



Agronomía Mesoamericana
ISSN: 2215-3608
pccmca@gmail.com
Universidad de Costa Rica
Costa Rica

Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico¹

Castro-Rincon, Edwin; Mojica-Rodríguez, José Edwin; Carulla-Fornaguera, Juan Evangelista; Lascano-Aguilar, Carlos Eduardo

Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico¹

Agronomía Mesoamericana, vol. 29, núm. 3, 2018

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43756297016>

DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.31612>

Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Basada en una obra en <http://www.revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso>. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden encontrarse en pccmca@gmail.com.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico¹

Green legume fertilizers: integration in agricultural and livestock systems in the tropics

Edwin Castro-Rincon

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

(AGROSAVIA), Colombia

ecastro@AGROSAVIA.org.co

DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.31612>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43756297016>

José Edwin Mojica-Rodríguez

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

(AGROSAVIA), Colombia

jmojica@AGROSAVIA.org.co

Juan Evangelista Carulla-Fornaguera

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

jecarullaf@unal.edu.co

Carlos Eduardo Lascano-Aguilar

Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT),

Colombia

c.lascano@cgiar.org

Recepción: 06 Diciembre 2017

Aprobación: 16 Abril 2018

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 en la época seca es mediante el uso de cultivos anuales (maíz y sorgo) para ensilar. El objetivo de esta revisión bibliográfica fue compilar información sobre aspectos asociados a la tecnología de abonos verdes de leguminosas y cómo se podrían integrar a diferentes sistemas de producción agrícolas y pecuarios en zonas tropicales. Ya sea para la producción de cultivos, para alimentación animal o para uso como heno. 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. El uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos es limitado por altos costos, además tienen efectos adversos, como producción y lixiviación de nitratos que contaminan los mantos freáticos con efectos negativos en la salud humana y en la producción de óxido nitroso, que es un potente gas de efecto invernadero que tiene efectos negativos en el 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. Es necesario seleccionar leguminosas fijadoras de N con alta producción de biomasa y tolerancia a sequía, y demostrar que tienen efectos positivos en forma directa en la época seca.

PALABRAS CLAVE: nitrógeno, leguminosas forrajeras, materia orgánica del suelo, fertilidad de suelo.

ABSTRACT:

In dry areas dominated by dual purpose cattle systems, the production of milk decreases significantly in the dry season. An alternative to maintaining production in the dry season is through the use of annual crops (corn and sorghum) to silage. The

NOTAS DE AUTOR

ecastro@AGROSAVIA.org.co

objective of this literature review was to compile information on aspects associated with the technology of green legume fertilizers and how they could be integrated into different agricultural and livestock production systems in tropical zones. Whether for crop production, animal feed or for use as hay directly. The use of forage crops to be sustainable requires the application of N since it is one of the most limiting elements to produce forage biomass. The use of synthetic nitrogen fertilizers is limited by high costs, and they also have adverse effects, such as production and leaching of nitrates that contaminate groundwater with negative effects on human health and production of nitrous oxide, which is a potent greenhouse gas which has negative effects on global warming. An alternative to the use of chemical nitrogen is the use of N-fixing forage legumes as green fertilizers to supply the N required by forage crops, but the adoption of green manures in livestock systems is very low, possibly since the benefits obtained with their use are not reflected directly in milk production at critical times of the year, which is important for producers. It is necessary to select N-fixing legumes with high biomass production and drought tolerance and demonstrate that these legumes have positive effects directly in the dry season.

KEYWORDS: Nitrogen, feed legumes, soil organic matter, soil fertility.

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 (Mojica et al., 2013; Tui et al., 2015). 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. Pero el uso de fertilizantes sintéticos es limitado por los altos costos, representan del 10 al 20% del total de gastos de producción en finca (Pérez-Vélez, 2014). 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 el calentamiento global y la salud humana (Castro, 2016).

Como estrategia de suministro de N, surge el uso de leguminosas como abonos verdes en los cultivos forrajeros, tecnología ya documentada en diferentes escenarios, tanto para cultivos de maíz como de arroz (Burle et al., 1992; Biederbeck et al., 1998; 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 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 los cultivos para ensilajes (Ellis y Freeman, 2004; Lemaire et al., 2014).

La adopción de leguminosas como abonos verdes en sistemas ganaderos ha sido baja (Thomas y Sumberg, 1995; Elbasha et al., 1999; Pengelly et al., 2003; Peters y Lascano, 2003). 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, 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 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 (Ullrich et al., 1994; Holmann y Lascano, 2004; Schmidt et al., 2005; Valerio et al., 2006; Castro et al., 2016). 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 para ensilaje o en sistemas de corte y acarreo.

A partir de la hipótesis que leguminosas forrajeras adaptadas e introducidas en sistemas ganaderos doble propósito, mejoran los rendimientos de cultivos forrajeros para ensilar, así como 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 se cosecha para fabricar henos, se realizó la presente revisión, con el objetivo de compilar información sobre aspectos asociados a la tecnología de abonos verdes de leguminosas y cómo se podrían integrar a diferentes sistemas de producción agrícolas y pecuarios en zonas tropicales.

FUNCIONES DE LOS ABONOS VERDES

Los abonos verdes son especialmente útiles en sistemas donde hay bajo uso de insumos externos. Esta práctica consiste 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, ya que con 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 una opción de control no químico en el combate de malezas (Schmidt et al., 2005), pues compiten con plantas invasoras por luz, humedad y nutrientes, también pueden funcionar en el control de plagas como nematodos, por medio de interacciones físicas, bióticas o alelopáticas (McSorley, 2001; 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 conservar la humedad en el suelo (Douxchamps, 2010). Protegen el suelo de la alta precipitación y proporcionan canales por medio de sus raíces a las capas sub-superficiales, y se logran tasas más altas de infiltración (Folorunso et al., 1992; Holt-Giménez, 2002) y agregados más estables (McVay et al., 1989). Mejoras en la aireación del suelo han sido uno de los beneficios de la cobertura 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 beneficiosa 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).

Dada las múltiples ventajas de los abonos verdes se pensaría que es una tecnología fácil de disseminar si se logra demostrar sus beneficios y se da el apoyo necesario en semilla e información a los potenciales adoptadores. Sin embargo, son pocos los casos de adopción masiva de abonos verdes, como el de Mucuna spp. en sistemas de maíz en Honduras (Bunch y Kadar, 2004). En muchas regiones, particularmente en Centro América, la disseminación 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 disseminación de la tecnología de abonos verdes a través del movimiento “Campesino – Campesino” (Anderson et al., 1997).

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 (Peoples et al., 1995; Douxchamps et al., 2014). 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 de N, fueron presentados por Smith et al. (1987). 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 períodos secos prolongados. Otros ejemplos de leguminosas evaluadas son: *Dolichos lablab*, *Vicia faba* y *Phaseolus coccineus* (Thurston, 1992). También hay 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* y *Vigna unguiculata*) que han sido evaluadas como abono verde, con aportes de N/ha que van desde los 60 hasta los 300 kg (Cherr et al., 2006).

En Honduras existen otros ejemplos 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* y *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).

EFFECTO DE ABONOS VERDES EN FERTILIDAD DEL SUELO Y PRODUCCIÓN DE CULTIVOS

Abonos verdes y el ciclo del N en sistemas agrícolas

La fijación de nitrógeno, mineralización de materia orgánica, nitrificación, desnitrificación y la amonificación, son procesos muy importantes en el ciclo del nitrógeno en el suelo, donde se tienen unas entradas de N vía fijación biológica (FBN), fijación por tormentas, deposición de heces y fertilización química de síntesis (Hari y Kulmala, 2008; Smolander et al., 2012). En este proceso el N orgánico se mineraliza a NH_4^+ , 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, y el NO_3^- representa más del 95% del N tomado por las plantas, haciendo que el ciclo sea en cierta medida 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 (Smith et al., 2007; Schlesinger, 2009). 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 (Gathumbi et al., 2003; Bünemann et al., 2004). 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 (Vanlauwe et al., 1998; Martín y Rivera, 2001; Mulvaney et al., 2009). 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 (Oberson et al., 1999; Bünemann et al., 2004). 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 períodos 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., 2006; Turner et al., 2006). 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 (Millar et al., 2004; Chikowo et al., 2006).

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 del nutriente y la demanda del cultivo (Seneviratne, 2000; Cobo et al., 2002). Por otra parte, el N liberado de los residuos de plantas incorporados al suelo depende de una serie de factores, incluyendo la composición química y la concentración del N en el tejido vegetal, la temperatura y la 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 (Seneviratne, 2000; Palm et al., 2001).

La eficiencia de recuperación del N fijado por leguminosas usadas como abono verde puede variar 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 (Vaughan y Evans, 1998; Vyn et al., 1999; Griffin et al., 2000).

Con la incorporación de leguminosas como abonos verdes, el N en el suelo puede estar disponible hasta noventa días después de la incorporación, sobre todo si las leguminosas tienen taninos (*Erythrina lithosperma*, *Crotalaria juncea*, *Desmodium* sp.) (Barrios et al., 1996; Seneviratne, 2000). Estudios en el cultivo de maíz en Brasil, han reportado que entre el 85 y el 95% del N proveniente de abonos verdes de mucuna, canavalia y crotalaria en el suelo, el cual es absorbido por el cultivo en los primeros veintinueve días después de la germinación, indicando una rápida mineralización (García et al., 2001; Ramos et al., 2001; Chikowo et al., 2006). En otros estudios han reportado que, valores por encima de 46 mg/kg de NO₃ se consideran altos, implicando riesgo de lixiviación y contaminación de acuíferos (Anken et al., 2004).

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 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 (Myers et al., 1994; Seneviratne et al., 1999; Seneviratne, 2000; Martín y Rivera, 2002).

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 (Palm y Sanchez, 1991; Barrios et al., 1997; Sakala et al., 2000). Las leguminosas sin taninos que se descomponen rápidamente producen una gran cantidad de CO₂, y consecuentemente aportan poca MO (materia orgánica) al suelo, pero bastante nitrato (NO₃) que es la forma de N más asimilable para las plantas. Alternativamente, leguminosas con taninos que tienen baja relación C:N se descomponen lentamente, y dejan 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 (Palm y Sanchez, 1991; Oglesby y Fownes, 1992; Barrios et al., 1997; Seneviratne, 2000).

Un aumento en los niveles de humedad en el suelo puede resultar en aumento de la agregación y porosidad del suelo, y en mayor número de macroporos, lo cual conduce 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% (Thönnissen et al., 2000; Palm et al., 2001; Hartwig y Ammon, 2002).

EFFECTO 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 para canavalia y 127 para mucuna) cuando los residuos fueron totalmente incorporados al suelo (Pound, 1999).

En Brasil se realizaron ensayos en cultivos de arroz con 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 de N, al aportar un equivalente de 40 kg/ha 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 entre tratamientos en la producción de grano, 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% con respecto al 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; Camilo-de-Carvalho et al., 2004).

En el este de Uganda, Fischler y Wortmann (1999), utilizaron *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna pruriens*, *Dolichos lablab* y *C. ensiformis* como abonos verdes, y observaron rendimientos de grano de maíz y fríjol de un 50 a 60% más 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 reportaron incrementos en producción de maíz de 46-130% con el uso de *Crotalaria ochroleuca* (Kullaya et al., 1998). Los mayores rendimientos obtenidos en la producción de maíz (25%) con la inclusión de leguminosas como abono verde, se debieron al incremento de N en el suelo y la reducción de la pérdida por volatilización (Hudgens, 1996), estas también contribuyen a conservar la humedad del suelo, así reportado en regiones áridas de África (Gachene et al., 2000).

En Colombia existen experiencias con el uso de abonos verdes como las realizadas en suelos fértilles del Valle del Cauca, en 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 *Cynodon nlemfluencias* y *Zea mays*, y una cucurbitacea (*Cucurbita 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 9748 kg/ha, respectivamente), mientras que, *C. cajan* y *C. ensiformis* aportaron las mayores cantidades de nitrógeno (254 y 213 kg/ha). El maíz y el pasto estrella, por sus altos contenidos de lignina, se descompusieron más lentamente que las leguminosas (Salamanca et al., 2004).

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 (inceptisoles), donde aportaron entre 41 y 252 kg N/ha. En suelos de sabana (oxisoles) se destacaron *Canavalia ensiformis*, *Vigna unguiculata* y *Crotalaria spectabilis*, con aportes de nitrógeno entre 31 y 326 kg N/ha (Navas y Bernal, 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 nemfuensis*). 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).

En el departamento del Cesar, se evaluó la inclusión de abonos verdes de leguminosas como: *Canavalia brasiliensis*, *Canavalia ensiformis*, *Pueraria phaseoloides* y *Vigna unguiculata*. El aporte equivalente de N varió entre 35 y 151 kg/ha, siendo el mayor *Canavalia ensiformis* y el menor con *V. unguiculata* (Castro, 2016). 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) y dos manejos (siembra del cultivo en el primer o en el cuarto mes después de la incorporación del abono). Las leguminosas con más altos rendimientos fueron *C. brasiliensis* y *L. purpureus* (5201 y 5538 kg MS/ha). 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), debido posiblemente a un proceso de lixiviación que resulta en contaminación de aguas subterráneas (Castro et al., 2017). 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 el rendimiento (11 283 kg MS/ha) del cultivo forrajero en comparación con el control de no remoción (11 382 kg MS/ha) (Castro et al., 2016).

EFFECTO 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 (tMannetje, 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, dólidos (*Dolichos albus*), guandul (*Cajanus cajan*) y alacín (*Vigna unguiculata*), 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 en el mejoramiento del suelo. Una de las limitantes para que en América Latina 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 (*Mucuna pruriens*), por ejemplo, en lugares húmedos puede llegar a producir unos 2300 kg de semilla y hasta 25 t de follaje por hectárea (Buckles et al., 1993).

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. brasiliense*, *Desmodium ovalifolium* y *Stylosanthes guianensis*, donde en la mayoría de casos reportan incrementos de 1 a 1,5 l de leche al día y de 200 a 300 g más de ganancia de peso/día (Ullrich et al., 1994; Vera et al., 1996; Holmann y Lascano, 2004).

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. Los resultados indicaron que no existieron diferencias significativas en la producción de leche (14,5 vs 13,5 kg/

vaca/día) entre solo concentrado y concentrado + clitoria, pero al realizar un análisis económico se vio un efecto benéfico de la incorporación de la leguminosa en la alimentación (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, y se logró 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, 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%, respectivamente, 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 Brahman x Holstein. La mayor producción de leche se dio en el tratamiento de una dieta basada en harina de *Vigna* más 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, se evaluó el efecto en producción de leche de suplementar vacas Holstein x Cebú, con las leguminosas *Calliandra calothrysus* y *Vigna unguiculata*. Se observó que la suplementación con heno de *V. unguiculata* resultó en producciones de 5,3 kg/día de leche corregida por grasa (LCG) vs 3,6 kg con la leguminosa tanifera (*C. calothrysus*) (Bernal et al., 2008). 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.

En la región del Caribe seco colombiano, se evaluó el suministro de heno de leguminosas provenientes de lotes destinados a la producción de abonos verdes. En este caso, se observó que las vacas suplementadas con heno de *C. brasiliensis*, aumentaron en 17% su producción de leche con suplementación de 1,5% del PV/día. La calidad composicional de la leche no varió debido a los tratamientos de suplementación de heno de *C. brasiliensis* (Castro et al., 2016).

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 qué se pierde y qué 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.

ADOPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ABONOS VERDES

Cuando se revisa la información publicada sobre adopción de leguminosas tropicales alrededor del mundo, se concluye que luego de cincuenta años de investigación la adopción ha sido relativamente baja en los sistemas agropecuarios (Thomas y Sumberg, 1995; Elbasha et al., 1999; Pengelly et al., 2003; Peters y Lascano, 2003). En Latinoamérica y el Caribe entre 1980 y el 2000, de catorce cultivares de leguminosas que fueron liberados, como *Stylosanthes* spp., ninguno fue adoptado en forma masiva en proporción a la gran cantidad de literatura generada en veinte años de investigación (Miles y Lascano, 1997; Peters y Lascano, 2003). En Australia, de más de setenta 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.

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 (Omore et al., 1999).

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 desaprobada 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 al alto costo de la tecnología, precipitaciones variables y bajo interés de los productores tradicionales por innovar (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 el deficiente suministro de semilla, falta de crédito e inseguridad en tenencia de la tierra (Elbasha et al., 1999).

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 de sistemas de producción y distribución de semilla (Miles, 2001). Tal es el caso de limitaciones de semilla de *Stylosanthes* spp. y *Arachis pintoi* en Latinoamérica (Peters y Lascano, 2003), *Vigna unguiculata* (cowpea) en Nigeria (Kristjanson et al., 2005), *Aeschynomene americana* y *Desmodium heterocarpon* en Florida (Sollenberger y Kalmbacher, 2005).

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 favorecido el éxito de la 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 calothrysus* 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, Estados Unidos: 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 (Pigglin, 2003).

- Malasia: leguminosas como el kudzú (*Pueraria phaseoloides*) son utilizadas como cobertura en cultivos de caucho y palma de aceite (Pigglin, 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 (ayocote), Guatemala (piloy) y Honduras (chinapopo): se utiliza el frijol trepador escarlata (*Phaseolus coccineus*) como abono verde (Beltrán-Morales et al., 2005; Cherr et al., 2006; Beltran-Morales et al., 2009; 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; Valentim y Andrade, 2005; Lascano et al., 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 con 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).

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

La adopción de leguminosas en sistemas de producción ganaderos es limitada, a pesar de que en estudios realizados con productores el valor que le dan a las leguminosas indica que son apreciadas por diferentes factores (Akbar et al., 2000; Akinlade et al., 2005; Juma, 2005; Russelle et al., 2007; McCartney y Fraser, 2010; Miles y Brown, 2011). 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; Castro et al., 2016).

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 asintota) (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 (Castro, 2016; Castro et al., 2017).

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan agradecimiento a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), por la financiación del estudio para el cual se realizó la presente revisión.

LITERATURA CITADA

- Akbar, M.A., M.S. Islam, M.S.U. Bhuiya, M.R. Islam, and M.A. Hossain. 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. 13:526-528.
- Akinlade, J.A., J.W. Smith, A.M. Raji, A.A. Busari, I.O. Adekunle, and M.K. Adewumi. 2005. Effect of two cowpea (*Vigna unguiculata*) fodder cultivars as supplements on voluntary intake, milk yield and manure production of Bunaji cows. J. Agric. Rural Dev. Trop. Subtrop. 106:105-112.
- Amado, T.J.C., J. Mielniczuk, e C. Aita. 2002. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no rs e sc adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo 26:241-248. doi:10.1590/S0100-06832002000100025.
- Anderson, S., N. Férrreas, S. Gundel, B. Keane, y B. Pound. 1997. Cultivos de cobertura: componentes de sistemas integrados. En: FAO, editor, Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica" Taller Regional. FAO, ITA. p. 97-120.
- Andrade, R.P., C.T. Karia, and A.K. Ramos. 2004. Stylosanthes as a forage legume as its centre of diversity. High-yielding anthracnose-resistant *Stylosanthes* Agric. Syst. https://www.aciar.gov.au/file/68631/download?token=f_UTM6fq (accessed 3 May. 2017).
- Andren, O., E. Steen, and K. Rajkai. 1992. Modelling the effects of moisture on barley straw and root decomposition in the field. Soil Biol. Biochem. 24:727-736. doi:10.1016/0038-0717(92)90246-T
- Anken, T., P. Stamp, W. Richner, and U. Walther. 2004. Plant development, nitrogen dynamics and nitrate leaching from ploughed and direct-sown plots. Schriftenr. der Eidgenössischen 63:101.
- Barrios, E., R. Buresh, and F. Kwesiga. 1997. Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize. Soil Sci. Soc. 61:826-831. doi:10.2136/sssaj1997.03615995006100030016x
- Barrios, E., R. Buresh, and J. Sprent. 1996. Nitrogen mineralization in density fractions of soil organic matter from maize and legume cropping systems. Soil Biol. Biochem. 28:1459-1465. doi:10.1016/S0038-0717(96)00155-1
- Barros, H., y F. Rodríguez. 2003. Incorporación de abono verde y orgánico en pasto Estrella (*Cynodon nemfuensis*) asociado a Caranganito (*Senna atomaria*) en la baja Guajira. PRODUMEDIOS, Valledupar, Cesar, COL.
- Becker, M., J.K. Ladha, I.C. Simpson, and J.C.G. Ottow. 1994. Parameters affecting residue nitrogen mineralization in flooded soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:1666-1671. doi:10.2136/sssaj1994.03615995005800060013x

- Beltrán-Morales, F.A., J.L. Garcáa-Hernández, R.D. Valdez-Cepeda, B. Murillo-Amador, E. Troyo-Dieguez, J. Larrinaga-Mayoral, F.H. Ruiz-Espinoza, L. Fenech-Larios, y F. García-Rodríguez. 2005. Sistemas de labranza, incorporación de abono verde y recuperación de la fertilidad de un Yermosol háplico. *Terra Latinoam.* 23:381-387.
- Beltrán-Morales, F.A., J.L. Garcia-Hernandez, F.H. Ruiz-Espinoza, L. Fenech-Larios, B. Murillo-Amador, A. Palacios-Espinoza, and E. Troyo-Dieguez. 2009. Nutritional potential of red dolichos, brown dolichos and cowpea for green manure produced under three tillage Systems. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 10:487-495.
- Bernal, L., P. Ávila, G. Ramírez, y C. Lascano. 2008. Efecto de la suplementación con heno de *Calliandra calothrysus* y *Vigna unguiculata* sobre la producción de leche por vacas Holstein x Cebú en Colombia. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 16:109-114.
- Biederbeck, V.O., C.A. Campbell, V. Rasiah, R.P. Zentner, and G. Wen. 1998. Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manure. *Soil Biol. Biochem.* 30:1177-1185. doi:10.1016/S0038-0717(97)00150-8
- Buckles, D., I. Ponce, G. Sain, y G. Medina. 1993. Uso y difusión del frijol de abono (*Mucuna deeringianum*) en las laderas del Litoral Atlántico de Honduras. *Agron. Mesoam.* 4:15-29. doi:10.15517/am.v5i0.25043
- Bunch, R., y A. Kadar. 2004. La mucuna en los sistemas de agricultura de bajos insumos externos en Mesoamérica. *Leisa Rev. Agroecol.* 20(1):16-18.
- Bünemann, E.K., P.C. Smithson, B. Jama, E. Frossard, and A. Oberson. 2004. Maize productivity and nutrient dynamics in maize-fallow rotations in western Kenya. *Plant Soil* 264:195-208. doi:10.1023/B:PLSO.0000047749.43017.fd
- Burle, M., A. Suhet, J. Pereira, and D. Resck. 1992. Legume green manures dry-season survival and the effect on succeeding maize crops. *Soil Manag. CRSP Bull.* 15:92-4.
- Camilo-de-Carvalho, M., R. Soratto, M.L. Athayde, O. Arf, e M. Eustáquio de-Sá. 2004. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 39(1):47-53. doi:10.1590/S0100-204X2004000100007
- Canelones, C., y M. Castejon. 2006. Harinas de planta entera de frijol (*Vigna unguiculata*) y de mazorca de maíz (*Zea mays*) como suplemento para becerros antes del destete. *Zootec. Trop.* 24:361-378.
- Castro, R.E. 2016. Utilización de leguminosas forrajeras como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros y leche en ganaderías doble propósito en el trópico seco. Universidad Nacional de Colombia, COL. <http://www.bdigital.unal.edu.co/51526/> (consultado 9 jun. 2017).
- Castro, R.E., A.M. Sierra-Alarcón, J.E. Mojica, J. Carulla, y C.E. Lascano. 2016. Uso múltiple de leguminosas como abono verde, en rotación con maíz, y heno, para producción de leche. *Rev. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 17:17-29. doi:10.21930/rcta.vol17_num1_art:456
- Castro, R.E., A. Sierra-Alarcón, J.E. Mojica, J. Carulla, y C.E. Lascano. 2017. 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. *Arch. Zootec.* 66:99-106. doi:10.21071/az.v66i253.2131
- CIAT. 2008. CIAT Informe anual 2008. CIAT, Cali, COL.
- Cherr, C.M., J.M.S. Scholberg, and R. McSorley. 2006. Green manure approaches to crop production: A synthesis. *Agron. J.* 98:302-319. doi:10.2134/agronj2005.0035
- Chikowo, R., P. Mapfumo, P.A. Leffelaar, and K.E. Giller. 2006. Integrating legumes to improve N cycling on smallholder farms in sub-humid Zimbabwe: Resource quality, biophysical and environmental limitations. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 76:219-231. doi:10.1007/978-1-4020-5760-1_20
- Cintra, F.D., and A. Borges. 1988. Use of a legume and a mulch in banana production systems. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FR9006547> (accessed 3 May. 2017).
- Cobo, J.G., E. Barrios, D.C.L. Kass, and R.J. Thomas. 2002. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. *Plant Soil* 240:331-342. doi:10.1023/A:1015720324392
- Conway, M.J. 2005. Butterfly pea in Queensland: A tropical forage legume success story. In: F.P. O'Mara et al., editors, *Proceedings of XX International Grassland Conference: Offered papers*. Wageningen Academic Publishers, Dublin, IRL. p. 331

- Douthwaite, B., V.M. Manyong, J.D.H. Keatinge, and J. Chianu. 2002. The adoption of alley farming and Mucuna: Lessons for research, development and extension. *Agrofor. Syst.* 56:193-202. doi:10.1023/A:1021319028117
- Douxchamps, S. 2010. Integration of *Canavalia brasiliensis* into the Crop-livestock System of the Nicaraguan Hillsides: environmental adaptation and nitrogen dynamics. Diss. Dr. Sci., Institute of Plant Sciences, ETH Zurich, SUI.
- Douxchamps, S., I.M. Rao, M. Peters, R. Van-Der-Hoek, A. Schmidt, S. Martens, J. Polania, M. Mena, C.R. Binder, R. Schöll, M. Quintero, M. Kreuzer, E. Frossard, and A. Oberson. 2014. Farm-scale tradeoffs between legume use as forage versus green manure: The case of *Canavalia brasiliensis*. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 38:25-45. doi:10.1080/21683565.2013.828667
- Elbasha, E., P.K. Thornton, and G. Tarawali. 1999. An ex post economic impact assessment of planted forages in West Africa. ILRI, KEN.
- Ellis, F., and H.A. Freeman. 2004. Rural livelihoods and poverty reduction strategies in four african countries. *J. Dev. Stud.* 40:1-30. doi:10.1111/j.1746-1049.2006.00006.x/pdf
- Etchevers, J.D., M.A. Vergara, M.M. Acosta, C.M. Monreal, and L. Jiménez. 2005. Soil organic carbon, quality index, and soil fertility in hillside agriculture. In: B.A. Stewart, editor, Climate change and global food security. Routledge, and DSE Reserch, Boca Raton, FL, USA. p. 589-604. doi:10.9774/GLEAF.9781420028614_25
- Fernandes, C., B. Grof, S. Chakraborty, and J.R. Verzignassi. 2005. Estilosantes Campo Grande in Brazil: a tropical forage legume success story. In: F.P. O'Mara et al., editors, Proceedings of XX International Grassland Conference: Offered papers. Wageningen Academic Publishers, Dublin, IRL. p. 330.
- Fischler, M., and C.S. Wortmann. 1999. Green manures for maize-bean systems in eastern Uganda: Agronomic performance and farmers' perceptions. *Agrofor. Syst.* 47:123-138. doi:10.1023/A:1006234523163
- Folorunso, O., D. Rolston, P. Prichard, and D. Louie. 1992. Cover crops lower soil surface strength, may improve soil permeability. *Calif. Agr.* 46(6):26-27.
- Franzel, S., C. Wambugu, and P. Tuwei. 2003. The adoption and dissemination of fodder shrubs in central Kenya. *AgREN* 131:1-11.
- Fujisaka, S., F. Holmann, M. Peters, A. Schmidt, D. White, C. Burgos, M. Mena, M.I. Posas, H. Cruz, y C. Davis. 2005. Estrategias para minimizar la escasez de forrajes en zonas con sequías prolongadas en Honduras y Nicaragua Introducción. *Pasturas Trop.* 27(2):73-92.
- Gachene, C.K.K., J.G. Mureithi, F. Anyika, and M. Makau. 2000. Incorporation of green manure cover crops in maize based cropping system in semi -arid and sub-humid environments of Kenya. In: Kenya Agricultural Research Institute, editor, Proceedings of the 2nd scientific conference of the soil management and legume research network projects. Kenya Agricultural Research Institute, KEN. p. 145-151.
- Galloway, J.N., A.R. Townsend, J.W. Erisman, M. Bekunda, Z. Cai, J.R. Freney, L.A. Martinelli, S.P. Seitzinger, and M.A. Sutton. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science* 320:889-892. doi:10.1126/science.1136674
- García, M., E. Treto, y M. Álvarez. 2001. Comportamiento de diferentes especies de plantas para ser utilizadas como abonos verdes en las condiciones de Cuba. *Cultivos Trop.* 22(4):11-16.
- Gathumbi, S.M., G. Cadisch, R.J. Buresh, and K.E. Giller. 2003. Subsoil nitrogen capture in mixed legume stands as assessed by deep nitrogen-15 placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:573-582.
- Giller, K. 2001. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. 2nd ed. CABI, Wallingford, Oxon, GBR.
- Griffin, T., M. Liebman, and J. Jemison. 2000. Cover crops for sweet corn production in a short-season environment. *Agron. J.* 92:144-151. doi:10.2134/agronj2000.921144x
- Guodao, L., and S. Chakraborty. 2005. Stylo in China: a tropical forage legume success story. In: F.P. O'Mara et al., editors, Proceedings of XX International Grassland Conference: Offered papers. Wageningen Academic Publishers, Dublin, IRL. p. 322.
- Gupta, S.R., and J.S. Singh. 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. doi:10.1007/BF02183596

- Hari, P., and L. Kulmala. 2008. Boreal forest and climate change. Springer, Berlin, GER.
- Hartwig, N.L., and H.U. Ammon. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Sci.* 50:688-699. doi:10.1614/0043-1745(2002)050[0688:AIACCA]2.0.CO;2
- Heinrichs, R., G. Vitti, and A. Moreira. 2005. Soil chemical characteristics and green manure yield in a corn intercropped system. *Rev. Bras.* 29:71-79. doi:10.1590/S0100-06832005000100008
- Holmann, F., and C. Lascano. 2004. The need for forage technologies in the Alto Mayo Region of the Peruvian Amazon. In: F. Holmann, and C. Lascano, editores, Feeding systems with forage legumes to intensify dairy production in Latin America and the Caribbean feeding systems with forage legumes to intensify dairy production in Latin America. ILRI, Nairobi, KEN. p. 108-113.
- Holt-Giménez, E. 2002. Measuring farmers' agroecological resilience in Nicaragua after Hurricane Mitch: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agric. Ecosyst. Environ.* 93:87-105. doi:10.1016/S0167-8809(02)00006-3
- Hudgens, R.E. 1996. Sustainable soil fertility in Africa: The potential for legume green manures. In: S.S. Africa, editor, Proceedings of the 15th Conference of the Soil Science Society of East Africa: Soil technology for sustainable smallholder farming systems in East Africa. SSSEA, Nyayuki, KEN. p. 63-78.
- Juma, H.K. 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. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 6(1):1-7.
- Juma, H.K., S.A. Abdulrazak, R.W. Muinga, and M.K. Ambula. 2006. Evaluation of Clitoria, Gliricidia and Mucuna as nitrogen supplements to Napier grass basal diet in relation to the performance of lactating Jersey cows. *Livest. Sci.* 103:23-29. doi:10.1016/j.livsci.2005.12.006
- Kristjanson, P., I. Okike, S. Tarawali, B.B. Singh, and V.M. Manyong. 2005. Farmers' perceptions of benefits and factors affecting the adoption of improved dual-purpose cowpea in the dry savannas of Nigeria. *Agric. Econ.* 32:195-210. doi:10.1111/j.0169-5150.2005.00338.x
- Kullaya, I.K., M. Kilasara, and J.B. Aune. 1998. The potential of mareja (*Crotalaria ochroleuca*) as green manure in maize production in the Kilimanjaro region of Tanzania. *Soil Use Manag.* 14:117-118. doi:10.1111/j.1475-2743.1998.tb00627.x
- Lascano, C.E., M. Peters, and F. Holmann. 2005. Arachis pintoi in the humid tropics of Colombia: a forage legume success story. In: F.P. O'Mara et al., editors, Proceedings of XX International Grassland Conference: Offered papers. Wageningen Academic Publishers, Dublin, IRL. p. 327.
- Latif, M.A., G.R. Mehuy, A.F. MacKenzie, I. Alli, and M.A. Faris. 1992. Effect of legumes on soil physical quality in a maize crop. *Plant Soil* 140:15-23. doi:10.1007/BF00012802
- Lemaire, G., A. Franzluebbers, P.C.F. Carvalho, and B. Dedieu. 2014. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190:4-8. doi:10.1016/j.agee.2013.08.009
- Maasdorp, B.V., O. Jiri, and E. Temba. 2004. Contrasting adoption, management, productivity and utilisation of mucuna in two different smallholder farming systems in Zimbabwe. In: A.M. Whitbread, and B.C. Pengelly, editors, Tropical legumes for sustainable farming system in southern Africa and Australia. ACIAR, Toowoomba, AUS. p. 154-163.
- Martín, G.M., y R. Rivera. 2001. Mineralización del nitrógeno incorporado con los abonos verdes y su participación en la nutrición de cultivos de importancia económica. *Cultivos Trop.* 22(3):89-96.
- Martín, G.M., y R. Rivera. 2002. Participación del nitrógeno de los abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz (*Zea mays* L.) cultivados sobre suelos ferralítico rojo. *Cultivos Trop.* 23(3):91-96.
- McCartney, D., and J. Fraser. 2010. The potential role of annual forage legumes in Canada: A review. *Can. J. Plant Sci.* 90:403-420. doi:10.4141/CJPS07182
- McSorley, R. 2001. Multiple cropping systems for nematode management: A review. *Soil Crop Sci. Soc. Florida Proc.* 60:132-142.

- McVay, K.A., D.E. Radcliffe, and W.L. Hargrove. 1989. Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1856-1862.
- Miles, J.W. 2001. Achievements and perspectives in the breeding of tropical grasses and legumes. In: Brazilian Society of Animal Husbandry, editor, *Proceedings of the XIX International Grassland Congress*, Grassland ecosystems: an outlook into the 21st century. CIAT, Sao Paulo, BRA. p. 509-515.
- Miles, R.J., and J.R. Brown. 2011. The sanborn field experiment: Implications for long-term soil organic carbon levels. *Agron. J.* 103:268-278. doi:10.2134/agronj2010.0221s
- Miles, J.W., and C.E. Lascano. 1997. Status of Stylosantes development in other countries. I. Stylosanthes development an utilisation in South America. *Trop. Grassl.* 31:454-459.
- Millar, N., J.K. Ndula, G. Cadisch, and E.M. Baggs. 2004. Nitrous oxide emissions following incorporation of improved-fallow residues in the humid tropics. *Global Biogeochem. Cycles* 18(1):GB1032. doi:10.1029/2003GB002114
- Mojica, J., E. Castro, J. Silva, H. Hortua, y L. García. 2013. Producción y calidad composicional de la leche en función de la alimentación en ganaderías doble propósito del departamento del Cesar. CORPOICA, COL.
- Mosier, A.R., J.M. Duxbury, J.R. Freney, O. Heinemeyer, and K. Minami. 1996. Nitrous oxide emissions from agricultural fields: assessment, measurement and mitigation. *Progress in nitrogen cycling studies*. Springer Netherlands, Dordrecht, HOL.
- Mullen, B.F., H.M. Shelton, and S.A. Dalzell. 2005. Leucaena in northern Australia: A forage tree legume success story. In: F.P. O'Mara et al., editors, *Proceedings of XX International Grassland Conference: Offered papers*. Wageningen Academic Publishers, Dublin, IRL. p. 333.
- Mulvaney, R.L., S.A. Khan, and T.R. Ellsworth. 2009. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. *J. Environ. Qual.* 38:2295-2314. doi:10.2134/jeq2008.0527
- Muraoka, T., E. Ambrosano, F. Zapata, N. Bortoletto, A.L.M. Martins, P.C.O. Trivelin, A.E. Boaretto, y W.B. Scivittaro. 2002. Eficiencia de abonos verdes (crotalaria y mucuna) y urea, aplicados solos o juntamente, como fuentes de n para el cultivo de arroz. *Terra* 20(1):17-23.
- Mureithi, J.G., Gachene, C.K.K., and J. Ojiem. 2003. The role of green manure legumes in smallholder farming systems in Kenya: the legume research network project. *Trop. Subtrop. Ecosyst.* 1:57-70. doi:10.1.1.584.5326
- Myers, R., C. Palm, E. Cuevas, I. Gunatilleke, and M. Brossard. 1994. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In: P. Woomer, and M. Swift, editors, *The biological management of tropical soil fertility*. Wiley, Chichester, GBR. p. 81-116.
- Navas, G., y J. Bernal. 1999. Caracterización de leguminosas como abono verde para los sistemas de producción del Piedemonte Llanero y Altillanura Colombiana. *Boletín Técnico No 16*. CORPOICA, COL.
- Ndove, T., A. Whitbread, and R. Clark. 2004. Identifying the factors that contribute to the successful adoption of improved farming practices in the smallholder sector of Limpopo Province, South Africa. In: A. Whitbread, and B. Pengelly, editors, *Tropical legumes for sustainable farming systems in Southern Africa and Australia*. ACIAR, Toowoomba, AUS. p. 146-153.
- Neill, S.P., and D.R. Lee. 2001. Explaining the adoption and disadoption of sustainable agriculture: the case of cover crops in Northern Honduras explaining the adoption and disadoption of sustainable agriculture: the case of cover crops in Northern Honduras. *Source Econ. Dev. Cult. Chang.* 49:793-820. doi:10.1086/452525.
- Nziguheba, G., R. Merckx, and C.A. Palm. 2005. Carbon and nitrogen dynamics in a phosphorus-deficient soil amended with organic residues and fertilizers in western Kenya. *Biol. Fertil. Soils* 41:240-248. doi:10.1007/s00374-005-0832-0
- Oberson, A., E. Bünenmann, D. Friesen, I. Rao, P. Smithson, B. Turner, and E. Frossard. 2006. Improving phosphorus fertility in tropical soils through biological interventions. In: N. Uphoff et al., editors, *Biological approaches to sustainable soil systems*. CRC Press, USA. p. 531-546.
- Oberson, A., D.K. Friesen, H. Tiessen, C. Morel, and W. Stahel. 1999. Phosphorus status and cycling in native savanna and improved pastures on an acid low-P Colombian Oxisol. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 55:77-88. doi:10.1023/A:1009813008

- Oglesby, K.A., and J.H. Fownes. 1992. Effect of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees. *Plant Soil* 143:127-132. doi:10.1007/BF00009137
- Omore, A., H. Muriuki, M. Kenyanjui, M. Owango, and S. Staal. 1999. The Kenyan dairy sub-sector: a rapid appraisal - smallholder dairy (Research & Development) Project Report. CGIAR. <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/2054/Omore%20et%20al-1999-Kenya%20dairy%20sector%20rapid%20appraisal.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (consultado mayo 2017).
- Palm, C.A., C.N. Gachengo, R.J. Derve, G. Cadisch, and K.E. Giller. 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agro ecosystems: application of an organic resource database. *Agric. Ecosyst. Environ.* 83:27-42. doi:10.1016/S0167-8809(00)00267-X
- Palm, C.A., and P.A. Sanchez. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23:83-88. doi:10.1016/0038-0717(91)90166-H
- Pengelly, B.C., A. Whitbread, P. Mazaiwana, and N. Mukombe. 2003. Tropical forage research for the future - better use of research resources to deliver adoption and benefits to farmers. *Trop. Grassl.* 37:207-216.
- Peoples, M.B., D.F. Herridge, and J.K. Ladha. 1995. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant Soil* 174:3-28. doi:10.1007/BF00032239
- Pérez-Vélez, J.P. 2014. Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola. Tesis MSc. Universidad Nacional de Colombia, COL.
- Peters, M., and C.E. Lascano. 2003. Forage technology adoption: linking on-station research with participatory methods. *Trop. Grassl.* 37:197-203.
- Piggin, C. 2003. The role of Leucaena in swidden cropping and livestock production in Nusa Tenggara Timur province, Indonesia. In: H. da-Costa et al., editors, Agriculture: new directions for a new nation East Timor (Timor-Leste). ACIAR, INA. p. 115-129.
- Pound, B. 1999. Cultivos de cobertura para la agricultura sostenible en América Latina. En: M.D. Sánchez, y M. Rosales, editores, Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. FAO, Roma, ITA. p. 143-166.
- Ramesh, C., S. Chakraborty, and P. Pathak. 2005. Stylo in India—much more than a plant for the revegetation of wasteland. In: F.P. O'Mara et al., editors, Proceedings of XX International Grassland Conference: Offered papers. Wageningen Academic Publishers, Dublin, IRL. p. 213.
- Ramos, M.G., M.A. Villatoro, S. Urquiaga, B.J.R. Alves, and R.M. Boddey. 2001. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using ^{15}N -isotope techniques. *J. Biotechnol.* 91:105-115. doi:10.1016/S0168-1656(01)00335-2
- Russelle, M.P., M.H. Entz, and A.J. Franzluebbers. 2007. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. *Agron J.* 99:325-334. doi:10.2134/agronj2006.0139
- Sakala, W.D., G. Cadisch, and K.E. Giller. 2000. Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 32:679-688. doi:10.1016/S0038-0717(99)00204-7
- Salamanca, W.F., C.R. Bonilla, y M.S. Sánchez. 2004. Evaluación de seis abonos verdes en un vertisol ústico en condiciones del Valle del Cauca. *Acta Agron.* 53:55-60.
- Schlesinger, W.H. 2009. On the fate of anthropogenic nitrogen. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106:203-208. doi:10.1073/pnas.0810193105
- Schmidt, A., M. Peters, and L. Franco. 2005. *Canavalia brasiliensis*—a multipurpose legume for the sub-humid tropics. In: F.P. O'Mara et al., editors, XX international grassland congress: offered papers. Academic Publishers, Wageningen, GER. p. 382.
- Seneviratne, G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. *Biol. Fertil. Soils* 31:60-64. doi:10.1007/s0037400506
- Seneviratne, G., L. Van-Holm, L. Balachandra, and S.A. Kulasekera. 1999. Differential effects of soil properties on leaf nitrogen release. *Biol. Fertil. Soils* 28:238-243. doi:10.1007/s0037400504

- Shelton, H.M., S. Franzel, and M. Peters. 2005. Adoption of tropical legume technology around the world: analysis of success. *Trop. Grassl.* 39:198-209.
- Singh, M., A. Singh, S. Singh, R.S. Tripathi, A.K. Singh, and D.D. Patra. 2010. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) as a green manure to improve the productivity of a menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. *Ind. Crops Prod.* 31:289-293. doi:10.1016/j.indcrop.2009.11.004
- Smith, M.S., W. Frye, and J. Varco. 1987. Legume winter cover crops. In: B.A. Stewart, editor, *Advances in soil science*. Springer, USA. p. 95-139.
- Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. McAllister, G. Pan, V. Romanenkov, U. Schneider, and S. Towprayoon. 2007. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118:6-28. doi:10.1016/j.agee.2006.06.006
- Smolander, A., S. Kanerva, B. Adamczyk, and V. Kitunen. 2012. Nitrogen transformations in boreal forest soils —does composition of plant secondary compounds give any explanations? *Plant Soil* 350:1-26. doi:10.1007/s11104-011-0895-7
- Sollenberger, L.E., and R. Kalmbacher. 2005. Aeschynomene and carpon desmodium: legumes for bahiagrass pasture in Florida. *Trop. Grassl.* 39:227.
- Tarawali, S., I. Okike, and P. Kristjanson. 2005. Dual-purpose cowpea for west Africa. In: F.P. O'Mara et al., editors, *Proceedings of the XX International Grassland Congress*. University College Dublin, Dublin, IRL. p. 227.
- Thomas, D., and J.E. Sumberg. 1995. A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 54:151-163. doi:10.1016/0167-8809(95)00584-F
- Thönnissen, C., D.J. Midmore, J.K. Ladha, D.C. Olk, and U. Schmidhalter. 2000. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agron. J.* 92:253-260.
- Thurston, H.D. 1992. Sustainable practices for plant disease management in traditional farming systems. CABI, USA.
- tManetje, L. 1997. Harry Stobbs memorial lecture, 1994 - Potential and prospects of legume-based pastures in the tropics. *Trop. Grassl.* 31:81-94.
- Tui, S.H., D. Valbuena, P. Masikati, K. Descheemaeker, J. Nyamangara, L. Claessens, O. Erenstein, A. van-Rooyen, and D. Nkomboni. 2015. Economic trade-offs of biomass use in crop-livestock systems: Exploring more sustainable options in semi-arid Zimbabwe. *Agric. Syst.* 134:48-60. doi:10.1016/j.aggsy.2014.06.009
- Turner, B., E. Frossard, and A. Oberson. 2006. Enhancing phosphorus availability in low-fertility soils. In: N. Uphoff et al., editors, *Biological approaches to sustainable soil systems*. CRC Press, USA. p. 191-205.
- Turner, B., and P.M. Haygarth. 2001. Phosphorus solubilization in rewetted soils. *Nature* 411:258. doi:10.1038/35077146
- Ullrich, C., R. Vera, y J. Weniger. 1994. Producción de leche con vacas de doble propósito en pasturas solas y asociadas con leguminosas. *Pasturas Trop.* 16(3):27-30.
- Valentim, J.F., and C.M.S. Andrade. 2005. Tropical kudzu (*Pueraria phaseoloides*): successful adoption in sustainable cattle production systems in the Western Brazilian Amazon. *Trop. Grassl.* 39:221.
- Valerio, D., Y. Soto, F. Matos, y J. Falcón. 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.* 55:263-272. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2279786.pdf> (consultado 4 may. 2017).
- Vanlauwe, B., N. Sanginga, and R. Merckx. 1998. Soil organic matter dynamics after addition of Nitrogen-15-Labeled Leucaena and Dactyladenia residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:461.
- Vaughan, J.D., and G.K. Evanylo. 1998. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. *Agron. J.* 90:536-544. doi:10.2134/agronj1998.00021962009000040016x
- Vera, R., O. García, y R.B. Botero. 1996. Producción de leche y reproducción en sistemas de doble propósito: algunas implicaciones para el enfoque experimental. *Pasturas Trop.* 18(3):25-32.
- Villanueva, J.F., J.A. Bonilla, J.V. Rubio, J.d.J. Bustamante. 2004. Agrotecnia y utilización de *Clitoria ternatea* en sistemas de producción de carne y leche. *Téc. Pecu. Méx.* 42:79-96.

- Vyn, T.J., K.J. Janoviccek, M.H. Miller, and E.G. Beauchamp. 1999. Soil nitrate accumulation and corn response to preceding small-grain fertilization and cover crops. *Agron. J.* 91:17-24. doi:10.2134/agronj1999.00021962009100010004x
- Wilkins, R. 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363:517-525. doi:10.1098/rstb.2007.2167
- Williams, M.J., K.H. Quesenberry, G.M. Prine, and C.B. Olson. 2005. Rhizoma peanut— more than a “lucerne” for subtropical USA. In: F.P. O’Mara et al., editors, *Proceedings of XX International Grassland Conference: Offered papers*. Wageningen Academic Publishers, Dublin, IRL. p. 228-229.

NOTAS

- 1 Este trabajo formó parte del trabajo de tesis doctoral del primer autor: “Utilización de leguminosas forrajeras como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros y leche en ganaderías doble propósito en el trópico seco”, en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Financiado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Colombia.

ENLACE ALTERNATIVO

<http://www.revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso> (html)