

Análisis del balance energético de diferentes sistemas de manejo agroecológico del suelo, en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.)

Energy balance analysis of different agroecological management systems of the soil in the cultures of maize (*Zea mays* L.)

¹Oscar Eduardo Sanclemente Reyes, ²Carlos Omar Patiño Torres y ³Liliana Rocío Beltrán Acevedo

¹Ingeniero ambiental; magíster en ciencias agrarias; doctorante en agroecología. ²Ingeniero agrónomo; magíster en biotecnología; doctor en ciencias agropecuarias. ³Ingeniera ambiental; especialista en administración pública.

^{1,2} Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD); Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA). Palmira, Colombia.

³ Universidad Libre, Seccional Cali. Cali, Colombia.

¹oscar.sanclemente@unad.edu.co, ²carlos.patinog@unad.edu.co, ³lirbel67@hotmail.com

Resumen

En un suelo *Typic Haplustalfs* (USDA) del municipio de Palmira, Valle del Cauca (Colombia), se estableció el sistema de rotación frijol terciopelo *Mucuna pruriens* Var. Utilis-maíz *Zea mays* L., en diseño de bloques completos al azar, con siete tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos en la rotación fueron: T1 (sin *M. pruriens* y sin fertilizar); T2 (abono verde de *M. pruriens* sin fertilizar); T3 (acolchado orgánico de *M. pruriens* sin fertilizar); T4 (abono verde de *M. pruriens* más abono orgánico compostado); T5 (abono verde de *M. pruriens* más abono orgánico compostado, complementado con fertilizante de síntesis química); T6 (abono verde de *M. pruriens* más abono orgánico compostado, complementado con fertilizante de síntesis química); T7 (acolchado orgánico de *M. pruriens* más abono orgánico compostado, complementado con fertilizante de síntesis química). Se caracterizaron el balance energético y el aporte nutricional usando software Energía 3.01, a partir de las entradas energéticas en cada tratamiento. Se obtuvo la mayor eficiencia energética en el T2 con 114,1, la cual fue significativamente mayor ($p < 0,05$) que los demás tratamientos. El T5 donde se usó fertilización de síntesis química obtuvo un valor de 19,1, lo cual refleja altas entradas energéticas y baja productividad. Los mayores aportes nutricionales se obtuvieron en T3, T4, T6 y T7. Sin embargo, se destacan los tratamientos T3 y T4, en los que se usaron acolchado orgánico y abono verde de *M. pruriens* más compost, respectivamente, pues son tratamientos donde se hace un uso más eficiente de los recursos energéticos, por la utilización de insumos de fácil acceso para el productor; ello, a su vez, puede generar beneficios como alimentación para casi 50 personas.ha⁻¹. año⁻¹. Tales resultados sugieren esta asociación como

alternativa valiosa para uso en la agricultura familiar campesina.

Palabras clave: Rotación de cultivos, eficiencia energética, fijación de N₂, abono verde, acolchado orgánico.

Abstract

In a *Typic Haplustalfs* (USDA) soil of the municipality of Palmira – Valle (Colombia) the rotation system velvet bean *Mucuna pruriens* Var. Utilis – maize *Zea mays* L. was established in design of complete blocks at random with seven treatments and three repetitions. The treatments in the rotation were: T1 (Without *M. pruriens* and fertilizing), T2 (green manure of *M. pruriens* without fertilizing), T3 (mulching of *M. pruriens* without fertilizing) T4 (green manure of *M. pruriens* more compostado organic manure), T5 (green manure of *M. pruriens* more fertilizer of chemical synthesis), T6 (green manure of *M. pruriens* plus complemented compostado organic manure with fertilizer of chemical synthesis), T7 (mulching of *M. pruriens* plus complemented compostado organic manure with fertilizer of chemical synthesis). The energy balance was characterized and contributes nutritional using software Energy 3.01., from the entrances energetics in each treatment. The greater efficiency was obtained energetics in the T2 with 114.1 Mj.Mj-1 that was significantly greater ($p < 0.05$) to the other treatments. The T5 where fertilization of chemical synthesis was used obtained value of 19.1 Mj.Mj-1, reflecting high entrances energetics and low productivity. The majors contribute nutritional were obtained in T3, T4, T6 and T7. Nevertheless, the treatments T3 and T4 stand out respectively where it was used mulching and

green manure of *M. pruriens* more compost; since they are treatments where more efficient use becomes of the power resources by the use of consumptions readily accessible for the producer, being able to generate benefits like feeding for almost 50 persons.ha⁻¹.year⁻¹. These results suggest this valuable alternative association as for use in familiar agriculture farmer.

Key words: Rotation of crops, efficiency energetics, fixation of N₂, green manure, mulching.

Introducción

La necesidad de fomentar sistemas de manejo de cultivos que sean resilientes al cambio climático debe generar enfoques de manejo integral que contemplen aspectos sociales, económicos y ambientales (Altieri y Nicholls, 2008). En este contexto, la evaluación energética de dichos sistemas de manejo podría generar información valiosa relacionada con el balance de energía empleada y extraída en el proceso de producción.

El aprovechamiento de la radiación solar como fuente inagotable de energía, así como el de las interacciones simbióticas que se presentan en el suelo, son algunos servicios ecológicos que pueden ser utilizados a favor de los sistemas de cultivo, que sustentan, en la práctica, algunos enfoques sostenibles de manejo agrícola. La biomasa producida vía fotosíntesis puede ser aprovechada para la nutrición vegetal mediante procesos de mineralización una vez se incorporan o se adicionan los residuos verdes al suelo, los cuales pueden contener, además, cantidades significativas de macro y micronutrientes, como en el caso de los restos de leguminosas.

La incorporación/adición de residuos verdes es una práctica bastante utilizada en Colombia por agricultores de bajos recursos, quienes así logran reducir significativamente el uso de fertilizantes de síntesis química, tanto como mejorar los contenidos de materia orgánica del suelo. En algunos países de África, Asia y Centroamérica es muy común el uso de la leguminosa *Mucuna pruriens* como abono verde o cobertura vegetal en la producción de cultivos de cereales, lo que posibilita fijar el N₂ atmosférico, conservar la humedad del suelo en zonas donde el recurso hídrico es escaso, mejorar la estabilidad de agregados y reducir las pérdidas de suelo por erosión con la interceptación de las gotas de lluvia (CIDICCO 2003). Solo en Honduras, el 55% del maíz que es sembrado en el Litoral Atlántico por pequeños agricultores se siembra con asociación a *M. pruriens*, técnica que se ha perpetuado por tradición entre los agricultores, sin la intervención de asistencia técnica (Pool et al., 1998).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia energética del uso de *M. pruriens* como alternativa de manejo de la fertilidad del suelo en un cultivo de maíz (*Zea mays L.*) de zonas de ladera, con miras a evaluar y contribuir a la validación de esta tecnología bajo distintas condiciones agroecológicas; en particular, las de Colombia.

Métodos

Descripción del sitio y del suelo

El ensayo se realizó sobre la Cordillera Central, en zona rural del Municipio de Palmira (Valle del Cauca, Colombia) a 1350 m.s.n.m., 23°C de temperatura ambiental promedio y un 70% de humedad relativa del aire. El suelo, que permaneció en barbecho enriquecido por 8 años, corresponde, según IGAC y CVC (2004), a un *Typic Haplustalfs*.

Dentro de sus primeros 10 cm el suelo presentó textura franco arenosa (FA), con un porcentaje de arena del 61,6%; además, un 15,7% de arcilla y un 22,7% de limo, y predominio de agregados grandes (>5 mm), lo que supone una alta inestabilidad en superficie. Los resultados de los análisis químicos iniciales fueron los siguientes: pH (H₂O) 6,0; contenido de nitrógeno total 1,6 g.kg⁻¹; contenido de nitrógeno inorgánico (NO₃+NH₄) 35,0 mg.kg⁻¹; 3,5 ppm de contenido de P intercambiable; bases cambiables (cmol.kg⁻¹): Ca=26,1; K=0,3; Al=0,1 y Mg=23,3.

Diseño experimental

Se evaluaron 7 tratamientos utilizando un diseño de bloques completos al azar (BCAA) con 3 repeticiones. El tamaño de la parcela experimental fue de 20 m².

Los tratamientos evaluados fueron: T1 (sin *M. pruriens* y sin fertilizar); T2 (abono verde de *M. pruriens* sin fertilizar); T3 (acolchado orgánico de *M. pruriens* sin fertilizar); T4 (abono verde de *M. pruriens* más abono orgánico compostado); T5 (abono verde de *M. pruriens* más fertilizante de síntesis química); T6 (abono verde de *M. pruriens* más abono orgánico compostado, complementado con fertilizante de síntesis química); T7 (acolchado orgánico de *M. pruriens* más abono orgánico compostado, complementado con fertilizante de síntesis química).

El establecimiento del cultivo de *M. pruriens* en las correspondientes parcelas experimentales se realizó utilizando 70 kg.ha⁻¹ de semilla; posteriormente se incorporó in situ la biomasa vegetal como abono verde o como cobertura muerta, a los 80 días después de sembrado (d.d.s.). La incorporación del abono verde se realizó con machete, a una profundidad de 0-5 cm. El acolchado orgánico se obtuvo después de dejar sobre la superficie el material verde de *M. pruriens*, siguiendo la práctica del *mulching*.

La siembra del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) var ICA 305 se llevó a cabo a razón de 40000 plantas.ha⁻¹, después de 20 días de haber incorporado *M. pruriens* como abono verde o como acolchado orgánico. La fertilización adicional del cultivo se realizó en dos etapas: a los 10 d.d.s y a los 30 d.d.s., fraccionando las dosis en un 50% para cada aplicación. El abono orgánico utilizado fue compost tipo *bocachi*, en dosis de 5 t.ha⁻¹. El fertilizante de síntesis química utilizado fue NPK 10-30-10, aplicado en dosis de 250 kg.ha⁻¹. En los tratamientos T6 y T7 se utilizó una enmienda conformada por 2.5 t.ha⁻¹ de compost tipo

bocachi, complementada con 125 kg.ha⁻¹ del fertilizante de síntesis química NPK 10-30-10.

Evaluación de variables de respuesta

La cuantificación de la biomasa de *M. pruriens* usada en los tratamientos se efectuó mediante la técnica descrita por López *et al.*, (2011) usando un cuadrante de 0,25m² (0,5 m × 0,5 m), el cual fue lanzado al azar en las parcelas. A la biomasa extraída se le estimó su materia seca a 105°C por 24 horas, discriminando las fracciones correspondientes a raíces, tallos y hojas. La estimación del rendimiento de maíz en grano seco (14% de humedad)

se realizó mediante gravimetría en balanza analítica.

La evaluación energética de cada tratamiento, se realizó mediante el software Energía 3.01, diseñado para calcular el funcionamiento energético en agroecosistemas (Funes Monzote *et al.*, 2008). Los datos de entrada en el software fueron: trabajo humano (hr); semillas (kg); fertilizantes sintéticos (kg); minerales (kg); herbicidas (kg); insecticidas (kg), y producción (kg); todo ello, tal como se ilustra en la Tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos de trabajo humano e insumos para la producción de maíz en grano seco en cada tratamiento evaluado.

	Descripción	Unidad	Tratamientos						
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Trabajo humano	Siembra	hr	24	48	48	48	48	48	48
	Manejo manual de <i>Mucuna p.</i> y arvenses	hr	0	192	192	192	192	192	192
	Incorporación de abono verde	hr	0	80	0	80	80	80	0
	Aplicación de herbicidas	hr	12	0	24	0	0	0	24
	Aplicación de insecticidas	hr	8	4	4	4	4	4	4
	Aplicación de fertilizantes o de abonos	hr	0	0	0	12	12	24	24
	Cosecha	hr	24	24	24	24	24	24	24
	Subtotal de trabajo humano	hr	68	348	292	360	360	372	316
Insumos	Semillas	kg	20	134	134	134	134	134	134
	Fertilizantes nitrogenados	kg	0	0	0	0	50	25	25
	Fertilizante P ₂ O ₅	kg	0	0	0	0	150	75	75
	Fertilizante K ₂ O	kg	0	0	0	0	50	25	25
	Compost	kg	0	0	0	5000	0	2500	2500
	Herbicidas	kg	1,5	0	3	0	0	0	3
	Insecticidas	kg	3	1	1	1	1	1	1
	Producción de maíz en grano seco.ha ⁻¹	kg	4100	4800	6500	6500	5400	7000	6800

Fuente: Sanclemente (2009)

Las variables de salida incluidas en el software Energía 3.01 fueron: balance energético y aporte nutricional del maíz cosechado. El balance energético es una medida de la eficiencia en términos energéticos de la actividad; es, por ello, indicador ambiental de gasto. Para calcularlo se obtiene el coeficiente entre la cantidad total de energía en megajulios (Mj) producida en cosecha a partir del rendimiento de grano seco de maíz y la cantidad total de energía invertida en (Mj), en términos de trabajo humano e insumos (Ecuación 1).

[1]

$$\text{Balance Energético} = \frac{\text{Energía total producida en cosecha [Mj]}}{\text{Energía total invertida [Mj]}}$$

El aporte nutricional es calculado en términos de la cantidad de proteína y de energía extraídas del maíz cosechado, expresadas en personas.ha⁻¹ (Ecuaciones 2 y 3). Este valor es un indicador del aporte a la soberanía alimentaria del productor y su núcleo familiar, obtenido en cada tratamiento evaluado.

[2]

$$\text{Aporte protéico} = \frac{(\text{Rendimiento} * \% \text{ protéico maíz})}{\text{Requerimiento protéico anual / persona}}$$

[3]

$$\text{Aporte Energético} = \frac{(\text{Rendimiento} * \% \text{ Energético maíz})}{\text{Requerimiento Energético anual / persona}}$$

Los resultados obtenidos en las variables de respuesta se analizaron estadísticamente usando el programa SAS versión 9.0, y las medias se compararon a través de la prueba de Duncan ($P < 0,05$).

Resultados y discusión

Balance energético

La prueba de Duncan ($p < 0,05$) mostró que el T2 fue significativamente más eficiente, desde el punto de vista energético, que los demás tratamientos, como se muestra en la Figura 1, pues el valor del balance energético indica que, comparativamente, dicho tratamiento requiere la menor inversión de energía para producir una unidad de energía en forma de producto cosechado. Es claro que

no utilizar insumos de síntesis y la menor dependencia de mano de obra son factores explicativos importantes; además, el aporte de biomasa al suelo con el abono verde bien pudo favorecer el incremento de las tasas de mineralización y de liberación de nutrientes en el sistema; sobre todo, en la transformación del N_2 fijado que posteriormente es adicionado al suelo (Baijukya *et al.*, 2004; Diels, 2005; Shoko, 2009).

El T5, en el cual se adicionó fertilización de síntesis química al abono verde, obtuvo los menores valores de balance energético, y, por tanto, altos costos ambientales. Los resultados se corresponden con lo esperado, debido a la gran cantidad de energía requerida en la producción de los fertilizantes sintéticos utilizados.

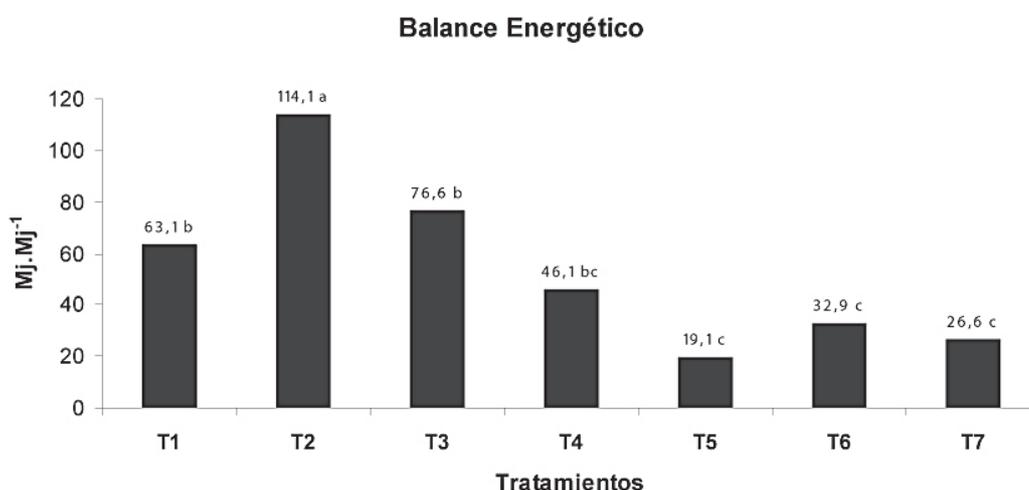


Figura 1. Balance energético de la producción de maíz en los siete tratamientos del ensayo. Datos de salida de Software Energía 3.0.1. Letras iguales indican tratamientos estadísticamente iguales, según la prueba de Duncan ($p < 0,05$).

El uso de compost para el manejo de la fertilidad del suelo en el T4 obtuvo un nivel intermedio de eficiencia energética, con 46,1. Los tratamientos T6 y T7, donde se adicionó un complemento de fertilización órgano sintético al abono verde y acolchado orgánico respectivamente, obtuvieron valores de eficiencia energética significativamente bajos, debido a que el incremento en los rendimientos finales no suplieron los aportes energéticos adicionados con los abonos; sobre todo, los de síntesis química.

Aporte nutricional de grano seco de maíz

El análisis del aporte nutricional del cultivo de maíz en personas.ha⁻¹.año⁻¹ es indicador del grado de seguridad alimentaria y económica que el productor y su familia pueden obtener con la actividad. La Figura 2 muestra que el T6, donde se usó compost más fertilizante de síntesis en el abono verde, obtuvo el mayor valor de aporte nutricional, con 50,8 personas.ha⁻¹.año⁻¹; sin embargo, no

se diferenció de manera significativa de los tratamientos T3, T4 y T7. Por consiguiente, los tratamientos T3 y T4, donde se usó *M. pruriens* como acolchado y abono verde más compost, respectivamente, se proyectan como las mejores opciones para pequeños productores, pues permiten menor uso de insumos externos y maximizan beneficios productivos.

Los valores obtenidos en el T1 muestran que el uso de prácticas convencionales del manejo del barbecho en la región de estudio, no genera muchos beneficios en cuanto a rendimiento y retribución al productor: por el contrario, puede ser desfavorable, al no incluir prácticas de conservación del suelo que puedan aportar a la sustentabilidad de la finca (Rivera, 2005; Sanclemente y Prager, 2009). Para los pequeños productores es muy importante el cultivo de maíz, por su polifuncionalidad, pues permite el suministro de proteínas y de energía de consumo directo; además, es fuente de producción de

proteína animal a través de la nutrición de cerdos y aves. Los rendimientos en maíz obtenidos en el presente ensayo se consideran altos para la zona agroecológica trabajada,

bajo condiciones de suelos alfisoles con pendiente pronunciada.

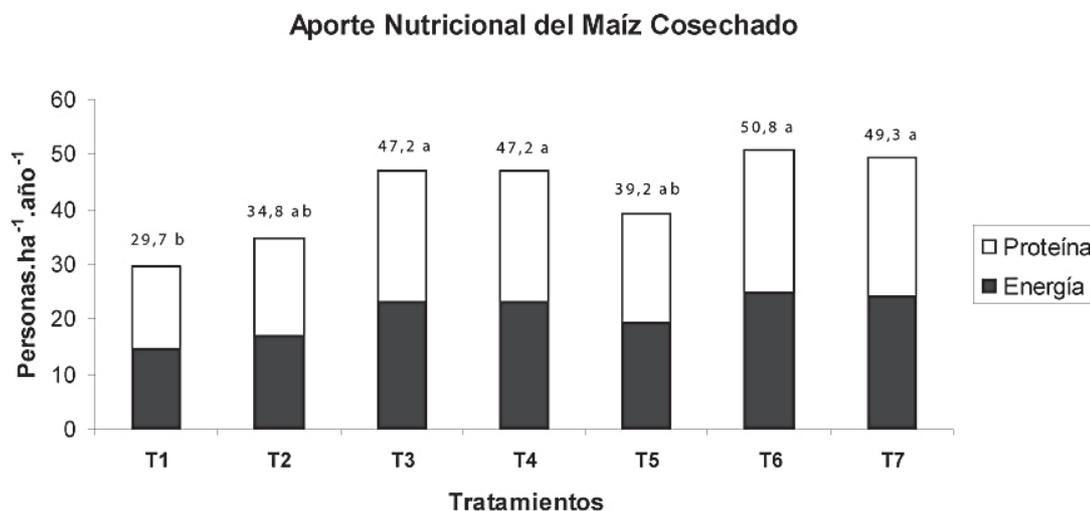


Figura 2. Aporte nutricional del maíz en términos proteicos y energéticos, en los siete tratamientos del ensayo. Datos de salida de Software Energía 3.0.1. Letras iguales indican tratamientos con medias estadísticamente iguales, según la prueba de Duncan ($p < 0,05$).

Conclusiones

El uso de tecnologías alternativas para manejar la fertilidad del suelo, como abonos verdes y acolchados orgánicos, se constituyen en herramientas valiosas a favor de los pequeños productores, pues con ellas se puede hacer un uso eficiente de los recursos energéticos; sobre todo, los derivados de la biomasa verde, y, al mismo tiempo, mejoran algunas propiedades del suelo y se lo protege de la erosión.

Para el caso del ensayo, se observó que el tratamiento T2, donde se usó el abono verde de *M. pruriens* en rotación con maíz, obtuvo los mayores valores de balance energético en la producción del cereal, y ello guarda relación con una mayor eficiencia en el aprovechamiento de entradas energéticas.

El mayor aporte nutricional de la cosecha de maíz, en términos de energía y proteínas, se obtuvo en los tratamientos T3, T4, T6 y T7. Sin embargo, también se destacan los tratamientos T3 y T4, donde se usó acolchado orgánico y abono verde de *M. pruriens* más compost, respectivamente: son los tratamientos donde se hizo un uso más eficiente de los recursos energéticos, por la utilización de insumos de fácil acceso para el productor. De esta forma, una hectárea de producción de maíz bajo tales prácticas de manejo puede generar anualmente alimento

hasta para 50 personas, lo que refleja beneficios para la familia del productor, al igual que para su economía, con la comercialización de los excedentes obtenidos.

Literatura citada

1. Altieri M.A. y Nicholls C.I. 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. Publicado en la Revista Agroecología, Murcia- España No. 3: 7-28.
2. Bajjukya F., De Ridder N., and Giller K. 2004. Nitrogen release from decomposing residues of leguminous cover crops and their effect on maize yield on depleted soils of Bukoba District, Tanzania. In Journal Plant and soil. No. 279: 77-93.
3. Centro internacional de información sobre cultivos de cobertura. CIDICCO. 2003. Catálogo de Abonos verdes / cultivos de cobertura (CCAV), empleados por pequeños productores de los trópicos. Honduras, p. 7.
4. Diels J., Dercon G., Pypers P., Van Loon L., Merckx R., Aihou K., Vanlauwe B. 2005. Improving sustainable intensification of cereal-grain legume cropping systems in the savannahs of West Africa: quantifying residual effects of legumes on maize, enhancing p mobilization by legumes and studying long-term soil organic matter

(SOM) dynamics. In Management Practices for Improving Sustainable Crop Production in Tropical Acid Soils. International Atomic Energy Agency. Pp. 65 – 82.

5. Funes Monzote, F., Castro J., Rodríguez N., Goncalves A. 2008. Especificaciones técnicas del Software Energía 3.0.1. Manual de usuario. 32p.

6. Instituto geográfico Agustín Codazzi IGAC y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC. 2004. Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Valle del Cauca 2004, Cali 590 p.

7. Lal R. and Stewart B.A. 1995. Soil Management Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality. CRC Press, Inc. United State of America. 555 p.

8. López I., Fontenot J. y García Peniche T. 2011. Comparaciones entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de Festuca alta. Artículo publicado en la Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, México No. 2(2): 209- 220.

9. Pool L., León N., González C., Figueroa O. 1998. Frijol terciopelo, cultivo de cobertura en la Agricultura Chol del Valle de Tulijá, Chiapas, México. Artículo publicado en la Revista Terra Latinoamericana, México Vol. 16 No (4): 359-369.

10. Rivera J.H. 2005. Prevención y control de erosión severa para zonas de ladera tropicales. Centro para la

investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria (CIPAV). Colombia, 65 p.

11. Sanclemente O. 2009. Efecto del cultivo de cobertura: *Mucuna pruriens*, en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo *Typic Haplustafs*, cultivado con maíz (*Zea Mays L.*) en zona de ladera del municipio de Palmira, Valle. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. 80p.

12. Sanclemente O., y Prager M. 2009. Efecto del cultivo de cobertura y abono verde: *Mucuna pruriens* en las propiedades biológicas de un suelo *Typic Haplustafs*, cultivado con maíz dulce (*Zea Mays L.*) en la zona de ladera del Municipio de Palmira Valle del Cauca, Colombia. Artículo Publicado en la Revista Brasileira de Agroecología. Vol. 4 (2): 4133 – 4138.

13. Shoko M. 2009. Exploring phosphorus, *Mucuna (Mucuna pruriens)* and nitrogen management options for sustainable maize production in a depleted kaolinitic sandy loam soil of Zimbabwe. Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Agriculture, At Stellenbosch University. Chapter 3: 26-40.

Recibido: 14 de febrero de 2012

Aceptado: 20 de abril de 2012