelo (equivalente a 151 kg N ha⁻¹) se logró una producción de forraje de maíz de un 20% superior a la que se obtuvo con la dosis comúnmente usada en la zona (50 kg N ha⁻¹) y un 4% inferior a la producción que se obtuvo con la dosis más alta de N (200 kg ha⁻¹) aplicado (Tabla 5-6). Para La Paz, se logró la mayor producción de forraje de maíz con la dosis de 150 kg de kg N ha⁻¹, la cual no fue diferente de la incorporación de *C. ensiformis* ni a la dosis más alta de N ($p < 0,05$) (Tabla 5-7).

En Valledupar la mayor producción se obtuvo al incorporar *C. ensiformis* (14797 kg MS ha⁻¹) ($p < 0,05$), aun con mayor producción pero sin diferencias a lo obtenido con 150 y 200 kg N ha⁻¹ (Tabla 5-8). Entre las localidades la mayor producción de maíz se obtuvo en Motilonia, seguida de La Paz y Valledupar con la menor ($p < 0,05$), lo cual se asocia tanto a diferencias en los suelos donde se establecieron los ensayos, como en los niveles de biomasa de leguminosa incorporados, además de cambios en humedad en el suelo durante el desarrollo de los experimentos.

Tabla 5-6: Producción de biomasa del cultivo indicador (maíz), aporte de N y eficiencia de uso de N (EFN) en el maíz en los diferentes tratamientos en el CI Motilonia

Tratamiento	kg MS ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹ en Maíz ²	EUN
0N	12.933 e ¹	157,7 d	
.25N	14.765 cd	171,2 cd	61,4 ab
50N	13.993 de	181,9 bc	48,5 bc
75N	16.089 abc	202,2 ab	59,4 b
100N	16.275 ab	205,8 ab	48,1 bc
150N	16.475 ab	204,7 ab	31,4 c
200N	17.420 a	222,7 a	32,5 c
<i>C. brasiliensis</i>	16.300 ab	224,1 a	51,3 bc
<i>C. ensiformis</i>	16.743 ab	225,9 a	45,1 bc
<i>V. unguiculata</i>	14.388 d	185,6 bc	83,6 a
<i>C. ternatea</i>	15.821 bc	205,8 ab	49,4 bc
<i>L. purpureus</i>	15.757 bc	194,6 bc	39,2 bc
Promedio	15.580	198,6	50,0

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey. ²Calculado por la producción de biomasa de maíz: kg MS ha⁻¹ * % N maíz.

Tabla 5-7: Producción de biomasa del cultivo indicador (maíz), aporte de N y eficiencia de uso de N (EUN) en el maíz en los diferentes tratamientos en la Paz, Cesar

Tratamiento	Kg MS ha ⁻¹	Kg N ha ⁻¹ en Maíz ²	EUN
0N	11.669 g	135,6 f	
25N	11.627 g	146,3 ef	41,2 ab
50N	13.775 f	159,4 def	46,9 ab
75N	13.760 f	158,3 def	29,7 b
100N	15.825 bcd	190,4 bcd	54,4 ab
150N	17.049 a	210,4 abc	49,6 ab
200N	16.222 abcd	183,2 cde	23,6 b
<i>C. brasiliensis</i>	15.106 de	180,5 cde	38,4 ab
<i>C. ensiformis</i>	16.536 abc	201,1 bc	39,1 ab
<i>V. unguiculata</i>	15.401 cde	223,6 ab	68,4 a
<i>C. ternatea</i>	14.406 ef	175,7 cde	44,4 ab
<i>L. purpureus</i>	16.663 ab	242,2 a	60,9 ab
Promedio	14.836	183,9	45,17

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey. ²Calculado por la producción de biomasa de maíz: kg MS ha⁻¹ * % N maíz.

El contenido de N en el maíz para el sitio de Motilonia fue mayor en el maíz cosechado con la incorporación de *C. ensiformis* y *C. brasiliensis* (225,9 y 224, 1 kg N ha⁻¹), con el menor para el tratamiento de 0N ($p < 0,05$) (157,7 kg N ha⁻¹) (Tabla 5-6). En la Paz el mayor

contenido se observó en el tratamiento con *L. purpureus* (242,2 kg N ha⁻¹) (Tabla 5-9). En Valledupar se obtuvo el mayor contenido en el tratamiento con *C. ensiformis* (214 kg N ha⁻¹) (Tabla 5-10). En las tres localidades el menor contenido se obtuvo en el tratamiento testigo con 0N. Los resultados de aporte equivalente de N con la biomasa incorporada de las leguminosas evaluadas y su efecto en producción de maíz en este estudio están en la misma dirección de otros estudios reportados en la literatura. Sin embargo, los resultados no son comparables pues en esos estudios se midió grano y no biomasa del cultivo indicador (grano en estado lechoso más follaje). Por ejemplo, Fischler y Wortmann (1999) en el este de Uganda, utilizaron *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna pruriens*, *Dolichos lablab*, *C. ensiformis* como abonos verdes y observaron rendimientos de grano de maíz y frijol de un 50 a 60% más altos en comparación con rendimientos obtenidos sin abonos verdes. En Kenia, luego de la incorporación de *M. pruriens*, *C. ensiformis* y *L. purpureus*, se aumentó la producción de grano de maíz de un 35 a 100% en comparación con la aplicación de fertilizante nitrogenado (Mureithi et al. 2003).

Tabla 5-8: Producción de biomasa del cultivo indicador (maíz), aporte de N y eficiencia de uso de N (EUN) en el maíz en los diferentes tratamientos en Valledupar, Cesar

Tratamiento	kg MS ha ⁻¹	kg N ha ⁻¹ en Maíz ²	EUN
0N	10.880 e	125,4 e	
25N	11.547 e	135,6 de	42,5 abc
50N	13.006 d	156,8 cd	63,7 a
75N	13.693 bcd	154,7 cd	39,6 abc
100N	13.828 abcd	156,9 cd	31,9 bc
150N	14.222 abc	169,0 c	29,3 c
200N	14.641 ab	177,0 bc	26,0 c
<i>C. brasiliensis</i>	13.486 cd	192,5 ab	60,3 a
<i>C. ensiformis</i>	14.797 a	214 a	50,8 abc
<i>V. unguiculata</i>	13.021 d	173,0 bc	58,0 ab
<i>C. ternatea</i>	13.429 cd	172,0 bc	44,6 abc
<i>L. purpureus</i>	14.499 ab	203,8 a	50,5 abc
Promedio	13.421	169,2	45,2

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p < 0,05$), según prueba de Tukey. ²Calculado por la producción de biomasa de maíz: kg MS ha⁻¹ * % N maíz.

En las tres localidades la eficiencia aparente de uso del N por parte del cultivo de maíz (calculada por un método indirecto (kg N ha⁻¹ planta fertilizada – kg N ha⁻¹ planta sin fertilizar)/ kg N ha⁻¹ aplicado o incorporado) se redujo a medida que aumento la dosis de

N, siendo en todos los casos la más baja con la dosis de 200 kg N ha⁻¹ (Gráfico 5-1). En otros estudios también se ha encontrado una menor eficiencia en uso de N a medida que se aumenta la dosis sobre 125 - 150 kg N ha⁻¹ (Barbieri et al. 2010; Soto et al. 2004; Valero et al. 2005) (Tablas 5-8, 5-9, 5-10).

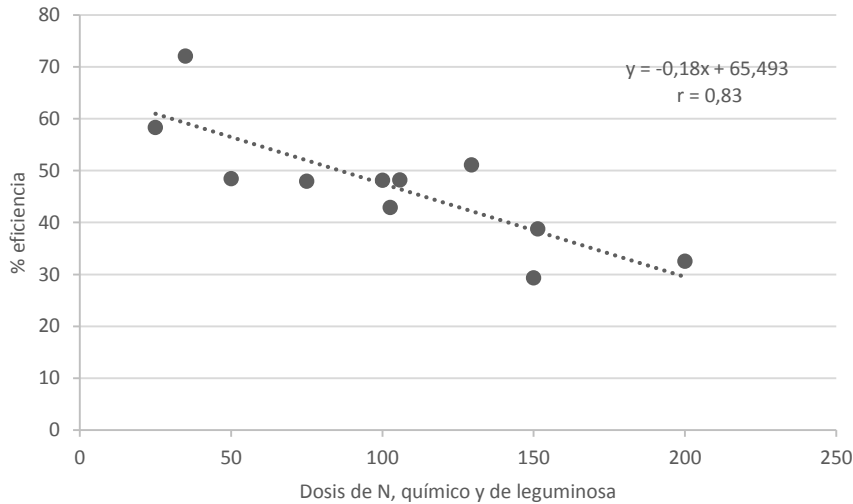


Gráfico 5-1: Relación entre nivel de N incorporado y eficiencia aparente de uso del nitrógeno

Los valores de eficiencia de uso de N fueron similares a los observados (32 a 40%) en Cuba usando el mismo método de cálculo con abonos verdes de *Crotalaria*, *Mucuna* y *Sesbania* (Martín y Rivera 2002). Por otra parte, en estudios en Venezuela la eficiencia de uso de N químico vario entre 40 y 90% (Delgado et al. 2001).

Se sabe que la eficiencia de uso del N fijado por leguminosas es normalmente menor que la del N adicionado como fertilizante químico (Barrios et al. 1996; Chikowo et al. 2006). Sin embargo, la eficiencia de uso del N fijado por una leguminosa usada como abono verde puede variar dependiendo de la sincronización entre el momento de aporte de nutriente y la demanda del cultivo (Cobo et al. 2002; Seneviratne 2000).

5.3.4 Nitrógeno en el suelo

En las tres localidades el contenido de N total en el suelo al momento de la aplicación de N y de la incorporación de las leguminosas no varió ($p > 0,05$) debido a los tratamientos aplicados ni a la localidad en si ($p < 0,05$) y como era de esperarse fue menor ($p < 0,05$)

en todos los tratamientos al final del ciclo de cosecha de forraje de maíz (Gráficos 5-2, 5-3, 5-4). Se observó, además que al finalizar el ciclo del cultivo indicador (maíz) el contenido de N total en el suelo tuvo poca variación ($p > 0,05$) entre tratamientos de N aplicado y de incorporación de leguminosas (Gráfico 5-2). En las localidades de La Paz y Valledupar el nivel de NT al momento de la incorporación de las leguminosas fue mayor en los tratamientos con leguminosas frente a los de fertilización con N químico ($p < 0,05$).

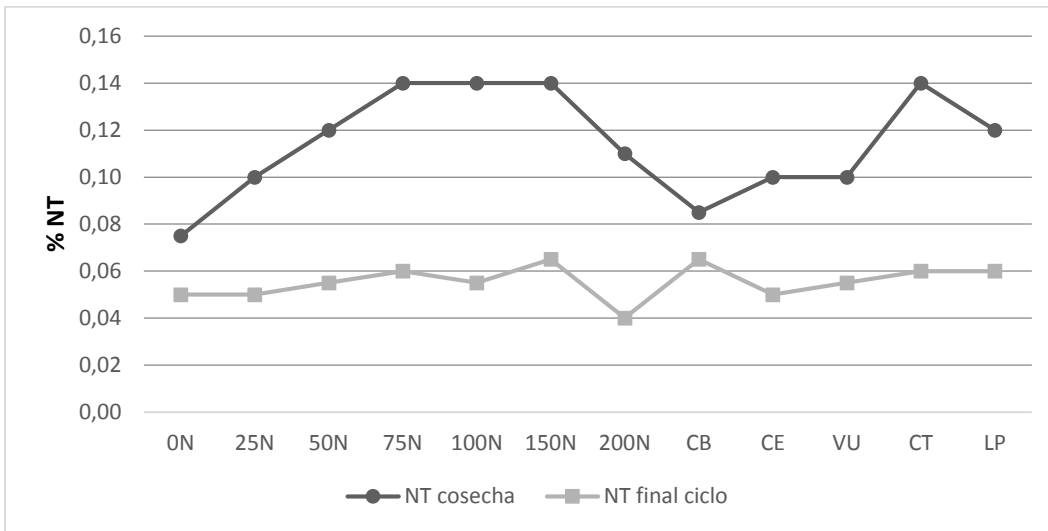


Gráfico 5-2: Dinámica de nitrógeno total (N) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en el CI Motilonia C. brasiliensis; CE: C. ensiformis; VU: V. unguiculata; C. brasiliensis; CT: C. ternatea; VU: V. unguiculata. LP: L. purpureus

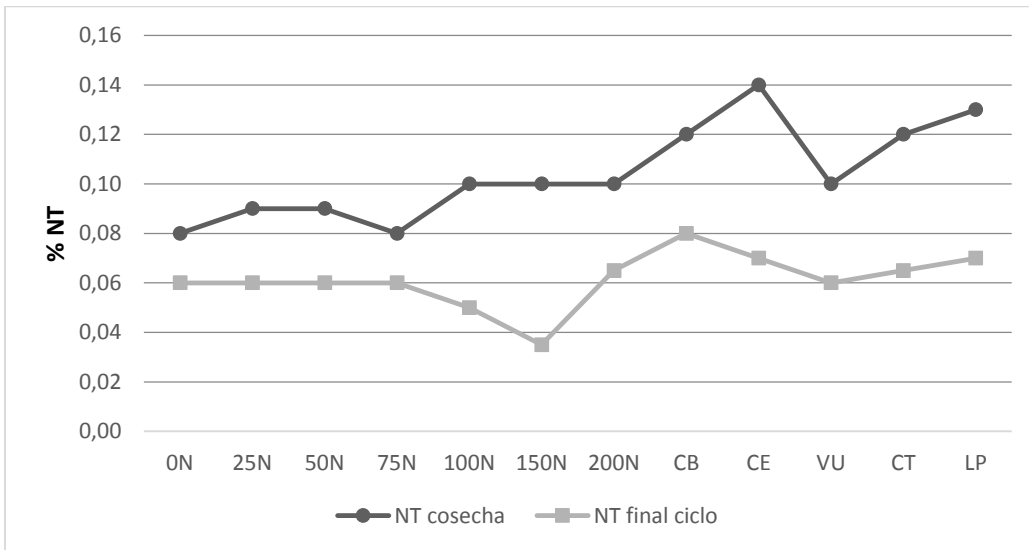


Gráfico 5-3: Dinámica de nitrógeno total (N) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en la finca Doña Rosa C. brasiliensis; CE: C. ensiformis; VU: V. unguiculata; C. brasiliensis; CT: C. ternatea; VU: V. unguiculata. LP: L. purpureus

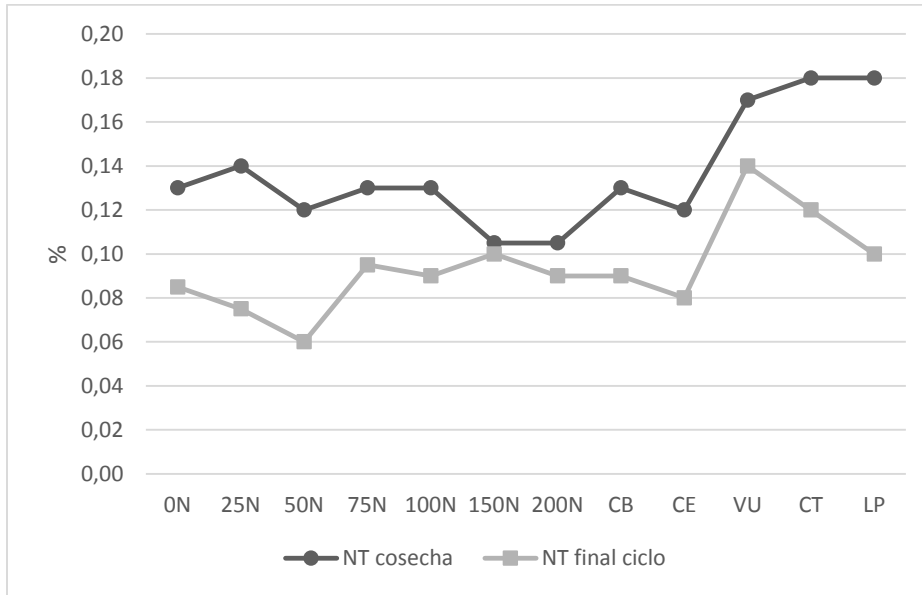


Gráfico 5-4: Dinámica de nitrógeno total (N) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en la finca Salguero

C. brasiliensis; CE: C. ensiformis; VU: V. unguiculata; C. brasiliensis; CT: C. ternatea; VU: V. unguiculata. LP: L. purpureus

En el caso de los niveles de nitrato (NO_3) en el suelo se observó en las tres zonas que fueron mayores al finalizar el ciclo de maíz que al momento de fertilizar con N o incorporar leguminosas al suelo. También fue evidente que los valores de NO_3 en el suelo fueron muy variables tanto cuando se aplicó N o se incorporó la leguminosa ($p < 0,05$). Pero en general para las tres localidades se observaron niveles altos de NO_3 al finalizar el ciclo de cultivo del maíz, con rangos entre 30-55 mg kg^{-1} (Gráficos 5-5, 5-6, 5-7).

Para interpretar los valores de NO_3 observados en el suelo en el presente estudio hay que tener cuenta que al fertilizar con N químico se genera un proceso de mineralización en el suelo mediante el cual parte del N aplicado se volatiliza (15 - 20%) y otra parte se convierte por acción de bacterias (nitrosomas - nitrobacter) en NO_2 - NO_3 . El N que la planta no absorbe se pierde por lixiviación o desnitrificación (25 - 30%). También que las plantas de parcelas fertilizadas con N químico toman más N del suelo que las no fertilizadas (efecto priming), por un efecto del fertilizante sobre la mineralización, a través de los procesos físico-químicos y microbiológicos del suelo (Kuzakov et al. 2000; Ma et al. 1999; Martín 2002).

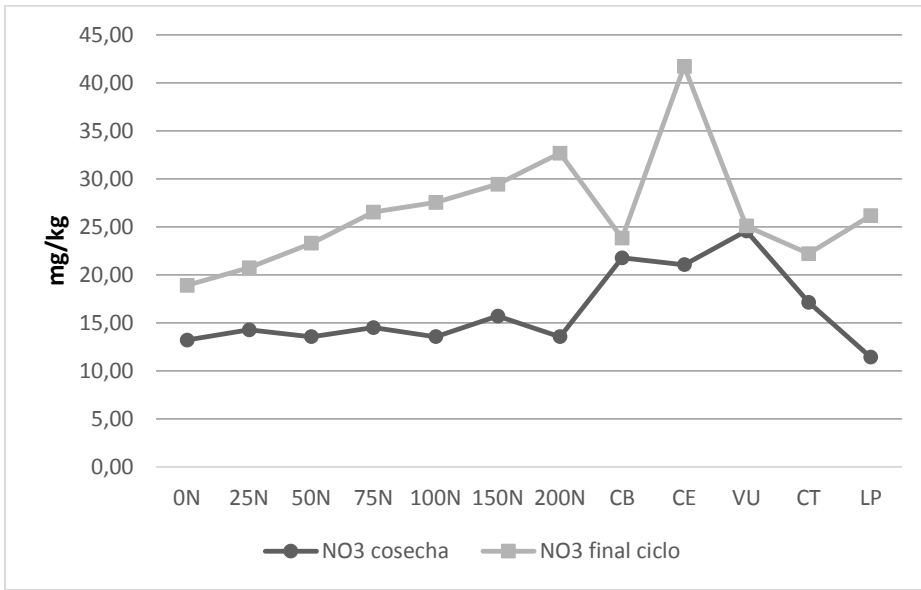


Gráfico 5-5: Dinámica de nitrato disponible (NO_3) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en el CI Motilonia

C. brasiliensis; CE: *C. ensiformis*; VU: *V. unguiculata*; C. *brasiliensis*; CT: *C. ternatea*; VU: *V. unguiculata*. LP: *L. purpureus*

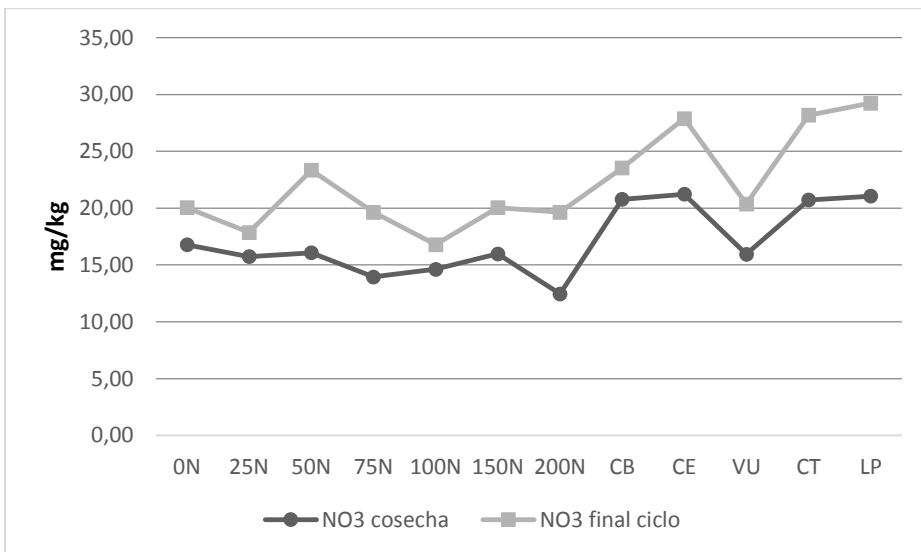


Gráfico 5-6: Dinámica de nitrato disponible (NO_3) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en la finca Doña Rosa

C. brasiliensis; CE: *C. ensiformis*; VU: *V. unguiculata*; C. *brasiliensis*; CT: *C. ternatea*; VU: *V. unguiculata*. LP: *L. purpureus*

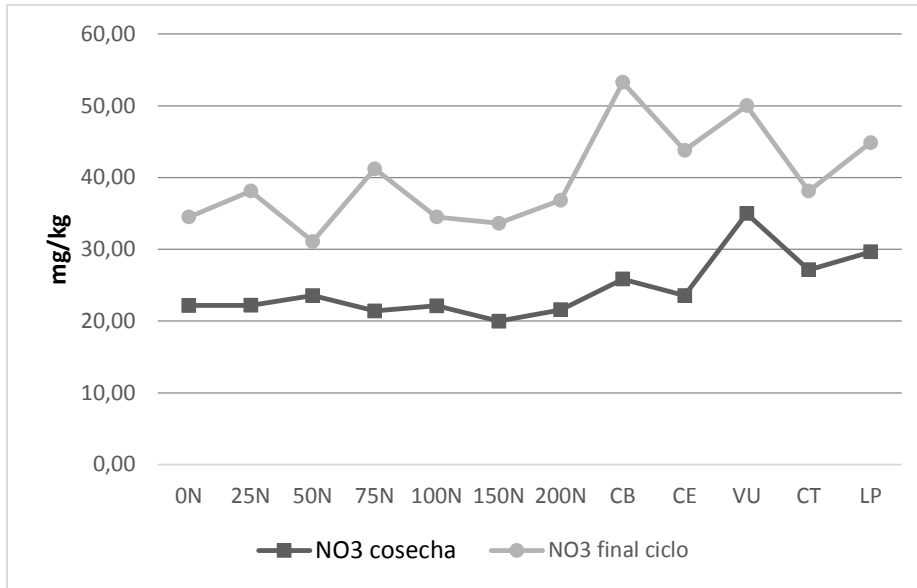


Gráfico 5-7: Dinámica de nitrato disponible (NO_3) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en la finca Salguero
C. brasiliensis; CE: *C. ensiformis*; VU: *V. unguiculata*; *C. brasiliensis*; CT: *C. ternatea*; VU: *V. unguiculata*. LP: *L. purpureus*

Con la incorporación de leguminosas como abonos verdes el N puede estar disponible hasta 90 días después de la incorporación sobre todo si las leguminosas tienen taninos (Barrios et al. 1996; Seneviratne 2000). En estudios en Brasil se ha reportado que entre el 85 y el 95% del N proveniente de abonos verdes de *Mucuna*, *Canavalia* y *Crotalaria* en el suelo fue absorbido por el cultivo de maíz en los primeros 29 días después de la germinación, indicando una rápida mineralización (Chikowo et al. 2006; García et al. 2001; Rivera y Urquiaga 1995).

Se ha reportado en otros estudios que valores por encima de 46 mg kg^{-1} de NO_3 se consideran altos, implicando riesgo de lixiviación y contaminación de acuíferos (Anken et al. 2004). En el presente estudio se encontraron niveles de NO_3 que variaron entre 20 y 41 mg Kg^{-1} de NO_3 en el suelo después de la cosecha de maíz en los tratamientos donde se incorporó abonos verdes de leguminosas. Solo para la localidad de Valledupar se observaron valores por encima de 46 mg kg^{-1} en las parcelas de *C. brasiliensis* y *V. unguiculata*. Esto sugiere que una proporción del N equivalente aportado por la leguminosas al momento de la cosecha del maíz no lo asimila la planta. La consecuencia de esto es lixiviación de N, lo cual se podría considerar una limitación de los abonos verdes fácilmente degradables en el suelo (García 1997; Mureithi et al. 2003; Seneviratne 2000).

5.3.5 Relación Carbono: Nitrógeno (C:N) en leguminosas y humedad en suelo

Dado que no se presentó diferencia para estos parámetros entre las tres localidades ($p < 0,05$), los datos se muestran como promedio general, con las diferencias de tratamientos en cada caso. La relación C:N más alta ($p < 0,05$) (22,66) se observó en el material no leguminoso, sin diferencias entre las leguminosas evaluadas ($p > 0,05$) (Tabla 5-9). Estos resultados concuerdan con los reportados en otros estudios, donde se encontraron relaciones C:N entre 9 y 25 en leguminosas como *C. brasiliensis*, *L. purpureus*, *Dolichos lablab* y *Mucuna pruriens* (Cobo et al. 2002; Douxchamps 2010; Odhiambo 2010).

La mineralización del N en el suelo depende en gran medida de la relación C:N del material incorporado. Un material vegetal incorporado al suelo con una relación C:N alta se descomponen más lentamente en el suelo que un material con una relación C:N baja (Martín y Rivera 2002; Nziguheba et al. 2005). Se ha reportado que plantas con relaciones C:N mayores a 27 inmovilizan N, mientras que plantas con una relación C:N menor a 27 mineralizan N, siendo 25 el valor crítico de equilibrio entre inmovilización y mineralización (Martín y Rivera 2002; Myers et al. 1994; Seneviratne et al. 1999; Seneviratne 2000).

Tabla 5-9: Relación carbono nitrógeno (C:N) y humedad del suelo en las leguminosas evaluadas en las tres localidades

Leguminosa	Relación C:N en leguminosas	Contenido de humedad en el suelo (%)
<i>C. ternatea</i>	11,64 b	13,48 ab
<i>V. unguiculata</i>	13,12 b	11,30 b
<i>C. ensiformis</i>	12,33 b	13,70 ab
<i>L. purpureus</i>	12,96 b	14,63 a
<i>C. brasiliensis</i>	11,89 b	13,53 ab
Biomasa no leguminosa	22,66 a	8,96 c
Promedio	14,10	12,60

¹Medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), según prueba de Tukey.

Las leguminosas se degradan en el suelo en forma rápida cuando su relación de C:N es del orden de 9,0. En el caso de gramíneas la relación C:N es de 20 o más, lo cual determina su degradación lenta en el suelo (Barrios et al. 1997; Palm y Sánchez 1991; Sakala et al. 2000). Las leguminosas sin taninos que se descomponen rápidamente producen una gran

cantidad de CO₂, y consecuentemente aportan poca MO a suelo, pero bastante nitrato (NO₃) que es forma de N más asimilable para las plantas. Alternativamente, leguminosas con taninos que tienen baja relación C:N se descomponen lentamente, dejando un buen residuo de MO y poco N disponible en el suelo, ya que el mismo es utilizado por los microorganismos del suelo para descomponer la leguminosa incorporada y en ese proceso se transforma en N orgánico no disponible para cultivos en rotación como maíz (Barrios et al. 1997; Oglesby y Fownes. 1992; Palm y Sánchez 1991; Seneviratne 2000).

Para las tres localidades, el contenido de humedad en el suelo medido antes de la incorporación de las leguminosas fue mayor ($p < 0,05$) en las parcelas con leguminosa incorporada, con un rango de 11,30 a 13,70%, frente a las parcelas sin incorporación de abono verde (8,96%) (Tabla 5-11). Un aumento en los niveles de humedad en el suelo puede resultar en mejoramiento de características físicas del suelo como la agregación y porosidad y en mayor número de macroporos, lo cual es conducente a mejores condiciones para la incorporación de MO al suelo por microorganismos (Gupta y Singh 1981; Latif et al. 1992). Esto a su vez resulta en un aumento del contenido de N en el suelo, sobre todo si la humedad es mayor al 10% (Hartwig y Ammon 2002; Palm et al. 2001; Thonissen et al. 2000).

El contenido de C orgánico en el suelo fue superior ($p < 0,05$) en las tres zonas al momento de cosecha del maíz en comparación con el momento de incorporación de las leguminosas. Se observó un rango desde 0,35% en el momento de incorporación de los abonos, hasta 1,4% al final del ciclo de cosecha del maíz, siendo mayor el contenido en la localidad de Valledupar, en los tratamientos donde se incorporó leguminosa como abono verde ($p < 0,05$) (Gráficos 5-8, 5-9, 5-10). Si bien en este estudio se presentó un aumento de C orgánico del suelo asociado con la incorporación de leguminosas como abono verde en las tres localidades, estas se han utilizado en gran parte del mundo con más éxito para incrementar la cantidad de N asimilable que para aumentar la cantidad de MO en el suelo, dado que este último es un proceso que lleva más tiempo y requiere de altas cantidades de materia orgánica para mineralizar (Palm y Sánchez 1991; Nziguheba et al. 2005; Seneviratne 2000).

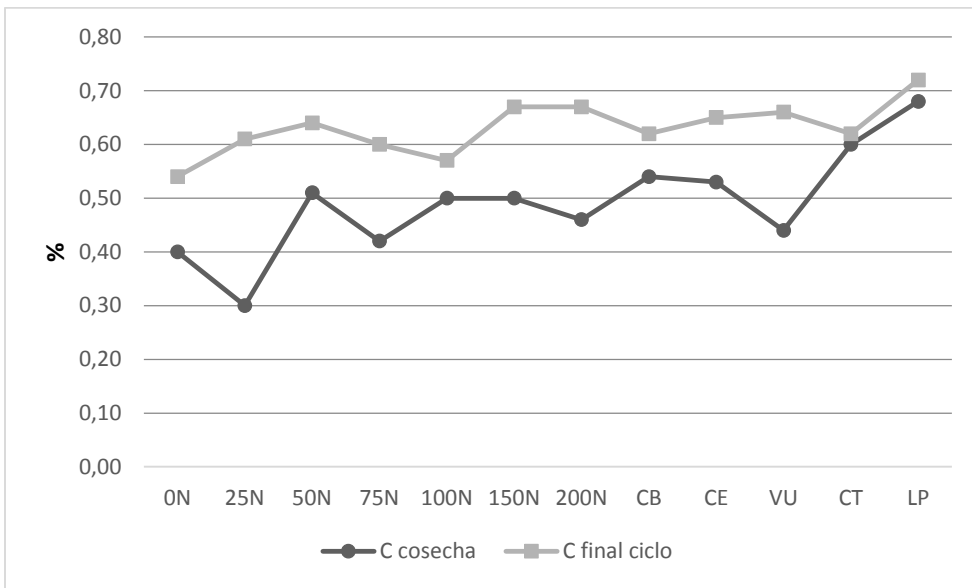


Gráfico 5-8: Dinámica de carbono orgánico (C) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en el CI Motilonia *C. brasiliensis*; CE: *C. ensiformis*; VU: *V. unguiculata*; C: *C. brasiliensis*; CT: *C. ternatea*; VU: *V. unguiculata*. LP: *L. purpureus*

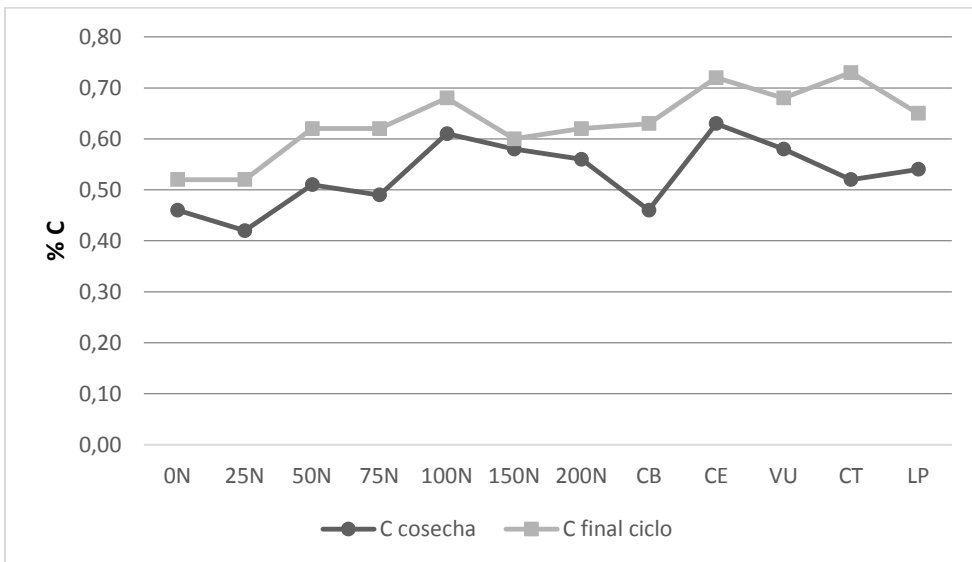


Gráfico 5-9: Dinámica de carbono orgánico (C) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en la finca Doña Rosa, La Paz *C. brasiliensis*; CE: *C. ensiformis*; VU: *V. unguiculata*; C: *C. brasiliensis*; CT: *C. ternatea*; VU: *V. unguiculata*. LP: *L. purpureus*

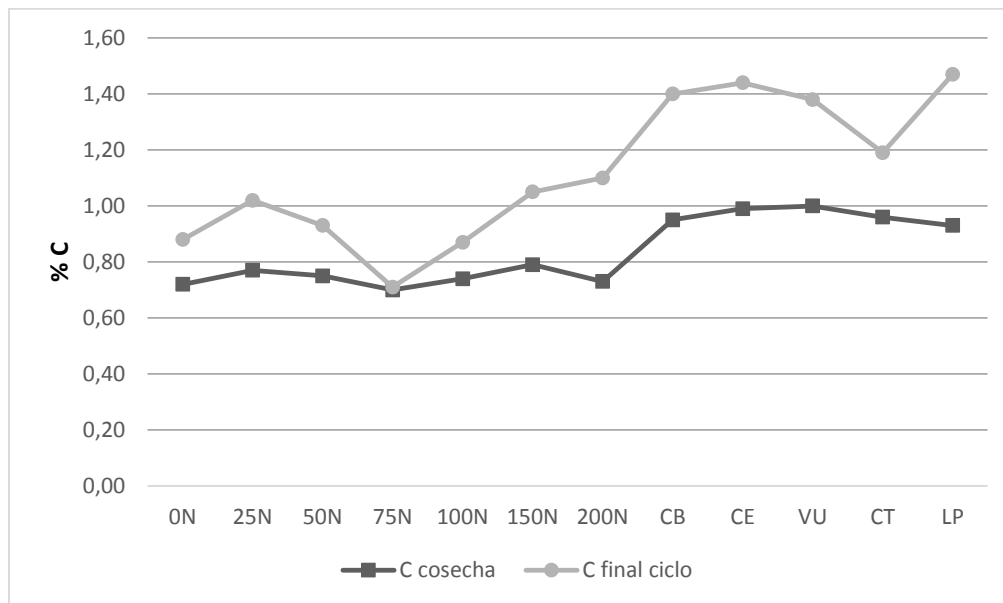


Gráfico 5-10: Dinámica de carbono orgánico (C) en el suelo (0-20 cm) antes de la incorporación de la leguminosa y al final del ciclo del maíz en la finca Salguero, Valledupar. C. *brasiliensis*; CE: C. *ensifomis*; VU: V. *unguiculata*; C. *brasiliensis*; CT: C. *ternatea*; VU: V. *unguiculata*. LP: L. *purpureus*

5.3.6 Recomendaciones con el sistema experto NuMaSS

La información generada en cada localidad fue ingresada al sistema experto NuMaSS, con el objetivo de validar y generar las recomendaciones de fertilización con N, para cada tratamiento y sitio, además del nivel máximo de producción establecido por NuMaSS para cada caso.

Se ingresó información como: análisis de suelos en cada localidad (N, P, K, Mg, Ca, CIC, Al, pH, densidad aparente, textura, materia orgánica). Nivel de producción de biomasa de leguminosa incorporada, contenido de N en la leguminosa, rendimiento en grano de maíz, contenido de N en el grano, eficiencia de uso del N incorporado. En cada tratamiento el NuMaSS establece el requerimiento de N, N disponible para el cultivo, N en el material vegetal (leguminosa), N adicional requerido, el rendimiento proyectado y nivel de N para lograrlo y el rendimiento real.

Teniendo en cuenta la información ingresada para condiciones específicas en cada localidad, donde en cada caso se obtuvieron valores previos en la etapa de calibración, como eficiencia de uso del N, N en el suelo, y rendimiento real en grano. Se generaron los resultados para cada localidad, asumiendo un manejo del productor con 0 kg de N y otro

con una dosis en algunos casos recomendada en la zona (100 kg N ha⁻¹), además de la información de las leguminosas incorporadas como fuente de N.

Tabla 5-10: Recomendación de fertilización nitrogenada de maíz (grano) obtenida con el sistema experto NuMaSS en función de niveles de N químico

Localidad	Tratamiento	Eficiencia uso	Requerimiento cultivo	N disponible cultivo	Rendimiento NuMaSS	N adicional
Motilonia	0N	42	47	20	1339	27
	50N	48	47	25	1636	23
	100N	48	47	27	1892	19
	200N	32	47	23	1583	24
	Promedio	43	47	24	1613	23
Valledupar	0N	43	48	23	1533	25
	50N	64	48	24	1615	23
	100N	32	48	23	1615	23
	200N	26	48	21	1370	28
	Promedio	41	48	23	1533	25
La Paz	0N	41	48	20	1330	28
	50N	47	48	21	1433	26
	100N	54	48	23	1555	24
	200N	24	48	25	1724	22
	Promedio	42	48	22	1511	25

Eficiencia de uso: calculada para cada tratamiento en la calibración previa. Requerimiento cultivo: rendimiento del cultivo * N en el grano * relación grano rastrojo. N disponible para el cultivo: N en el suelo + N en el material vegetal. N adicional: requerimiento del cultivo-N disponible en para el cultivo. Urea: N adicional * EUN * N en la urea.

Tabla 5-11: Recomendación de fertilización nitrogenada de maíz (grano) obtenida con el sistema experto NuMaSS en función de niveles de N de leguminosa incorporada

Localidad	Tratamiento	Eficiencia uso	Requerimiento cultivo	N material vegetal	N disponible cultivo	N adicional	Rendimiento
Motilonia	<i>C. brasiliensis</i>	51	47	66	77	0	3200
	<i>C. ensiformis</i>	45	47	83	95	0	3300
	<i>V. unguiculata</i>	84	47	52	64	0	3100
	<i>C. ternatea</i>	49	47	36	53	0	2999
	<i>L. purpureus</i>	39	47	68	82	0	3200
	Promedio	54	47	61	74	0	3160
Valledupar	<i>C. brasiliensis</i>	60	48	57	72	0	3100
	<i>C. ensiformis</i>	51	48	74	88	0	3200
	<i>V. unguiculata</i>	58	48	30	49	0	2990
	<i>C. ternatea</i>	45	48	33	54	0	2980
	<i>L. purpureus</i>	51	48	67	88	0	3200
	Promedio	53	48	52	70	0	3094
La Paz	<i>C. brasiliensis</i>	38	48	65	80	0	2890
	<i>C. ensiformis</i>	39	48	79	97	0	3100
	<i>V. unguiculata</i>	68	48	36	49	0	2880
	<i>C. ternatea</i>	44	48	33	48	0	3000
	<i>L. purpureus</i>	61	48	77	94	0	3100
	Promedio	50	48	58	74	0	2994

5.3.7 Resultados NuMaSS

Para el N en el suelo se observaron rangos de 10 a 21 kg ha⁻¹, con los mayores contenidos en las parcelas con leguminosas en Valledupar ($p < 0,05$). El N en el material vegetal, siendo arvenses en las parcelas sin leguminosa, tuvo variación entre leguminosas de acuerdo a la cantidad de biomasa incorporada ($p < 0,05$), con los mayores aportes en *C. ensiformis* y *L. purpureus*, con rangos de 30 a 79 kg N ha⁻¹ y los menores aportes en las parcelas de aplicación de N, sin diferencias entre las 3 localidades ($p > 0,05$). El N disponible para el cultivo, resulta del a sumatoria del N en el suelo y el N del material vegetal, donde la mayor cantidad de N disponible se observó con la incorporación de leguminosas ($p < 0,05$), destacándose *C. ensiformis* y *L. purpureus*. En cuanto al N adicional requerido (kg N ha⁻¹), en el caso de los tratamientos con la incorporación de leguminosas, la recomendación fue 0N, mientras en los casos de aplicación de fertilizantes nitrogenados, la recomendación estuvo entre 19 a 28 kg N ka⁻¹ ($p > 0,05$). En cada caso la dosis adicional de N en fertilizante nitrogenado (urea) dependerá de la eficiencia de uso del N calculada en cada parcela. El NuMaSS también establece un nivel de producción esperado, acorde a las condiciones de suelo y de producción, en este caso bajo las condiciones de rendimiento de N incorporado, se trabajó con máximo de producción de 3.200 kg ha⁻¹ de grano. En lo observado en este estudio, el rendimiento calculado por NuMaSS, en la mayoría de casos fue inferior a la producción real que se obtuvo para cada tratamiento ($p < 0,05$), donde en general la producción con el uso de leguminosas equivale a la aplicación de fertilizantes químicos y en algunos casos la superó ($p < 0,05$). Lo anterior puede estar asociado a que el coeficiente genético de producción usado para el estudio fue el reportado en estudios en la zona, donde no se expresó el maíz en su máxima producción.

Los resultados obtenido con el uso de NuMaSS como generador de recomendaciones de fertilización nitrogenada específica para cada sitio, van en la misma línea de los obtenidos en otras regiones, donde por ejemplo en Honduras y Nicaragua, se realizó la calibración y ajuste del NuMaSS, observando que con niveles de fertilización de 59 kg ha⁻¹ de N y 7 de P, se obtuvieron producciones promedio de 3.106 kg ha⁻¹ de maíz, frente a 2.753 kg ha⁻¹ obtenidos con el manejo del productor, con 80 y 18 kg ha⁻¹ de N y P respectivamente, lo cual genero mayor retorno económico con las recomendaciones de NuMaSS (Cahill et al. 2007; Smyth et al. 2004; Trejo Tercero et al. 2006). En México, la recomendación de

fertilización para maíz del NuMaSS (161N-42P-00K) y la de INIFAP (140N-40P-00N) incrementaron el rendimiento de maíz en 32 y 24%, respectivamente en relación al testigo sin fertilizante (Roel 2008). En Filipinas se encontró que la producción del productor fue 2470 kg ha⁻¹ de maíz, frente a 4.400 kg ha⁻¹ al utilizar la recomendaciones de NuMaSS (Corton et al. 2003; Walker et al. 2009). En Etiopia, África, se concluyó que con el uso de NuMaSS se generó una recomendación hasta de 50% inferior a la usada para una producción de 3000 kg ha⁻¹ de maíz, y que además se podría incluir en el balance de nutrientes, el uso de estiércol y residuos vegetales como fuente de nutrientes (Kebede y Yamoah 2009; Nigussie y Kissi 2012).

5.4 Conclusiones

- Leguminosas destacadas en las tres localidades: *C. ensiformis*, *C. brasiliensis* y *L. purpureus*
- El aporte de N equivalente de leguminosas evaluadas fue de 35 a 173 Kg/ha
- El aporte de N a partir de biomasa de leguminosas evaluadas fue de: 70 a 214 Kg/ha
- En cuanto a la producción de grano de maíz con NuMaSS se concluyó que:
- Con fertilización de N: se estimó que era necesario aplicaciones adicionales de N para cubrir la deficiencia asociadas al requerimiento del cultivo y para lograr la producción objetivo
- Con abonos verdes: se estimó que no era necesario aplicaciones adicionales de N dado que el N disponible era mayor que el requerimiento del cultivo para lograr la producción objetivo

Así, el uso del sistema experto NuMaSS genera utilidad en la generación de recomendaciones de fertilización de N y P para maíz, teniendo en cuenta las características específicas del suelo, los requerimientos del cultivo y el aporte de nutrientes de las leguminosas incorporadas. Por lo tanto, se requiere realizar prácticas adecuadas como aumento de la cantidad y calidad de residuos vegetales ricos en nitrógeno, como es el caso de los abonos verdes. Además se debe trabajar en el tema de flujo de micronutrientes con el fin de aumentar la productividad de cultivos como maíz. Donde NuMaSS podría ser usado como una herramienta para diagnosticar la deficiencia de

nutrientes y las recomendaciones de fertilización para cultivos como maíz en diferentes zonas agroecológicas.

Por último, para la validación, se recomienda que el estudio se realice en otras zonas y con cultivos forrajeros como sorgo, para tener más información sobre la calibración y ajuste.

Bibliografía

1. Anderson S, Ferraes N, Gundel S, Keane B, Pound B (Eds.). 1997. "Cultivos de Cobertura: componentes de sistemas integrados". Taller Regional Latino- americano. 3-6 de Febrero 1997. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Apartado 116-4, Mérida 97100, Yucatán, México.
2. Anken T, Atamp 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.
3. Ayarza M, Amezquita E, Rao I, Barrios E, Rondon M, Rubiano Y, Quintero M. 2007. Advances in improving agricultural profitability and overcoming land degradation in savanna and hillside agroecosystems of tropical America. In: Bationo A, Waswa B, Kihara J, Kimetu J (eds) *Advances in integrated soil fertility management in sub-saharan Africa: challenges and opportunities*. Springer, Dordrecht, pp 209–229.
4. Barbieri PA, Echeverría HE, Rozas HS, Maringolo M. 2010. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. *Ciencia del suelo*, 28, 57-66.
5. Barrios E, Buresh RJ, Sprent JI. 1996. Nitrogen mineralization in density fractions of soil organic matter from maize and legume cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry* 28:1459-1465.
6. Barrios E, Kwesiga F, Buresh R, Jand Sprent JI. 1997. Lightfraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 826–831.
7. Biederbeck VO, Campbell CA, Rasiyah V, Zentner RP, Wen G. 1998. Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manure. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(8), 1177-1185.
8. Burle ML, Suhel AR, Pereira J, Resck DVS, Peres JRR, Cravo MS, Lathwell DJ. 1992. Legume Green Manures. *Dry-season Survival and the Effect on a Succeeding Maize Crop*.
9. Cahill S, Ayarza M, Garcia E, Navarro E, Smyth J, Osmond D. 2007. Good Fertilizer Management Is Profitable for Resource Limited Farmers in Honduras and Nicaragua.

10. Cherr CM, Scholberg JMS, McSorley R. 2006. Green Manure Approaches to Crop Production: A Synthesis. *Agron. J.* 98:302–319 (2006).
11. Chikowo R, Mapfumo P, Leffelaar PA, Giller KE. 2006. Integrating legumes to improve N cycling on smallholder farms in sub-humid Zimbabwe: resource quality, biophysical and environmental limitations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76:219-231.
12. Cobo JG, Barrios E, Kass DCL, Thomas RJ. 2002. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical volcanic-ash soil. *Plant Soil* 240: 331-342.
13. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Navas RGE, Bernal RJH. 1999. Caracterización de leguminosas como abono verde para los sistemas de producción del piedemonte llanero y altillanura plana Colombiana. Boletín Técnico No 16. Villavicencio agosto de 1999.
14. Corton T, George T, Escabarte R, Lasquite J, Quito J, Casimero M, Wopereis MCS. 2003. On-Farm Testing of NuMaSS in the Philippines. *Decision Support Tools for Smallholder Agriculture in Sub-Saharan Africa A Practical Guide*, 54.
15. Delgado R, Ramírez R, Urquiaga S. 2001. Colocación del nitrógeno en el suelo y la eficiencia de uso por el maíz. *Agronomía Trop*, 51(3), 337-350.
16. Douxchamps S. 2010. Integration of *Canavalia brasiliensis* into the crop-livestock system of the Nicaraguan hillsides: environmental adaptation and nitrogen dynamics. Dissertation submitted to degree of Doctor of Sciences. ETH Zurich. Group of Plant Nutrition, Institute of Plant Sciences, ETH Zurich. 126 p.
17. Douxchamps S, Humbert FL, Van der Hoek R, Mena M, Bernasconi SM, Schmidt A, Oberson A. 2010. Nitrogen balances in farmers fields under alternative uses of a cover crop legume: a case study from Nicaragua. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 88(3), 447-462.
18. Douxchamps S, Rao IM, Peters M, Van der Hoek R, Schmidt A, Martens S, Oberson A. 2014. Farm-scale tradeoffs between legume use as forage versus green manure: The case of *Canavalia brasiliensis*. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(1), 25-45.
19. Fischler M, Wortmann CS. 1999. Green manures for maize–bean systems in eastern Uganda: Agronomic performance and farmers' perceptions. *Agroforestry Systems* 47: 123–138, 1999.
20. García M. 1997. Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos económicos desarrollados sobre un suelo Ferralítico Rojo de La Habana. Doctoral dissertation, Tesis de Doctorado. La Habana: INCA).
21. García M, Treto E, Álvarez M. 2001. Comportamiento de diferentes especies de plantas para ser utilizadas como abonos verdes en las condiciones de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22(4), 11-16.

22. Gupta SR, Singh JS. 1981. The effect of plant species, weather variables and chemical composition of plant material on decomposition in a tropical grassland. *Plant Soil* 59, 99–117.
23. Hartwig NL, Ammon HU. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Sci.* 50:688–699.
24. Jara FA, Bunch R, Valdivia AR, Pitty A, Andrews KL, Rodríguez V, CATIE Turrialba (Costa Rica). 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)*. Ene-Jun, 38(1), 95
25. Kebede F, Yamoah C. 2009. Soil fertility status and NuMaSS fertilizer recommendation of Typic Haplusterts in the Northern Highlands of Ethiopia. *World Applied Sciences Journal*, 6(11), 1473-1480.
26. Keller GD, Mndiga H, Maass BL. 2006. Diversity and genetic erosion of traditional vegetables in Tanzania from the farmer's point of view. *Plant Genet Resour* 3:400–413
27. Krom MD. 1980. Spectrophotometric determination of ammonia - a study of a modified Berthelot reaction using salicylate and dichloroisocyanurate. *Analyst* 105:305-316.
28. Kuzyakov Y, Friedel JK, Stahr K. 2000. Review of mechanisms and quantification of priming
29. Latif MA, Mehuys GR, Mackenzie AF, Alli I, Faris MA. 1992. Effects of legumes on soil physical quality in a maize crop. *Plant and Soil*, 140(1), 15-23.
30. Ma BL, Dwyer LM, Gregorich EG. 1999. Soil nitrogen amendment effects on seasonal nitrogen mineralization and nitrogen cycling in maize production. *Agronomy Journal*, 91(6), 1003-1009.
31. Maass BL, Knox MR, Venkatesha SC, Tefera TA, Ramme S, Pengelly BC. 2010. *Lablab purpureus*—A Crop Lost for Africa. *Tropical Plant Biol.* (2010) 3:123–135.
32. Martín GM. 2002. *Mineralización del nitrógeno de los abonos verdes y su participación en la nutrición nitrogenada del maíz (Zea mays L.) cultivado sobre un suelo Ferralítico Rojo de La Habana* (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría]. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas).
33. Martín GM, Rivera R. 2002. Participación del nitrógeno de los abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz (*Zea mays* L.) cultivado sobre suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*, 23(3), 91-96.
34. Mureithi JG, Gachene CKK, Ojiem J. 2003. The role of green manure legumes in smallholder farming systems in Kenya: the legume research network project. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 1:57–70.
35. Myers RJK, Palm CA, Cuevas E, Gunatilleke IUN, Brossard M. 1994. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: Woomer PL,

- Swift MJ (eds) The biological management of tropical soil fertility. Wiley, Chichester, UK, pp 81–116
36. Nelson DW, Sommers L. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, (methodsofsoilan2), 539-579.
37. Nigussie A, Kissi E. 2012. Physicochemical characterization of Nitisol in southwestern Ethiopia and its fertilizer recommendation using NuMaSS. *Glob Adv Res J Agric Sci*, 1, 66-73.
38. 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.
39. Odhiambo JJ. 2010. Decomposition and nitrogen release by green manure legume residues in different soil types. *African Journal of Agricultural Research*, 5 (1), 090-096.
62. Oglesby KA, Fownes JH. 1992. Effect of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees. *Plant Soil* 143 :127–132
40. Palm CA, Gachengo CN, Delve RJ, Cadisch G, Giller KE. 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agric Ecosyst Environ* 83: pp. 27-42
41. Palm CA, Sanchez PA. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23:83-88.
42. Pauth MNJ, Olivas LLH, Palma MAM. 1997. Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de leguminosas nativas con potencial forrajero en Jalapa y Estelí, Nicaragua. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia (Brasil)*.
43. 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 and Soil* 231: 211-223.
44. Pound B. 2000. Cultivos de cobertura para la agricultura en América Latina. En: *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*. 97-120
45. Rivera R, Urquiaga S. 1995. Mineralización y participación del nitrógeno de tres especies de abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz. *Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica: Programa y Resúmenes*. La Habana, Cuba.
46. Roel SGJ. 2008. NuMaSS: Software de apoyo en la toma de decisiones en el manejo integrado de los nutrientes del suelo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Mexico.

47. Salamanca AWF, Bonilla CCR, Sanchez MS. 2006. Evaluación de seis abonos verdes en un vertisol ústico en condiciones del Valle del Cauca. *Acta Agronomica*. Vol 53 No 3. 2006
48. Sakala WD, Cadisch G, Giller KE. 2000. Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. *Soil biology and biochemistry*, 32(5), 679-688.
49. Seneviratne G, Van Holm LHJ, Balachandra LJA, Kulasoorya SA. 1999. Differential effects of soil properties on leaf nitrogen release. *Biol Fertil Soils* 28:238–243.
50. Seneviratne G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis.. April 2000, Volume 31, pp 60-64.
51. Smyth J, Ayarza MA, Brizuela L, Orozco PP. 2004. Testing diagnosis of the NuMaSS expert system for N and P applications in corn-based systems (eds) Integrated soil fertility management in the tropics. TSBF annual report 2004, CIAT, Cali, Colombia
52. Smyth TJ, Osmond DL, Yost RS, Hoag DL, Reid WS, Branch W, Wang X, Li H. 2007. Nutrient Management Support System (NuMaSS), v. 2.2. Soil Management Collaborative Research Support Program, Boletín Técnico No 2007-01. Universidad del Estado de Carolina del Norte, Raleigh, NC. *Soil Management CRSP Bulletin*, 92-04.
53. Soto O, Jahn B, Arredondo S. 2004. Mejoramiento del porcentaje de proteína en maíz para ensilaje con el aumento y parcialización de la fertilización nitrogenada. *Agricultura Técnica*, 64(2), 156-162.
54. Tan ZX, Lal R, Wiebe KD. 2005. Global soil nutrient depletion and yield reduction. *Journal of Sustainable Agriculture*, 26(1), 123-146.
55. Thonnissen C, Midmore DJ, Ladha JK, Olk DC. 2000. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agron. J.* 92: 253–260.
56. Trejo Tercero MT, Ayarza MA, Smyth TJ, Finney D. 2006. Use of the nutrient management expert system NuMaSS to improve management of nitrogen in maize-based systems in hillsides of Honduras and Nicaragua. 18th World Congress of Soil Science July 9-15, 2006 - Philadelphia, Pennsylvania, USA.
57. Valero JDJ, Maturano M, Ramírez AA, Martín-Benito JT, Álvarez JO. 2005. Growth and nitrogen use efficiency of irrigated maize in a semiarid region as affected by nitrogen fertilization. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 3(1), 134-144.
58. Vivas MEF, Rosado RJG, Castellanos RAF, Heredia AM, Cabrera-TEJ. 2011. Contenido mineral de forrajes en predios de ovinocultores del estado de Yucatán. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(4), 465-475.
59. Walker T, Friday J, Casimero M, Dollentas R, Mataia A, Acda R, Yost R. 2009. The early economic impact of a nutrient management decision support system (NuMaSS)

on small farm households cultivating maize on acidic, upland soils in the Philippines. *Agricultural Systems*, 101(3), 162-172.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Con todos los experimentos realizados en este estudio, relacionados al uso de abonos verdes en producción de cultivos agrícolas para producción de ensilaje, los cuales son usados en la alimentación de vacas lecheras en el trópico seco. Se puede concluir que:

En general con la integración de abonos verdes de leguminosas forrajeras en sistemas ganaderos doble propósito se puede hacer remoción de cierta proporción de leguminosa para elaborar heno sin afectar el rendimiento del cultivo forrajero en rotación, incrementando la producción de cultivos forrajeros para ser utilizados en época seca para aumentar la producción de leche en épocas críticas.

Se destacaron las leguminosas *C. ensiformis*, *C. brasiliensis* y *L. purpureus* por su adaptación al trópico seco, alta producción de biomasa (> a 4000 kgMS ha⁻¹), tener un alto potencial para aportar N al suelo como abonos verdes y por contribuir a aumentar la producción de cultivos forrajeros para suplementar ganado en la época seca. Con el uso de estas leguminosas se observó un aporte de equivalente de N de hasta de 151 kg N ha⁻¹ con lo cual es posible obtener altos rendimientos de cultivos forrajeros como maíz. Donde los rendimientos de biomasa de maíz se relacionan directamente con la cantidad y nivel de N en la biomasa de las leguminosas incorporadas al suelo, logrando rendimientos incluso mayores a los obtenidos con el uso de 50 Kg de N por ha⁻¹, que es el nivel de referencia en la siembra maíz para ensilar en varias zonas del país.

Con el uso de leguminosas como *L. purpureus*, *C. ensiformis*, *C. brasiliensis* como abono verde se logró un aumento en el suelo de los niveles de NO₃ y C orgánico, lo cual mejoró las condiciones de suelo para la producción de forraje de maíz. Estos materiales mostraron relaciones C:N adecuadas para una eficiente mineralización y además contribuyeron a

conservar la humedad del suelo, lo cual resultó en mejoramiento de las condiciones físicoquímicas del suelo para la incorporación al suelo de C orgánico por microorganismos.

En cuanto a la estrategia de manejo para la incorporación de abonos verdes de leguminosas en trópico seco, se puede decir que las leguminosas se pueden sembrar al inicio o mitad de un periodo lluvioso donde exista adecuada humedad en el suelo para su desarrollo. Y preferiblemente ser incorporadas al suelo unos 30 o 40 días antes de sembrar el maíz o cultivo forrajero a emplear (hacia finales de la época lluviosa) con la finalidad de mejorar eficiencia de uso de N por el maíz y minimizar pérdidas de N como NH_4 (volatilización) y NO_3 (lixiviación), evitando efectos negativos sobre el medio ambiente por eutrofización de acuíferos.

La otra alternativa de manejo es sembrarlas hacia finales de la época de lluvias y cosechar parte para hacer heno y suplementar vacas en época seca. El remanente que queda en el campo cumpliría la función de conservar humedad del suelo y transferir N, que es luego aprovechado por un cultivo forrajero sembrado en rotación con el abono verde para ser suministrado a vacas lecheras en un sistema de corte y acarreo durante el periodo de lluvias.

Con este tipo de estrategias de manejo, se pudo comprobar que 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 para producción de ensilaje. Por lo tanto se puede generar una producción de biomasa adicional con heno de leguminosa, lo cual se corrobora con el uso de heno de *C. brasiliensis* como suplemento de vacas lecheras en época seca incrementando en 17% la producción de leche vendible en vacas doble propósito bajo pastoreo en pasto Colosuana.

También se pudo concluir que con toda la información generada en los diferentes estudios, se puede realizar la calibración y uso de sistemas expertos como NuMaSS, el cual puede ser una herramienta de primera mano para asistentes técnicos e investigadores que quieran realizar recomendaciones de fertilización con N y P en función de una producción objetivo. En este caso se empleó en maíz, usando en el ajuste los diferentes aportes de biomasa y equivalente de N con las características específicas del suelo, la eficiencia de uso de N, los requerimientos del cultivo y el aporte de nutrientes de las leguminosas

incorporadas. Así, se puede realizar un uso óptimo de nutrientes, teniendo en cuenta que el aporte de N por las leguminosas puede ser superior a los requerimientos y presentarse pérdidas de nutrientes.

En general, se puede decir 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 para ensilaje y sostener o aumentar la producción de leche en época seca, lo cual a su vez puede contribuir a la adopción de abonos por ganaderos, repercutiendo en mayor rentabilidad y competitividad de los sistemas doble propósito, resaltando el uso multipropósito de las leguminosas forrajeras.

Las perspectivas de investigación que se generan luego de realizar este estudio se enfocan a: 1. Seleccionar con métodos participativos leguminosas adaptadas a las condiciones de clima y suelo de regiones secas que mejoren el suministro de nitrógeno para los cultivos a través de la fijación del nitrógeno atmosférico y conserven la humedad del suelo y 2. Desarrollar sistemas de alimentación para la época seca aplicables a los sistemas doble propósito que estén basados en suplementos forrajeros de alta calidad (heno de leguminosas) y cultivos forrajeros para contribuir a una mayor producción y calidad de leche. 3. Estrategias de adopción de materiales forrajeros adaptados, por medio de programas de evaluación de germoplasma conducentes a la liberación y entrega de materiales a los productores de la zona, con un canal adecuado de distribución de semilla.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda en general realizar investigación estratégica en estudios sobre procesos mecanísticos en el suelo asociados con el uso de leguminosas como abonos verdes en sistemas ganaderos para diseñar mejores estrategias de manejo

En temas de adopción establecer sistemas de producción y distribución de semillas de leguminosas seleccionadas, montar pruebas regionales en fincas contrastantes para evaluar efecto de abonos verdes en producción de cultivos forrajeros y leche, estimar rentabilidad económica de la integración de abonos verdes en sistemas ganaderos.

Implementar estrategias de promoción/difusión del uso de leguminosas como abonos verdes (i.e. días de campo, boletines técnicos)

En la mayoría de casos se presentan aun lagunas en la comprensión de las ventajas comparativas de estas especies, principalmente entre los aspectos biofísicos y socioeconómicos. Donde se deben realizar análisis de trade off, para determinar con la integración de los abonos verdes en sistemas ganaderos, el efecto de remover leguminosas para alimentar vacas, teniendo en cuenta el retorno económico tanto en leche como en el rendimiento del cultivo forrajero.

Ya en el tema de uso alternativo de leguminosas en alimentación animal, se deben generar estrategias para optimizar el consumo de las leguminosas, dado que no en todos los casos el heno tiene un buen consumo. Se pueden generar estrategias como la producción de ensilajes de leguminosas, producción de harina y peletizados originados con leguminosas forrajeras de alta calidad.

Se recomienda también la realización de más estudios de calibración y ajuste con el sistema experto NuMaSS en otras regiones el país y con otros cultivos forrajeros como sorgo. Dada la importancia del aporte de nutrientes de las leguminosas como abono verde, acompañado al uso del sistema experto, se puede lograr optimizar el flujo de nutrientes de forma adecuada al suelo.

Finalmente opciones de leguminosas multipropósito deben combinarse con otras tecnologías de intensificación agrícola o diversas rotaciones de cultivos. Con alternativas para la integración de las leguminosas se podría desarrollar una gestión más sostenible de los recursos orgánicos que maximicen el uso de nutrientes eficiencia y reducir la degradación del suelo en los sistemas agropecuarios en pequeña escala en los trópicos.

A. Anexo 1: Instrucciones para autores Revista Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia

- Directrices para autores/as

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia

ISSN 0120-2952

DOI: [10.15446/rfmvz](https://doi.org/10.15446/rfmvz)

IMPORTANTE: durante 2015 y 2016 no se recibirán artículos de revisión.

La *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* publica reportes de caso y artículos científicos, de revisión y de opinión de todas las áreas de la medicina veterinaria y la zootecnia.

Para el envío de artículos a consideración del comité editorial de la revista es indispensable cumplir con los siguientes requisitos:

1. Los artículos deben ser inéditos y no deben haber sido publicados o sometidos a consideración en otras revistas o publicaciones técnico-científicas (excepto cuando hayan sido publicados como tesis de grado o como resumen en un congreso). Enviar simultáneamente un mismo artículo a consideración de dos o más revistas es una falta grave a la ética académica.
2. Los autores transfieren los derechos de publicación a la revista, tanto en su versión impresa como en línea, incluyendo esta última las diferentes bases de datos en las que se encuentre indexada la revista.

3. *La publicación del artículo debe haber sido aprobada por todos los coautores (si los hubiese) y por las autoridades responsables de la institución donde se llevó a cabo la investigación.*

4. *El documento debe cumplir a cabalidad con las instrucciones para autores establecidas por el comité editorial descritas en el presente documento. Los artículos que no se ajusten a estas pautas serán devueltos los autores sin haber sido considerados para evaluación.*

Los artículos que sean aceptados para evaluación serán enviados a un mínimo de dos pares académicos reconocidos para su evaluación. En caso de una decisión dividida por parte de los evaluadores, será el editor o el comité editorial en pleno quien determine la inclusión o el rechazo del documento. Si los artículos son aceptados para publicación, los autores deberán corregirlos de acuerdo con las observaciones de los pares y el comité editorial dentro del tiempo otorgado para ello. Las observaciones que no sean aceptadas por los autores deberán contar con un sustento apropiado que será evaluado por el editor correspondiente. El editor y el comité editorial se reservan el derecho de rechazar o aceptar los materiales enviados para su publicación.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

Autoría. Se considera autor a todo aquel que haya realizado una contribución directa y sustancial al contenido del manuscrito. Esta contribución debe incluir su participación en aspectos tales como la concepción del ensayo y del diseño experimental, la obtención de los datos crudos, el análisis de los datos y la interpretación de los resultados, la aplicación del modelo estadístico apropiado, la redacción del manuscrito y la investigación bibliográfica asociada. Cada autor deberá estar en capacidad de explicar su participación directa en la publicación y de sustentar el contenido de la misma ante el Comité Editorial en caso de ser requerido. La inclusión de autores honorarios (contribución autoral impropia) se considera un comportamiento no ético.

Sometimiento de manuscritos. Los documentos sometidos para evaluación y posible publicación no deberán ser presentados simultáneamente a otra revista (o revistas). Esto invalida su originalidad y compromete los derechos sobre su publicación.

Integridad de la investigación. La fabricación o falsificación de resultados a través de la manipulación de equipos, materiales o procesos de investigación, el cambio u omisión de

datos y resultados, el plagio (mención de los resultados propios o de otros sin hacer claridad de ello de acuerdo con las normas de citación bibliográfica) o la publicación fragmentada (someter fragmentos de una investigación en forma de artículos independientes), son comportamientos no éticos e inaceptables.

Conflicto de intereses. Los autores deberán declarar no tener relaciones de interés comercial o personal dentro del marco de la investigación que condujo a la producción del manuscrito sometido.

Reconocimientos. Se deben describir los tipos de apoyo recibido tales como financiación, patrocinios, becas o suministro de equipos, entre otros.

Evaluación de artículos. Los evaluadores solo aceptarán la revisión de aquellos manuscritos cuyo tema sea de su completo dominio. Se espera una opinión objetiva desde el punto de vista académico y científico, alejada de condicionamientos personales. Durante todo el proceso, el evaluador conservará la confidencialidad total del contenido del manuscrito y no deberá transferir la responsabilidad asignada a un tercero (coinvestigador, estudiante de posgrado u otros). Si durante el periodo de revisión el evaluador considera que tiene algún impedimento de tipo ético o conflicto de intereses deberá suspender la evaluación y así comunicarlo al Comité Editorial.

TIPOS DE CONTRIBUCIÓN

La revista acepta los siguientes tipos de contribuciones originales:

- **Artículo científico:** *artículo científico original que presenta los resultados de investigaciones que se rigen bajo el método científico. Típicamente consta de cuatro partes esenciales: introducción, metodología (materiales y métodos), resultados y discusión (presentados en secciones individuales o en una sola) y conclusiones.*
- **Reporte de caso:** *reporte de un caso clínico de relevancia, ya sea por ser el primero en su contexto específico o por sus características particulares que lo hacen de interés para la comunidad científica y por ende publicable.*
- **Artículo de revisión:** *revisión crítica de un tema específico desde una perspectiva analítica, interpretativa y crítica del autor, que recurre siempre a fuentes originales. Se recomienda solo para autores con experiencia investigativa demostrada en el tema. Idealmente una revisión debe presentar un resumen crítico de las investigaciones hasta*

ahora realizadas y proponer nuevos temas por investigar. **IMPORTANTE:** durante 2015 y 2016 no se recibirán artículos de revisión.

• **Ensayo científico:** reflexiones críticas de un autor que presenta su visión y juicio sobre un tema científico.

REMISIÓN DE MANUSCRITOS

Una vez el documento cumpla con la normativa de presentación aquí señalada podrá ser enviado en español, inglés o portugués, a los correos rev_fmzboq@unal.edu.co o revistafmvzun@gmail.com junto a los formatos de Información Personal (uno por autor) y de Autorización de Publicación, que deberá ser firmado por todos los autores. Los formatos podrán ser descargados en el siguiente enlace: http://bit.ly/formatos_revista

FORMATO

El texto del artículo debe enviarse en MS-Word®, sin incluir tablas o figuras, las cuales deben presentarse en archivos separados. Se recomienda que el texto no tenga más de 30.000 caracteres sin espacios o 20 páginas en tamaño carta numeradas consecutivamente en el lado inferior derecho, con márgenes de 2,5 cm por cada lado, con fuente Times New Roman, tamaño de 12 puntos a doble espacio, y cada línea del documento deberá estar enumerada consecutivamente (en MS-Word®: Diseño de página/Números de línea/Continua).

Las tablas y las figuras (fotografías, gráficos, dibujos, esquemas, diagramas de flujo, diagramas de frecuencia, etc.) deberán enumerarse consecutivamente en números arábigos, y además de enviarse insertadas en un archivo MS-Word® deberán incluirse los archivos originales (por ejemplo jpg o MS-Excel®), de acuerdo con el programa con el que hayan sido elaboradas. Todas las tablas y figuras deben haber sido citadas en el texto.

Título y autores

El título del artículo se debe presentar en español (o portugués) e inglés, en negrilla y centrado. Si incluye nombres científicos se deberá usar la nomenclatura indicada anteriormente (sistema binomial). Bajo el título se escriben los nombres y apellidos de los autores de la siguiente manera: iniciales de los nombres (con punto), seguidos del primer

apellido completo, sin títulos académicos ni cargos laborales y separando cada autor con una coma. El autor para correspondencia debe identificarse con un asterisco. Como pie de página debe indicarse la filiación institucional de cada autor incluyendo la dirección, ciudad y país, y la dirección de correo electrónico del autor para correspondencia.

Resumen y palabras clave

Los artículos deben incluir un resumen en español (o portugués) y uno en inglés, de no más de 250 palabras. El resumen debe registrar brevemente todas las partes del documento: los propósitos del estudio o investigación, materiales y métodos (selección de los sujetos del estudio o animales de laboratorio; métodos de observación y de análisis), resultados y discusión (consignando información específica o datos y su significancia estadística siempre que sea posible), y las conclusiones principales. Deberán destacarse las observaciones y aspectos más novedosos y relevantes del estudio.

Las palabras clave (máximo cuatro) son términos para indexación del artículo en las bases de datos y los buscadores de Internet. Estas deben identificar el contenido del artículo y se deben colocar después del resumen en su correspondiente idioma. Para seleccionar las palabras clave del documento, se sugiere consultar y usar los descriptores del tesoro agrícola multilingüe Agrovoc, creado por la FAO, el cual abarca terminología de la agricultura, silvicultura, pesca, medioambiente y temas afines (<http://aims.fao.org/website/Search/sub>) o los Descriptores en Ciencias de la Salud (<http://decs.bvs.br/E/homepagee.htm> y <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?db=mesh>). Estas herramientas permiten seleccionar las palabras clave adecuadas para que el artículo sea difundido de forma más efectiva en Internet.

Introducción

Debe presentar una breve revisión de los trabajos previos relacionados con el tema por investigar y finalizar con la justificación y los objetivos de la investigación. La introducción no incluirá datos o conclusiones del trabajo que se está publicando.

Materiales y métodos

En esta sección se deben describir de forma clara, concisa y secuencial, los materiales (animales, implementos de laboratorio) utilizados en desarrollo del trabajo, además de los procedimientos o protocolos seguidos y el diseño experimental escogido para el tratamiento estadístico de los datos. La información aquí consignada debe permitir a otros

investigadores reproducir el experimento en detalle. Este apartado puede tener subtítulos y no debe incluir ningún resultado ni discusión de los hallazgos.

Resultados

En esta sección se deben describir los resultados en orden lógico y de manera objetiva y secuencial, apoyándose en las tablas y figuras. Este apartado puede también incluir subtítulos y no debe discutir los datos presentados.

Discusión

La discusión debe ser una síntesis de la confrontación de los datos obtenidos en el estudio con respecto a la literatura científica relevante que además interprete las similitudes o los contrastes encontrados. Se enfocará hacia la interpretación de los hallazgos experimentales y no repetirá los datos presentados en la introducción ni la información suministrada en los resultados. Las secciones correspondientes a resultados y discusión pueden combinarse en una sola.

Conclusiones

En esta sección se relacionan los hallazgos más relevantes de la investigación, es decir, aquellos que constituyan un aporte significativo para el avance del campo temático explorado, además de considerar un direccionamiento sobre futuras investigaciones.

Agradecimientos

Si se considera necesario, se agradecen contribuciones importantes en cuanto a la concepción, financiación o realización de la investigación: financiadores, especialistas, firmas comerciales, entidades oficiales o privadas, asociaciones de profesionales y operarios de campo y laboratorio.

Tablas

- Se deben evitar las tablas demasiado grandes. Si se tienen muchos datos en una tabla, se recomienda dividirla en dos o más.
- Cada tabla debe tener un título corto y explicativo en la parte superior, sin abreviaturas.
- No deben emplearse líneas verticales para separar las columnas y, por tanto, debe existir suficiente espacio entre ellas.
- Cualquier explicación esencial para entender la tabla debe presentarse como una nota en la parte inferior de esta.
- Los encabezados de columna deben ser breves pero suficientemente explicativos.

- Cada tabla debe haber sido referenciada en el texto.

Figuras

- Las gráficas deben ser a una sola tinta con porcentajes de negro para las variaciones de las columnas, las líneas de las curvas deben ser de color negro, punteadas o continuas usando las siguientes convenciones: ▲, ■, ●, ◆, ◇, ○, □, △.

- En caso de fotografías o mapas (originales o escaneados) estos deben enviarse en archivos independientes, en formato tiff o jpg con un mínimo de 600 dpi de resolución y adicionalmente dentro de un archivo MS-Word® en el que se incluya su título (corto y explicativo) en la parte inferior.

- Al igual que las tablas, deben enumerarse con números arábigos en forma consecutiva, y debe hacerse referencia en el texto a cada una de las figuras presentadas.

Nomenclatura

- Las unidades deben expresarse de acuerdo con el Sistema Métrico Decimal (SI).

- Los autores aceptarán la normatividad colombiana, así como la trazada por el *International Code of Botanical Nomenclature*, el *International Code of Nomenclature of Bacteria*, y el *International Code of Zoological Nomenclature*.

- Toda la biota (cultivos, plantas, insectos, aves, mamíferos, peces, etc.) debe estar identificada en nomenclatura binomial (nombre científico), a excepción de los animales domésticos comunes.

- Todos los medicamentos, biocidas y demás sustancias de uso comercial deben presentar el nombre de su principio activo principal o nombre genérico.

- Para la nomenclatura química se usarán las convenciones determinadas por la *International Union of Pure and Applied Chemistry* así como por la *Commission on Biochemical Nomenclature*.

Referencias

La citación de referencias bibliográficas que sustentan frases dentro del texto se debe ceñir a las normas de estilo del Council of Science Editors (CSE) algunas de las cuales se muestran a continuación: dentro del texto se hará uso del sistema "autor(es) año" si se trata de uno o dos autores: (Jiménez 2009), (Pineda y Rodríguez 2010); si la publicación citada tiene tres o más autores, se cita el apellido del primer autor acompañado de la expresión latina *et al.* sin cursivas: (Bernard *et al.* 2003). Si se citan varias referencias seguidas, deberán organizarse en orden alfabético, separadas por punto y coma (;):

(Hänsel y Gretel 1990; Hergé *et al.* 1983). Si el autor o autores se citan directamente en el texto se utiliza la misma notación pero con el año entre paréntesis: Wagner (1982) encontró que el agua es vida, mientras que Vivaldi y Pergolesi (1988) afirman lo contrario; los investigadores Magendie *et al.* (1845) descubrieron que los perros tienen cuatro patas. Las referencias bibliográficas completas van al final del artículo en orden alfabético de autores; si en la lista de referencias se citan varias publicaciones del mismo autor o autores se listan en orden cronológico desde la más antigua hasta la más reciente.

Las contribuciones que no cumplan con las normas de estilo bibliográfico serán devueltas sin ser consideradas para evaluación.

Para mayor información acerca de las normas de referenciación del Council of Science Editors (CSE), sugerimos visitar la página: <http://www.scientificstyleandformat.org/Tools/SSF-Citation-Quick-Guide.html>

- **Libros**

Gilman AG, Rall TW, Nies AS, Taylor P. 1990. *The Pharmacological Basis of Therapeutics*. 8th ed. New York: Pergamon Press. 1811 p.

- **Capítulos de libro**

Diaz GJ. 2001. *Naturally occurring toxins relevant to poultry nutrition*. In: Leeson S, Summers JD editores. *Scott's Nutrition of the Chicken*. 4th ed. Guelph: University Books. p. 544-591.

- **E-Book**

Rollin, BE. 1998. *The unheeded cry: animal consciousness, animal pain, and science* [Internet]. Ames(IA): Iowa State University Press. [Citado 2008 agosto 9]. Disponible en: <http://www.netlibrary.com>.

- **Artículo de revista**

Hepworth PJ, Nefedov AV, Muchnik IB, Morgan KL. 2010. *Early warning for hock burn in broiler flocks*. *Avian Pathol.* 39:405-409.

Nota: se deben anotar las iniciales de todos nombres que tengan los autores. Los nombres

de las revistas se deben registrar en su forma abreviada; para consultar el nombre abreviado de las revistas sugerimos consultar el [ISI Journal Title Abbreviations](#).

- **Artículo de revista publicada en Internet**

Leng F, Amado L, McMacken R. 2004. Coupling DNA supercoiling to transcription in defined protein systems. *J Biol Chem [Internet]*. [citado 2007 July 24]; 279(46):47564-47571. Disponible en: <http://www.jbc.org/cgi/reprint/279/46/47564>

Otras fuentes de información

- **Memorias de eventos**

Cheeke PR. 2010. Agricultural and pharmaceutical applications of Chilean soapbark tree (*Quillaja saponaria*) saponins. In: *8th International Symposium on Poisonous Plants; 2009 mayo 4-8, João Pessoa, Paraíba, Brazil*, p. 38.

- **Tesis**

Murcia HW. 2010. Identificación funcional de citocromos involucrados en la biotransformación in vitro de aflatoxina B1 por medio de sustratos modelo e inhibidores específicos en cuatro especies de aves. [Tesis de maestría]. [Bogotá, Colombia] Universidad Nacional de Colombia.

NORMAS DE ESTILO

- Se debe redactar en voz activa (se evaluaron dos metodologías, y no: dos metodologías fueron evaluadas) y en forma impersonal, es decir, tercera persona del singular (se encontró, y no: encontré o encontramos).
- En cuanto a los tiempos verbales, el uso común es el pasado para la introducción, procedimientos y resultados, y el presente para la discusión.
- En general, se recomienda evitar el uso del gerundio. Recorra a esta forma verbal sólo para indicar dos acciones simultáneas; en los demás casos, redacte diferente la frase (reemplazar: un protocolo fue establecido, minimizando el efecto negativo..., por: se estableció un protocolo con el cual se minimizó el efecto negativo...).
- Las letras cursivas o itálicas se usan para los nombres científicos (sistema binomial) y palabras o expresiones en idioma extranjero.
- El significado de las siglas y abreviaturas debe explicarse cuando se mencionan por primera vez en el texto. Posteriormente, se debe usar solamente la sigla o abreviatura.

• Las siglas no tienen forma plural; este se indica en las palabras que la acompañan: las ONG, dos ELISA.

• Las abreviaturas del SI no deben ir con punto, en plural o en mayúscula: 1 kg, 25 g, 10 cm, 30 m, etc. Las abreviaturas más usadas en esta revista son las siguientes:

<i>km</i>						<i>kilómetro</i>
<i>m</i>						<i>metro</i>
<i>cm</i>						<i>centímetro</i>
<i>mm</i>						<i>milímetro</i>
μm						<i>micrómetro</i>
<i>nm</i>						<i>nanómetro</i>
<i>kg</i>						<i>kilogramo</i>
<i>g</i>						<i>gramo</i>
<i>mg</i>						<i>miligramo</i>
μg						<i>microgramo</i>
<i>ng</i>						<i>nanogramo</i>
<i>l</i>						<i>litro</i>
<i>ml</i>						<i>mililitro</i>
μl						<i>microlitro</i>
<i>m</i>						<i>mol</i>
<i>M</i>						<i>molar</i>
<i>mM</i>						<i>milimolar</i>
μM						<i>micromolar</i>
<i>N</i>						<i>normal</i>
<i>ppm</i>	<i>partes</i>	<i>por</i>	<i>millón</i>	<i>(1</i>	<i>x</i>	<i>10-6)</i>
<i>ppb</i>	<i>partes</i>	<i>por</i>	<i>billón</i>	<i>(1</i>	<i>x</i>	<i>10-9)</i>
<i>cpm</i>		<i>cuentas</i>		<i>por</i>		<i>minuto</i>
<i>dpm</i>		<i>desintegraciones</i>		<i>por</i>		<i>minuto</i>
<i>s</i>						<i>segundos</i>
<i>min</i>						<i>minutos</i>
<i>h</i>						<i>hora</i>
<i>sc</i>						<i>subcutáneo</i>

<i>im</i>	<i>intramuscular</i>
<i>ip</i>	<i>intrapertoneal</i>
<i>iv</i>	<i>intravenoso</i>
<i>po oral</i>	

• Entre el valor numérico y el símbolo debe ir un espacio: 35 g (no 35g), $p > 12$ (no $p > 12$); excepto para los signos: °C, %, +, - (estos dos últimos cuando indican positivo y negativo).

Ejemplos: 99%, +45, -37.

• En una serie de medidas, el símbolo va al final: hileras a 3, 6 y 9 m, o 14, 16 y 18%).

• La barra oblicua (/) es un signo lingüístico que en alguno de sus usos significa "por": tres perros/perrera, 4 tabletas/día, 2 l/matera, 10 frutos/rama. Uno de sus usos no lingüísticos es expresar los cocientes de magnitudes y unidades de medida: 80 km/h, 10 ml/min, 10°C/h.

• Uno de los usos no lingüísticos del punto (·) es indicar la multiplicación de dos cantidades, caso en que se coloca separado de éstas y a media altura: $6 \cdot 3 = 18$; $2 \cdot (x + y) = 30$.

• El punto (.) se usa para separar los miles y la coma (,) se usa para separar decimales.

• Las unidades que se basan en nombres se usan en minúsculas: un siemens (con algunas excepciones como cuando el símbolo se deriva de un nombre propio: °C, grados Celsius).

• Lista de comprobación para la preparación de envíos

Como parte del proceso de envío, los autores/as están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores/as aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

1. El envío no ha sido publicado previamente ni se ha enviado previamente a otra revista (o se ha proporcionado una explicación en Comentarios al / a la editor).
2. El archivo enviado está en formato Microsoft Word.
3. Se han añadido direcciones web para las referencias donde ha sido posible.
4. El texto tiene interlineado doble; el tamaño de fuente es 12 puntos; se usa cursiva en vez de subrayado (exceptuando las direcciones URL); y todas las ilustraciones, figuras y tablas están en archivos independientes, según el programa en que fueron creados.
5. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Normas para autores, que se pueden encontrar en la sección "Acerca de la revista".

6. Si esta enviando a una sección de la revista que se revisa por pares, tiene que asegurarse que las instrucciones en [Asegurando de una revisión a ciegas](#)) han sido seguidas.

- **Aviso de derechos de autor/a**

FORMATO AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN Por la cual los autores confieren a la dirección editorial de la Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia (ISSN 0120-2952) autorización para publicación de manuscritos inéditos y originales sometidos para su publicación, de acuerdo a los siguientes criterios: a) Somos los autores intelectuales del manuscrito, que éste es inédito, es decir, que no ha sido remitido, aceptado o publicado en otras revistas o publicaciones técnico-científicas impresas ni electrónicas y aceptamos que sea publicado en la Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia en caso de ser aprobado. b) El contenido total o parcial del manuscrito remitido no será sometido para su publicación en otra(s) revista(s) durante la duración de los procesos de evaluación por pares y edición de la Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. c) Todos los autores han leído la versión definitiva del artículo presentado y se hacen responsables por todos los conceptos e información de texto e imágenes allí contenidos ante la Universidad Nacional de Colombia y ante terceros. La dirección editorial de la Revista no se hace responsable por la veracidad y autenticidad de dicha información, ni será responsable de dirimir conflictos relacionados con la autoría del manuscrito. d) El artículo sometido a consideración del Comité Editorial de la Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia cumple las normas establecidas en la política de publicación y las instrucciones a los autores. En caso contrario el manuscrito será rechazado hasta no haber acogido la totalidad de la normativa de presentación de manuscritos. e) Los autores se dan por informados que el proceso de arbitraje y edición del artículo puede tomar varios meses y que su recepción no implica ni la aprobación ni la publicación del mismo. f) Una vez terminado el proceso de evaluación los autores se comprometen a atender y consolidar, estrictamente en los plazos de tiempo establecidos por el editor, todas las observaciones, correcciones o sugerencias hechas por los pares evaluadores del artículo y por el editor. Durante el proceso de corrección de estilo y edición, se verificará la consolidación de las observaciones de los evaluadores, razón por la cual,

en caso de encontrar que no han sido integradas al documento, éste no será publicado hasta que sus autores no las consoliden; sin embargo, en caso de que alguna(s) de las correcciones formuladas por los pares evaluadores no puedan ser adicionadas a la versión definitiva del artículo, los autores podrán sustentar sus razones al editor de la revista en el oficio de remisión del artículo definitivo. g) La totalidad de los autores aprueba la publicación del documento completo en sus versiones impresa y digital, lo que incluye las diferentes bases de datos en los que la Revista es y será incluida para promover su visibilidad. h) Los autores conocen que la autorización incluye la posibilidad para la Revista de comercializar la publicación a través de los canales tradicionales y de Internet, o cualquier otro medio conocido, y aceptan que la autorización de publicación se hace a título gratuito, por lo tanto renuncian a recibir remuneración alguna por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos en que la obra es publicada. i) La Revista se compromete a indicar siempre la autoría de sus contenidos incluyendo el nombre de los autores y la fecha de publicación. De igual forma, los autores se comprometen a citar los trabajos publicados en esta publicación de acuerdo con los estándares internacionales de citación, incluyendo el nombre completo o abreviado de la Revista (Rev. Med. Vet. Zoot.)

- **Declaración de privacidad**

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista como los procesos de indexación ante Publindex de Cociencias y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona. Toda la información estará a cargo del Coordinador Editorial.