

## Efecto de especies y manejo de abonos verdes de leguminosas en la producción y calidad de un cultivo forrajero utilizado en sistemas ganaderos del trópico seco

Castro, R.E.<sup>1</sup>@; Sierra, A.<sup>1</sup>; Mojica J.E.<sup>1</sup>; Carulla, J.E.<sup>2</sup> y Lascano, C.E.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Bogotá. Colombia.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Bogotá. Colombia.

<sup>3</sup>Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT. Cali. Colombia.

### PALABRAS CLAVE ADICIONALES

*Canavalia*.  
Incorporación.  
Maíz.  
Nitrógeno.  
Nitratos.  
Carbono.

### ADDITIONAL KEYWORDS

*Canavalia*.  
Incorporation.  
Corn. Nitrogen.  
Nitrates.  
Carbon.

### INFORMACIÓN

Cronología del artículo.  
Recibido/Received: 03.05.2016  
Aceptado/Accepted: 25.05.2016  
On-line: 15.01.2017  
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:  
[ecastro@corpoica.org.co](mailto:ecastro@corpoica.org.co)

### RESUMEN

El uso de cultivos forrajeros para corte y acarreo o para ensilar es una alternativa para reducir los efectos negativos de la época seca en la alimentación de animales en sistemas ganaderos doble propósito en el trópico seco. Por otra parte, el uso de abonos verdes de leguminosas es una alternativa al uso de nitrógeno (N) químico para la fertilización en cultivos forrajeros. Con el fin de utilizar las leguminosas como abonos verdes en una forma más eficiente en fincas ganaderas, es necesario seleccionar leguminosas productivas de crecimiento rápidos y adaptadas a sequía y evaluar manejos alternativos de rotación con cultivos forrajeros. En este estudio se evaluaron cuatro leguminosas (*Canavalia brasiliensis*, *Lablab purpureus*, *Clitoria ternatea* y *Vigna unguiculata*) dos niveles de nitrógeno (0 y 50 kg ha<sup>-1</sup>), y dos manejos (siembra del cultivo en el primer o en el cuarto mes después de la incorporación del abono) dispuestos en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Las leguminosas con más altos rendimientos ( $p < 0.05$ ) fueron *C. brasiliensis* y *L. purpureus* (5.201 y 5.538 kg MS ha<sup>-1</sup>). El mayor intervalo de tiempo entre la incorporación del abono verde y la siembra del cultivo forrajero, resultó en menores ( $p < 0.05$ ) niveles de NO<sub>3</sub> en el suelo (14,5-22,1 vs 22,7-41,9 mg kg<sup>-1</sup>), debido posiblemente a un proceso de lixiviación que resulta en contaminación de aguas subterráneas. Se concluye que *C. brasiliensis* y *L. purpureus* son una opción para ser usadas como abonos verdes en sistemas ganaderos en trópico seco y que las prácticas de manejo de estos abonos no afectaron la calidad y el rendimiento del cultivo forrajero de maíz usado en rotación y como indicador, pero que sí podrían tener efectos ambientales diferenciales.

### Effect of species and management of legumes used as green manures in the quality and yield of a forage crop used in livestock systems in the dry tropics

### SUMMARY

The use of forage crops as cut and carry or to ensile is an alternative to reduce the negative effects of the dry season in the nutrition of cattle in dual cattle systems in the dry tropics. On the other hand, the use of legumes as green manure is an alternative to the use of chemical nitrogen (N) for fertilizing forage crops. To use legumes as green manures in an efficient way in cattle farms, it is necessary to select fast-growing productive legumes adapted to drought and to define alternative rotation practices with forage crops. Four legumes (*Canavalia brasiliensis*, *Lablab purpureus*, *Vigna unguiculata*, and *Clitoria ternatea*) two nitrogen levels (0 and 50); and two management practices (crop planted in the first or fourth month after incorporation of the green manure) were imposed and arranged in a split plot design with three replications. The highest yields ( $p < 0.05$ ) were obtained with *C. brasiliensis* (5201 Kg DM ha<sup>-1</sup>) and *L. purpureus* (5538 kg DM ha<sup>-1</sup>). The longer (4 months) time interval between the incorporation of the green manure and the planting of the forage crop, resulted in lower ( $p < 0.05$ ) levels of soil NO<sub>3</sub> (14.5 to 22.1 mg kg<sup>-1</sup>) as compared to the one-month interval (22.7 to 41.9 mg kg<sup>-1</sup>) possibly due to the leaching that can result in the contamination of water sources. We conclude that *C. purpureus* and *L. brasiliensis* are legume options that can be used as green manure in dual purpose livestock systems in the dry tropics. The management of legume green manures evaluated did not affect the yield or quality of the maize forage crop used in rotation as an indicator, but could have differential environmental effects.

### 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 como ensilaje 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* (L), *Dolichos lablab* (L), *Canavalia ensiformis* (Mart. ex Benth), *Centrosema molle* (Mart. ex Benth), *Clitoria ternatea* (L), *Crotalaria juncea* (L), *Crotalaria ochroleuca* (L), *Desmanthus virgatus* (L), *Indigofera tinctoria* (Jaub. & Spach), *Lablab purpureus* (L), *Macroptilium atropurpureum* (DC), *Stylosanthes guianensis* (Aubl), *Teramnus uncinatus* (L) y *Vigna spp* (L), entre otras, con aportes de N ha<sup>-1</sup> que van desde los 60 hasta los 300 kg ha<sup>-1</sup> (Cherr *et al.*, 2006; Thurston, 1996). En Nicaragua con el uso de *Canavalia 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<sup>-1</sup> (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 *Vigna 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 la descomposición de materia orgánica (George *et al.*, 1998).

En Colombia existen experiencias con el uso de abonos verdes en suelos fértiles del Valle del Cauca, de baja fertilidad de los llanos y en los de moderada fertilidad del Caribe seco. Se han evaluado especies como *Cajanus cajan* y *Canavalia ensiformis*, las gramíneas (Pasto Estrella y Maíz) y una cucurbitácea (*Cucurbita moschata*). (Salamanca *et al.* 2006). En el piedemonte llanero se realizó la caracterización de un grupo de leguminosas con potencial para ser usadas como abono verde. *Crotalaria retusa*, *C. juncea* y *C. striata* tuvieron buen comportamiento en suelos de vega (inceptisol), donde aportaron entre 41 y 252 kg N ha<sup>-1</sup> (Corpoica 1999). En el Caribe seco se evaluó la incorporación de follaje de caranganito (*Senna atomaria*) y de estiércol caprino en pasturas de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), observando 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 (Barros y Rodríguez 2003). En los sistemas ganaderos en el trópico seco de Colombia con

sequía prolongada, el uso de leguminosas como abonos verdes en rotación con cultivos forrajeros es una alternativa que no se ha evaluado en forma rigurosa (Castro *et al.*, 2016). Por lo tanto, se plantea que para definir los efectos de abonos verdes en la producción de cultivos forrajeros es necesario seleccionar leguminosas productivas, adaptadas a sequía y de rápida degradación una vez se incorporen en el suelo.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de cuatro leguminosas utilizadas como abonos verdes, dos niveles de N y dos épocas siembra del cultivo forrajero después de la incorporación del abono verde en el rendimiento y calidad del maíz forrajero utilizado como cultivo indicador.

## 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 promedia anual de 1360 mm y enmarcado en la zona agroecológica Cj, correspondiente a Trópico Seco Colombiano (Corpoica 2002).

En la zona donde se realizó el experimento se presenta un régimen de lluvias bimodal, con una primera época seca breve que normalmente va del mes de julio a septiembre (dos meses) y una época seca larga que va del mes de noviembre- diciembre a marzo (tres a cuatro 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 (Grafico 1).

En el experimento realizado, se evaluaron dos tratamientos de manejo (M) de abonos verdes de cuatro leguminosas así:

M1: Parcela Principal (época de siembra/incorporación): Leguminosas usadas como abono verde sembradas al inicio de lluvias del primer semestre del año (15 de abril) e incorporadas al final de las lluvias (15 de junio) seguido por siembra del cultivo forrajero (maíz) al inicio de lluvias (15 de octubre) del segundo semestre y cosecha en (27 de diciembre). Subparcelas (leguminosas): 1. *Canavalia brasiliensis*, 2. *Vigna unguiculata*, 3. *Clitoria ternatea*, 4. *Lablab purpureus* 5. Testigo con aplicación de 50 kg N ha<sup>-1</sup> y 6. Testigo sin incorporación de leguminosa (vegetación espontánea nativa).

M2: Parcela Principal (época de siembra/incorporación): Leguminosas usadas como abono verde sembradas al final de las lluvias del primer semestre (15 de junio) del año e incorporadas al final de la sequía (15 de septiembre) seguido por siembra del cultivo forrajero (maíz) al inicio de lluvias (15 de octubre) del segundo semestre y cosecha (27 de diciembre). Subparcelas (leguminosas): 1. *C. brasiliensis*, 2. *V. unguiculata*, 3. *C. ternatea*, 4. *L. purpureus* 5. Testigo con aplicación de 50 kg N ha<sup>-1</sup> y 6. Testigo sin incorporación de leguminosa (vegetación espontánea nativa).

## PARCELAS EXPERIMENTALES

En cada época de siembra se definió la Parcela Principal de 608 m<sup>2</sup> (32 x 19 m) dentro de las cuales se incluyeron las Subparcelas de 20 m<sup>2</sup> (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 Sub parcela se sembraron seis surcos de cinco m de largo, usando un distanciamiento de 80 cm entre los surcos y cinco - siete plantas de maíz por metro lineal. Al final de sus ciclos de estudio se incorporaron las leguminosas. En las parcelas testigo se incorporó el material vegetativo que creció de forma espontánea.

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

El maíz que se usó como cultivo forrajero indicador recibió una fertilización basal (P: 20; K: 15; Mg: 7 kg ha<sup>-1</sup>) en el momento de la siembra y posterior a la germinación, 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<sup>-1</sup>) a la siembra y el resto de nutrientes (Ca, K, Mg, S) según los resultados de análisis de suelos.

## 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 m<sup>2</sup> según metodología descrita por Toledo y Shultze-Kraft (1982).

En la biomasa de leguminosa se analizó Nitrógeno (N) para calcular PC (N x 6.25), Fósforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Potasio (K) y Azufre (S) (AOAC, 2012; Fick *et al.*, 1976). El equivalente de (N) de las leguminosas (kg N ha<sup>-1</sup>) 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 leguminosa) \* (% 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, 2012), la Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) (Tilley y Terry, 1963) niveles de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991).

## 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 sub parcela la especie de leguminosa y los testigos, con tres 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). Dado que el análisis de varianza indicó la existencia de diferencias significativas (p<0,001) se procedió a conocer cuál de los pares de medias era diferente por medio de DMS (diferencia mínima significativa) en muestras de igual tamaño (SAS V 9.3).

**Tabla I.** Producción de biomasa y contenido de nitrógeno (N) en especies de leguminosas evaluadas como abono verde con dos manejos de siembra/incorporación (Biomass production and nitrogen content (N) in legume species assessed as green manure with planting/incorporation management).

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

<sup>1</sup> Para manejos 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). No leguminosa: material incorporado en las parcelas sin leguminosa, arvenses o gramíneas. Se tuvo en cuenta su contenido de nutrientes para el balance.

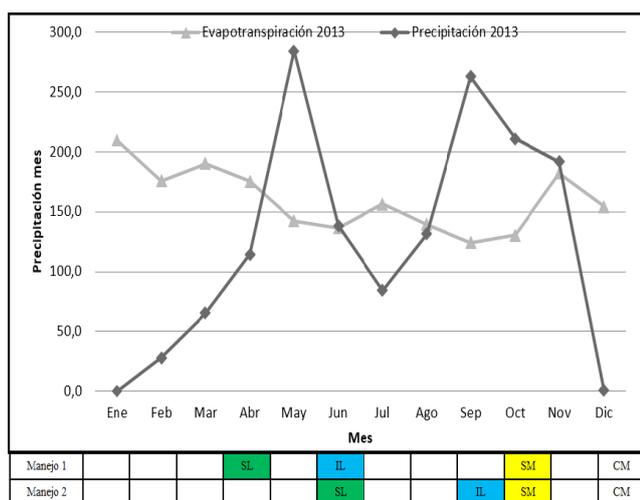


Figura 1. Curva de precipitación y evapotranspiración durante los momentos de manejo de incorporación de leguminosa y siembra de maíz. SL: siembra leguminosa; IL: incorporación leguminosa; SM: siembra maíz; CM: Cosecha maíz (Precipitation and evapotranspiration curve during times of handling and incorporation of legume seed corn. SL: planting legume; IL: legume incorporation; SM: planting corn; CM: Harvesting corn).

Tabla II. Concentración de minerales (%) en la parte aérea en las especies de leguminosas evaluadas como abonos verdes con dos manejos de siembra/incorporación (Mineral concentration (%) in the aerial part in legume species assessed as green manure handling with two planting/incorporation management).

| Tratamiento            | Ca                 | Mg                | S                 | K                 |
|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                        | (%)                |                   |                   |                   |
| Manejo                 |                    |                   |                   |                   |
| M 1                    | 1,24 <sup>b1</sup> | 0,31              | 0,59              | 2,22 <sup>b</sup> |
| M 2                    | 1,37 <sup>a</sup>  | 0,36              | 0,61              | 2,60 <sup>a</sup> |
| Promedio               | 1,31               | 0,34              | 0,60              | 2,41              |
| <b>Leguminosa</b>      |                    |                   |                   |                   |
| <i>C. brasiliensis</i> | 2,15 <sup>a</sup>  | 0,19 <sup>c</sup> | 0,54 <sup>b</sup> | 2,05              |
| <i>C. ternatea</i>     | 0,71 <sup>d</sup>  | 0,34 <sup>b</sup> | 0,75 <sup>a</sup> | 2,08              |
| <i>L. purpureus</i>    | 1,44 <sup>b</sup>  | 0,23 <sup>c</sup> | 0,56 <sup>b</sup> | 2,32              |
| <i>V. unguiculata</i>  | 1,48 <sup>b</sup>  | 0,35 <sup>b</sup> | 0,57 <sup>b</sup> | 2,08              |
| No leguminosa          | 1,02 <sup>c</sup>  | 0,46 <sup>a</sup> | 0,59 <sup>b</sup> | 3,50              |
| Promedio               | 1,36               | 0,31              | 0,60              | 2,41              |

<sup>1</sup>Para manejos 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). No leguminosa: material incorporado en las parcelas sin leguminosa, arvenses o gramíneas. Se tuvo en cuenta su contenido de nutrientes para el balance.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE LEGUMINOSAS Y SU APORTE DE NITRÓGENO

El rendimiento y aporte de N de las leguminosas evaluadas (tabla I), mostraron que no hubo efecto

( $p > 0,05$ ) del periodo de siembra abril (M1) o junio (M2) en el rendimiento de las leguminosas cosechadas/incorporadas a los 2 y 3 meses después de establecidas, lo cual no es consistente con las diferencias en precipitación entre M1 y M2, dado que la leguminosa en M1 se siembra y crece durante el periodo de lluvias de abril-mayo, mientras que en M2 la leguminosa se siembra y crece en el periodo más seco junio-julio (figura 1). 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*. El mayor ( $p < 0,5$ ) porcentaje de Nitrógeno (%N), se observó 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 especies 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 el presente estudio se encuentra dentro de los rangos obtenidos tanto para Centro América (3500-5500 kg ha<sup>-1</sup>), (Douxchamps, 2010; Douxchamps *et al.*, 2014), como para Colombia (2900-4200 kg ha<sup>-1</sup>) (Salamanca *et al.*, 2006).

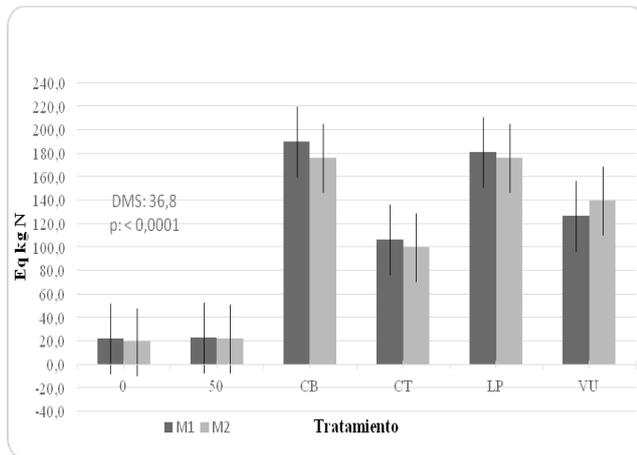
No se observaron diferencias ( $p > 0,05$ ) en el equivalente de N aportado por la leguminosa entre el M1 (108,2 kg N ha<sup>-1</sup>) y el M2 (105,4 kg N ha<sup>-1</sup>). El mayor equivalente de N se observó con *C. brasiliensis* y *L. purpureus* con el M1 (189,5 y 181,1 kg N ha<sup>-1</sup> respectivamente), y el menor con *C. ternatea* con el M2 (99,7 kg N ha<sup>-1</sup>) (Figura 2). Los valores de N equivalente aportado por *C. brasiliensis* y *L. purpureus* están dentro de los rangos reportados (150 - 200 kg ha<sup>-1</sup>) para *C. brasiliensis* en zonas secas de Nicaragua (Douxchamps, 2010).

### CONTENIDO DE MINERALES EN LAS LEGUMINOSAS

En la tabla II, se muestra que los minerales Ca y K fueron mayores ( $p < 0,05$ ) en las leguminosas cosechadas en el segundo periodo de siembra (M2 con valores de 1,37 y 2,60%, respectivamente), que los obtenidos en el primer periodo de siembra (M1 con valores 1,24 y 2,22%, respectivamente). No se encontraron diferencias ( $p > 0,05$ ) en el contenido de Mg y S asociados con los manejos de siembra/incorporación de las leguminosas. Para el contenido de los cuatro principales minerales en las leguminosas cosechadas entre periodos de siembra y cosecha (M1, M2), se observaron las mayores ( $p < 0,05$ ) concentraciones de Ca en las especies *C. brasiliensis*, *L. purpureus* y *V. unguiculata* (tabla II).

En el caso de P en promedio hubo una mayor concentración ( $p < 0,05$ ) en leguminosas con la práctica M2 (0,38%) que con el primer periodo de siembra M1 (0,31%) (figura 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 el periodo M2 (0,46 y 0,45% respectivamente) (figura 3).

La concentración de minerales en las leguminosas evaluadas como abonos verdes está dentro de los



**Figura 2.** Equivalentes de N (kg/ha) en las leguminosas incorporadas para cada tipo de manejo (Legume N equivalents (kg/ha) incorporated for each type of management). 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. 0: 0 N; 50: 50 kg N; CB: *C. brasiliensis*; CT: *C. ternatea*; LP: *L. purpureus*; VU: *V. unguiculata*

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).

**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 (M1, M2) de siembra/incorporación de abonos verdes (**figura 4**). La producción de biomasa de maíz con la incorporación de *C. brasiliensis* (equivalente a 189,5 kg N ha<sup>-1</sup>) con el M1 fue superior ( $p < 0,05$ ) en 48% con respecto al testigo 0 N, pero solo en 40% con respecto a ese mismo testigo con M1. Con los dos manejos de los abonos verdes evaluados la producción de biomasa de maíz fue más alta (20 - 30%) con el uso de leguminosas que con la dosis de N comúnmente usada en la zona (50 kg ha<sup>-1</sup>).

**CALIDAD NUTRICIONAL DEL FORRAJE DE MAÍZ EN ROTACIÓN CON ABONOS VERDES**

El contenido de proteína cruda (PC) en el forraje de maíz fue mayor ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos en comparación al testigo de 0 kg de N, donde se observó el mayor contenido de proteína en *L. purpureus* (9,13%) y *C. brasiliensis* (9,06%). No se observaron diferencias en PC asociados al manejo ( $p > 0,05$ ) (**tabla III**). 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<sup>-1</sup>) (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 en rotación, en este caso maíz (Cox *et al.*, 1993; Scharf *et al.*, 2002; Soto *et al.*, 2002).

En cuanto al contenido de fibra detergente neutro (FDN) no se observaron diferencias por el tipo de manejo (M1 y M2) ( $p > 0,05$ ). En las leguminosas se observaron los mayores contenidos en *C. brasiliensis* y *C. ternatea* (61,06 y 60,64% respectivamente). Para fibra en detergente ácido (FDA) se observó un promedio de 42,88% pero sin diferencias asociadas a época ni a leguminosas ( $p > 0,05$ ). Los niveles de 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, en dos estudios reportados en la literatura la FDN y FDA en forraje de maíz con edades de cosecha mayores a 85 días fue en promedio 73,8% 48,7% , respectivamente. (Elizondo y Boschini 2001; Cubero *et al.*, 2010;).

La DIVMS del forraje de maíz en este estudio varió entre 59,3 a 61,8%, pero sin diferencias ( $p > 0,05$ ) asociadas con los tratamientos evaluados de manejo y leguminosas ( $p > 0,05$ ). (**tabla III**). La digestibilidad observada estuvo dentro de los rangos reportados en otros estudios (Tobia y Villalobos, 2004). En otros estudios la digestibilidad del forraje de maíz (67%) fue más alta, debido posiblemente a que el forraje se cosecho antes de que el grano estuviese en estado lechoso (Jiménez *et ál.* 2005).

**NITRÓGENO Y CARBONO EN EL SUELO**

**Tabla III.** Calidad nutricional en forraje de maíz en función de fertilización con N e incorporación al suelo de leguminosas usadas como abono verde (Corn silage nutritional quality based on N fertilization and soil incorporation of legumes used as green manure).

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

<sup>1</sup>Para manejos 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). No leguminosa: material incorporado en las parcelas sin leguminosa, arvenses o gramíneas. Se tuvo en cuenta su contenido de nutrientes para el balance.

Los resultados del análisis para estas variables de presentan en la **tabla IV**. 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. Los niveles de  $\text{NO}_3$  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.

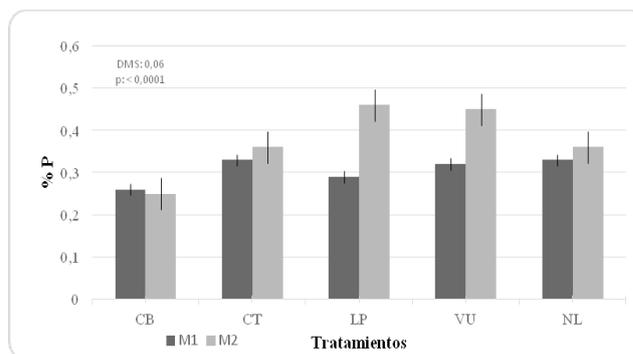
Fue evidente en este estudio que al transcurrir más tiempo (4 meses-M1) desde la incorporación de las leguminosas a la siembra del maíz hubo menores niveles de  $\text{NO}_3$  en el suelo que cuando solo transcurrió un mes desde la incorporación (M2), lo cual podría indicar que hubo pérdida de N como  $\text{NH}_4$  (volatilización) y como  $\text{NO}_3$  (lixiviación). De ser así, es una demostración de la importancia que tiene sincronizar el momento de la incorporación del abono verde y la siembra del maíz en rotación para un uso más eficiente del N por la planta y para prevenir pérdidas de N en la forma de  $\text{NO}_3$  por lixiviación u otras causas, además de coincidir con los ciclos de lluvias presentados en la zona (**figura 1**) (Cobo *et al.*, 2002; Mureithi *et al.*, 2003; Seneviratne 2000). Sin embargo, es de anotar que en este estudio los rangos de  $\text{NO}_3$  en el suelo (14,0 - 39,5 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) fueron inferiores a lo reportado como riesgoso para la contaminación de acuíferos ( $> 46 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Anken *et al.*, 2004; Rufino *et al.*, 2006).

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). Sin embargo, al momento de incorporación de las leguminosas (CI), se observó mayor ( $p < 0,05$ ) contenido de C orgánico en las parcelas de *V. unguiculata* con el M2 (1,0%), en comparación con lo observado con el testigo absoluto 0 kg de N 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%) (**figura 5**).

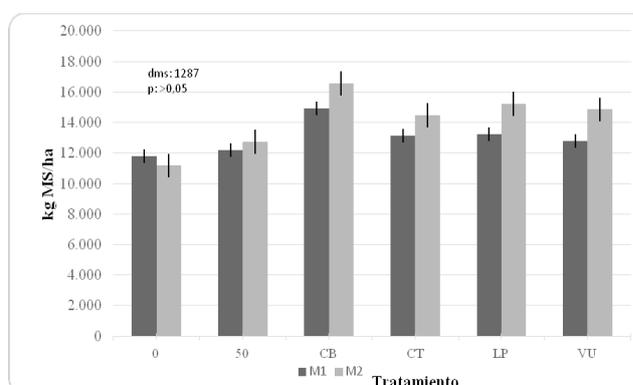
Si bien en este estudio se presentó un aumento de C orgánico en suelo asociado tanto a la especie de leguminosa usada como abono verde como al manejo de siembra/incorporación del abono, se debe tener en cuenta que, para lograr aumentos en el C del suelo, como materia orgánica, pueden pasar años (Seneviratne 2000). Por esta razón, los usos 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).

**CONSIDERACIONES SOBRE MANEJO DE ABONOS VERDES DERIVADAS DEL ESTUDIO**

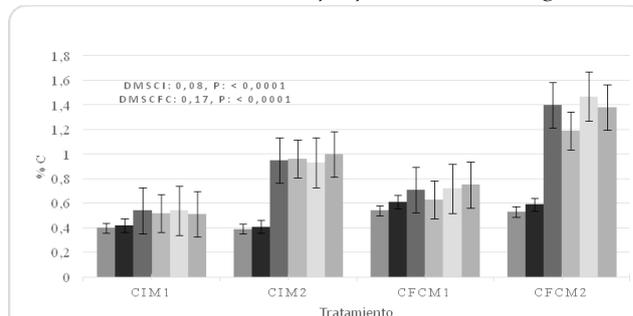
Los resultados de este estudio confirman que las especies de leguminosas *L. purpureus* y *C. brasiliensis* tienen rápido desarrollo después del establecimiento, alta producción de biomasa ( $> 4.000 \text{ kg MS ha}^{-1}$ ) y



**Figura 3.** Contenido de P en leguminosas al momento de la incorporación del abono verde (P content in legumes at the moment of the incorporation of green manure). 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*.



**Figura 4.** Producción de biomasa de maíz en rotación con leguminosas usadas como abono verde con diferentes manejos de siembra/incorporación (Corn biomass production in rotation with legumes used as green manure with different management sowing / incorporation). 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). 0 N; 50: 50 kg N; CB: *C. brasiliensis*; CT: *C. ternatea*; LP: *L. purpureus*; VU: *V. unguiculata*.



**Figura 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) (Organic carbon content (C) on the soil at the time of incorporation of the legume (CI) and the corn harvest (CFC)). 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*.

**Tabla IV.** Contenido de nitrógeno total (NT) y nitrato ( $\text{NO}_3$ ) en el suelo con diferentes manejos de siembra/incorporación de leguminosas usadas como abonos verdes (Total nitrogen content (NT) and nitrate ( $\text{NO}_3$ ) on the floor with different management sowing/incorporation of legumes used as green manure).

| Tratamiento            | NTI                 | NTFC | $\text{NO}_3\text{I}$ | $\text{NO}_3\text{FC}$ |
|------------------------|---------------------|------|-----------------------|------------------------|
|                        | %                   |      | $\text{mg kg}^{-1}$   |                        |
| <b>Manejos</b>         |                     |      |                       |                        |
| M 1                    | 0,11                | 0,06 | 14,57 <sup>b</sup>    | 22,1 <sup>b</sup>      |
| M 2                    | 0,16                | 0,10 | 27,22 <sup>a</sup>    | 41,97 <sup>a</sup>     |
| Promedio               | 0,14                | 0,08 | 20,90                 | 32,04                  |
| <b>Leguminosa</b>      |                     |      |                       |                        |
| 0 N                    | 0,10 <sup>c</sup>   | 0,07 | 17,69 <sup>c</sup>    | 26,69 <sup>bc</sup>    |
| 50 N                   | 0,12 <sup>bc</sup>  | 0,06 | 18,92 <sup>bc</sup>   | 22,68 <sup>c</sup>     |
| <i>C. brasiliensis</i> | 0,11 <sup>c</sup>   | 0,08 | 19,45 <sup>bc</sup>   | 39,57 <sup>a</sup>     |
| <i>C. ternatea</i>     | 0,16 <sup>a</sup>   | 0,09 | 22,13 <sup>b</sup>    | 30,16 <sup>abc</sup>   |
| <i>L. purpureus</i>    | 0,15 <sup>ab</sup>  | 0,09 | 20,52 <sup>bc</sup>   | 35,52 <sup>ab</sup>    |
| <i>V. unguiculata</i>  | 0,14 <sup>abc</sup> | 0,10 | 26,67 <sup>a</sup>    | 37,64 <sup>a</sup>     |
| Promedio               | 0,13                | 0,08 | 20,90                 | 32,04                  |

<sup>1</sup>Para manejos y leguminosas las medias seguidas por letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) según prueba de Tukey. Nitrógeno total inicial (NTI), Nitrógeno total al final del ciclo de maíz (NTFC), nitrato inicial ( $\text{NO}_3\text{I}$ ), nitrato al final del ciclo de maíz ( $\text{NO}_3\text{FC}$ ). 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). No leguminosa: material incorporado en las parcelas sin leguminosa, arvenses o gramíneas. Se tuvo en cuenta su contenido de nutrientes para el balance.

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. Además, fue evidente que estas dos 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  $\text{NH}_4$  (volatilización) y  $\text{NO}_3$  (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.*, (2016).

## CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio permiten sacar las siguientes conclusiones:

Que leguminosas anuales de rápido establecimiento, alta producción de biomasa y tolerancia a sequía (*L. purpureus* y *C. brasiliensis*) son una alternativa para ser usadas como abonos verdes en rotación con cultivos forrajeros en sistemas ganaderos del trópico seco. Su uso no afectó la calidad de un cultivo forrajero en rotación, pero si se aumentó (20-36 %) el rendimiento de maíz forrajero en comparación a cuando se fertilizo con 50 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ , que es el nivel de referencia en la siembra maíz para ensilar en la zona de estudio.

Que el rendimiento del cultivo forrajero en rotación con abonos de leguminosas como abonos verdes estuvo influenciado por la época de siembra/incorporación al suelo del abono verde. El rendimiento de maíz fue mayor con la siembra del abono verde al final de lluvias e incorporación al final de época seca.

Que el manejo de abonos verdes estuvo asociado con menores niveles de  $\text{NO}_3$  en el suelo cuando la siembra del cultivo forrajero se realizó después de 4 meses de incorporado el abono verde en el suelo en comparación a cuando solo estuvo 1 mes en el suelo, lo cual puede tener implicaciones ambientales debido a lixiviación y contaminación de aguas subterráneas con  $\text{NO}_3$ .

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan especial agradecimiento a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) por la financiación de este estudio, por la realización de los análisis y determinaciones de laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. 2012. Official Methods of analysis of the Association of Analytical Chemists, 19 th ed.
- Anken, T.; Atamp, P.; Richner, W. and Walther, U. 2004. Plant development, nitrogen dynamics and nitrate leaching from ploughed and direct-sown plots. *Schr Eidgen Forsc Agrar Land*, 63:101.
- Barros, H.J.A. y Rodriguez, F.G. 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.
- Binder, D.L.; Sander, D.H. and Walters, D.T. 2000. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency. *Agron J*, 92:1228-1236.
- Boschini, C. y Elizondo, J. 2004. Rendimiento de forraje de dos materiales genéticos de maíz sembrados a diferentes distancias de siembra. *Rev Agr Trop*, 34: 87-92.
- Carvalho, M.D.; Soratto, R.P.; Athayde, M.L.F.; Arf, O. e Sá, M.D. 2004. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema plantio direto e convencional. *Pesq Agropecu Bras*, 39: 47-53.
- Castro, R.E.; Sierra, A.A.M.; Mojica, R.J.E.; Carulla, F.J.E. y Lascano, A.C.E. 2016. Uso múltiple de leguminosas como abono verde, en rotación con maíz, y heno, para producción de leche. *Corpoica Cien Tec Agrop*, 17:17-29.
- Cobo, J.G.; Barrios, E.; Kass, D.C.L. and Thomas, R.J. 2002. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical volcanic-ash soil. *Plant Soil* 240: 331-342.

- Corpoica. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. 1999. Eds. Navas, R.G.E. y Bernal, R.J.H. Caracterización de leguminosas como abono verde para los sistemas de producción del piedemonte llanero y altillanura plana colombiana. *Boletín Técnico No 16*. Villavicencio, 1999.
- Corpoica. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. 2002. Atlas de los sistemas de producción bovina: Módulo Región Caribe. Plan de modernización tecnológica de la ganadería bovina colombiana. Autores: Pulido, J.; Romero, M.; Rivero, S.; Duarte, O.; Robledo, L.; Buelvas, S.; Zuleta, M.; García, H.; Becerra, A.; Rodríguez, G.; López, A.; Abuabara, Y.; Reza, S.; Gamero, G.; Prieto, E.; David, A.; Martínez, G.; Pérez, J.; Cuadrado, H.; Santana, M.; Romero, A.; Ruiz, R.; Mendoza, G.; Alvarado, L. y Roqueme, L. Bogotá D.C.
- Cox, W.J.; Kalonge, S.; Cherney, D.J.R. and Reid, W.S. 1993. Growth, yield and quality of forage maize under different nitrogen management practices. *Agron J*. 85:341-347.
- Cubero, J.F.; Rojas, A. y WingChing-Jones, R. 2010. Uso del inóculo microbiano elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo. *Agron Cost*: 34:2.
- Cherr, C.M.; Scholberg, J.M.S. and McSorley, R. 2006. Green Manure Approaches to Crop Production: A Synthesis. *Agron J*, 98:302-319.
- 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.
- Douxchamps, S.; Rao, I.M.; Peters, M.; Van der Hoek, R.; Schmidt, A.; Martens, S. and Oberson, A. 2014. Farm-scale tradeoffs between legume use as forage versus green manure: The case of *Canavalia brasiliensis*. *Agroec Sust Food Syst*, 38: 25-45.
- Elizondo, J. y Boschini, C. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agron Mesoam*, 12(2): 181-188
- Ellis, F. and Freeman, H.A. 2004. Rural livelihoods and poverty reduction strategies in four African counties. *J Dev Stud*, 40: 1-3
- Fick, K.R.; Miller, S.M.; Funk, J.D.; McDowell, L.R.; and Houser, R.H. 1976. Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. Gainesville, University of Florida, *Latin American Research Program*. 90 p.
- Franzluebbers, K.; Weaver, R.W.; Juo, A.S.R. and Franzluebbers, A.J. 1994. Carbon and nitrogen mineralization from cowpea plants part decomposing in moist and in repeatedly dried and wetted soil. *Soil Biol Biochem*, 26(10): 1379-1387.
- George, T.; Buresh, R.J.; Ladha, J.K. and Punzalan, G. 1998. Recycling in situ of legume-fixed and soil nitrogen in tropical lowland rice. *Agronom J*, 90(3): 429-437.
- Jara, F.A.; Bunch, R.; Valdivia, A.R.; Pitty, A.; Andrews, K.L. and 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)*. 38: 95.
- Jiménez, P.; Cortés, H. and Ortiz, S. 2005. Rendimiento forrajero y calidad del ensilaje de *Canavalia* en monocultivo y asociada con maíz. *Act Agron*. 54: 31-36. Universidad Nacional de Colombia ISSN: 0120-2812 Colombia.
- Keller, G.D.; Mndiga, H. and Maass, B.L. 2006. Diversity and genetic erosion of traditional vegetables in Tanzania from the farmer's point of view. *Plant Genet Resour*, 3:400-413.
- Lemaire, G.; Franzluebbers, A.; de Faccio Carvalho, P.C. and Dedieu, B. 2014. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agr Ecosyst Environ*, 190: 4-8.
- Martín, G.M. y Rivera, R. 2001. Mineralización del nitrógeno incorporado con los abonos verdes y su participación en la nutrición de cultivos de importancia económica. *Cult trop*, 22: 89-96.
- Maass, B.L.; Knox, M.R.; Venkatesha, S.C.; Tefera, T.A.; Ramme, S. and Pengelly, B.C. 2010. *Lablab purpureus*—A Crop Lost for Africa. *Trop Plant Biol*, 3:123-135.
- Mojica, R.J.E.; Castro, R.E.; Hortua, C.H.; Silva, Z.J.E. y 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.
- Muraoka, T.; Ambrosano, E.J.; Zapata, F.; Bortoletto, N.; Martins, A.L.M.; Trivelin, P.C.O.; Boaretto, A.E. y Scivittaro, W.B. 2002. Eficiencia de abonos verdes (*Crotalaria* y *Mucuna*) y urea, aplicados solos o juntamente como fuentes de N para el cultivo de arroz. *TERRA Latin*, 20: No 001.
- Mureithi, J.G. and Gachene, C.K.K.; Ojiem, J. 2003. The role of green manure legumes in smallholder farming systems in Kenya: the legume research network project. *Trop Subt Agroec*, 1:57-70.
- Nziguheba, G.; Merckx, R. and Palm, C.A. 2005. Carbon and nitrogen dynamics in phosphorus-deficient soil amended with organic residues and fertilizers in western Kenya. *Biol Fertil Soils*, 41: 240-248.
- Palm, C.A. y Sanchez, P.A. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol Biochem*, 23:83-88.
- Pauth, M.N.J.; Olivas, L.L.H. y Palma, M.A.M. 1997. Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de leguminosas nativas con potencial forrajero en Jalapa y Estelí, Nicaragua. *Rev Soc Bras Zoot (Brasil)*.
- Rufino, M.C.; Rowe, E.C.; Delve, R.J. and Giller, K.E. 2006. Nitrogen cycling efficiencies through resource-poor African croplivestock systems. *Agric Ecosyst Environ*, 112:261-282
- Salamanca, A.W.F.; Bonilla, C.C.R. y Sanchez, M.S. 2006. Evaluación de seis abonos verdes en un vertisol ústico en condiciones del Valle del Cauca. *Act Agron*, 53: 55-60.
- Scharf, P.C. and Wiebold, W.J.; Lory, J.A. 2002. Corn yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. *Agron J*, 94:435-441.
- Seneviratne, G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. *Biol a Ferti Soil*, 31: 60-64.
- Sinclair, T.R. and Muchow, R.C. 1995. Effect of nitrogen supply on maize yield. I. Modeling physiological responses. *Agron J*, 87:632-641.
- Soto, P.; Jahn, E. y Arredondo, S. 2002. Población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el valle central regado. *Agric Téc*. 62:255-265.
- Soto O.; Jahn B. y Arredondo, S. 2004. Mejoramiento del porcentaje de proteína en maíz para ensilaje con el aumento y parcialización de la fertilización nitrogenada. *Agric Téc*, 64: 156-162.
- Tobia, C. y Villalobos, E. 2004. Producción y valor nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. *Agron Cost*, 28:17-25
- Toledo, J.S.K. and Shultze-Kraft, Y.R. 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.
- Tilley, J.M. and Terry, R.A. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J British Grass Soc*, 28: 104-111.
- Tui, S.H.K.; Valbuena, D.; Masikati, P.; Descheemaeker, K.; Nyamangara, J.; Claessens, L. and Nkomboni, D. 2015. Economic trade-offs of biomass use in crop-livestock systems: Exploring more sustainable options in semi-arid Zimbabwe. *Agricul Syst*, 134: 48-60.
- Thurston, H.D. 1996. *Sustainable Practices for Plant Disease Management in Traditional Farming Systems*, Westview Press Inc, USA, 1996.
- Van Soest, P.J. van.; Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral fiber and no starch polysaccharides in relation to nutrition. *J Dairy Sci*, 74: 3583-3597.
- Vivas, M.E.F.; Rosado, R.J.G.; Castellanos, R.A.F.; Heredia, A.M. and Cabrera, -T.E.J. 2011. Contenido mineral de forrajes en predios de ovicultores del estado de Yucatán. *Rev mex cien pec*, 2: 465-475.