

## Efecto de abonos verdes con diferentes sistemas de labranza sobre indicadores de calidad del suelo

Effect of green manures with different tillage systems on soil quality indicators

Efeito de adubos verdes com diferentes sistemas de preparo do solo nos indicadores de qualidade do solo

Marisol Rivero Herrada<sup>1\*</sup>, Yarelys Ferrer Sánchez<sup>1</sup>, Deyanira Mata Anchundia<sup>1</sup>, Yanila Granados Rivas<sup>1</sup>, Eduardo Gutiérrez Rivero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Walter Andrade. km 1,5 vía a Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador. Correos electrónicos: [mrivero@uteq.edu.ec](mailto:mrivero@uteq.edu.ec), [yferrer@uteq.edu.ec](mailto:yferrer@uteq.edu.ec), [dmata@uteq.edu.ec](mailto:dmata@uteq.edu.ec), [ygranados@uteq.edu.ec](mailto:ygranados@uteq.edu.ec). <sup>2</sup>Instituto de Meteorología de Granma. INSMET. CITMA. Vivienda Campesina, Bayamo, Granma. Cuba. Código Postal 85100. Correo electrónico: [eduardgriveroh@gmail.com](mailto:eduardgriveroh@gmail.com).

### Resumen

La utilización de plantas como abonos verdes influye en la recuperación y preservación de la calidad del suelo y aporta nutrientes, para una fertilización adecuada a los cultivos. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de abonos verdes frijol de puercos sin asociar y en asociación con el mijo, combinada con el manejo del suelo en labranza convencional y siembra directa, con respecto a un testigo (suelo natural) en los indicadores químicos y biológicos de un suelo Ferralsol. Se evaluaron variables químicas (pH, materia orgánica, P, K, Ca y Mg) y biológicas (carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo, respiración basal del suelo, cociente metabólico y la actividad enzimática total del suelo). El cultivo de abono verde frijol de puercos asociado en siembra directa, tuvo un efecto positivo en los indicadores biológicos y químicos del suelo, con los mejores contenidos de nutrientes, mayor contenido de carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo y menor cociente metabólico con diferencias significativas respecto a los demás tratamientos y superado solo por el suelo natural. El sistema de siembra directa mostró los mejores resultados de actividad enzimática total y del cociente metabólico del suelo, siendo este sistema el más eficiente.

Recibido el 08-05-2018 • Aceptado el 01-12-2019.

\*Autor de correspondencia. Correo electrónico: [mrivero@uteq.edu.ec](mailto:mrivero@uteq.edu.ec)

**Palabras clave:** fertilidad del suelo, respiración basal, indicadores biológicos, indicadores de calidad.

### Abstract

The use of plants as green manures influences the recovery and preservation of soil quality and provides nutrients, for proper fertilization of crops. The objective of this investigation was to evaluate the effect of green manure of bean, associated with millet and combined with soil management in conventional tillage and direct sowing on chemical and biological indicators of a the microbial biomass, basal respiration, metabolic ratio and the total enzymatic activity) variables were evaluated. Direct sowing associated with millet and the use of green bean manure had a positive effect on the biological and chemical indicators of the soil, presenting the best content of nutrients, the highest content of carbon and nitrogen of the microbial biomass and the relationship direct sowing associated with millet and the use of green bean manure had a positive effect on the biological and chemical indicators of the soil, presenting the best content of nutrients, the highest content of carbon and nitrogen of the microbial biomass and the lower metabolic ratio than the other treatments, only being surpassed by the natural soil. Direct sowing showed the best results of total enzymatic activity and the metabolic ratio, being the most efficient system.

**Key words:** soil fertility, basal respiration, biological indicators, quality indicators.

### Resumo

O uso de plantas como adubos verdes influencia a recuperação e preservação da qualidade do solo e fornece nutrientes para a fertilização adequada das culturas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de fertilizantes verdes, grãos de porco, não associados e associados ao milheto, combinados com o manejo do solo no preparo convencional e na semeadura direta, no que diz respeito ao controle (solo natural) sobre indicadores químicos e biológico de um solo de Ferralsol. Foram avaliadas as variáveis químicas (pH, matéria orgânica, P, K, Ca e Mg) e biológicas (variáveis carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo, respiração basal do solo, razão metabólica e atividade enzimática total do solo). O cultivo do adubo verde de feijão associado à semeadura direta teve efeito positivo nos indicadores biológicos e químicos do solo, com os melhores conteúdos de nutrientes, o maior teor de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e a menor taxa metabólica com Diferenças significativas de outros tratamentos e superadas apenas pelo solo natural. O sistema de semeadura direta apresentou os melhores resultados da atividade enzimática total e da taxa metabólica do solo, sendo este o mais eficiente.

**Palavras-chave:** fertilidade do solo, respiração basal, indicadores biológicos, indicadores de qualidade.

## Introducción

El suelo es un recurso natural que a lo largo de la historia ha proporcionado el sustento para la población humana; sin embargo, la creciente población mundial y su demanda de alimentos aumentan cada día la presión sobre este recurso. En las zonas tropicales del mundo, específicamente en la región de América Latina se busca alternativas para conservar los suelos, pues se ha confirmado que no es el clima cálido lo que impide una producción adecuada de la tierra, sino el manejo inadecuado de estos, se han empleado grandes cantidades de fertilizantes químicos con el fin de satisfacer la demanda mundial creciente de alimentos (García *et al.*, 2011; Reyes y Cortez, 2017). Existen diversas evidencias que señalan que la aplicación de fertilizantes minerales tiene grandes desventajas, entre ellas se encuentran que más de la mitad de los nutrientes liberados se pierden por volatilización, lixiviación o escorrentía, entre otros procesos, mucho antes que éstos puedan ser aprovechados por las plantas, lo que conduce a nuevas y excesivas aplicaciones. Esta realidad ha impulsado a la búsqueda de prácticas más sostenibles y amigables con el ambiente tales como el uso de microorganismos fijadores de nitrógeno y micorrizas (Rosales *et al.*, 2017).

Los indicadores de calidad del suelo son atributos medibles que revelan la respuesta de la productividad o funcionalidad del suelo al ambiente, e indican si la calidad del suelo mejora, permanece constante o

## Introduction

Soil is a natural resource that throughout history has provided sustenance for the human population; however, the growing world population and its demand for food increase the exploitation of this resource every day. In the tropical zones of the world, specifically in the Latin American region, alternatives are sought to conserve the soils, since it has been confirmed that it is not the warm climate that impedes the adequate production of the land, but the inadequate management of these, among which cite the use of large amounts of chemical fertilizers to meet the growing world demand for food. (García *et al.*, 2011; Reyes and Cortez, 2017). Several evidences indicate that the excessive application of mineral fertilizers has great disadvantages, such as the volatilization of more than half of the nutrients released, leaching or runoff, among other processes, long before they can be used by plants, leading to new and excessive applications. This reality has prompted the search for more sustainable and environmentally friendly practices such as the use of nitrogen-fixing microorganisms and mycorrhizae (Rosales *et al.*, 2017).

Soil quality indicators are measurable attributes that reveal the response of soil productivity or functionality to the environment, and indicate whether soil quality improves, remains constant or decreases (Ghaemi *et al.*, 2014). In evaluating the sustainability of agricultural systems, soil quality

decrece (Ghaemi *et al.*, 2014). En la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, se debe considerar los indicadores de calidad del suelo, ya que constituyen una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el manejo y uso del mismo a escala local, regional y global y su estudio debe hacerse de forma particular, según las condiciones de cada agroecosistema (García *et al.*, 2012). El monitoreo de los valores de los indicadores de calidad del suelo dentro de una escala única puede ayudar a los tomadores de decisiones de las localidades, para definir estrategias agronómicas correctivas, a nivel de sitio específico, para aumentar la fertilidad de los suelos (Estrada *et al.*, 2017).

Una de las prácticas donde se aúnan principios ecológicos son el uso de abonos verdes, la cual se fundamenta en el aprovechamiento de la energía solar, para producir biomasa vegetal de alta calidad nutricional, la cual posteriormente se adiciona o incorpora al suelo con miras a incrementar el contenido de materia orgánica, con incidencia positiva sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y consecuentemente en los rendimientos de los cultivos (Prager *et al.*, 2012).

El uso de estas plantas mejora las propiedades biológicas del suelo como: materia orgánica, biomasa microbiana, respiración basal del suelo y cociente metabólico y químicas (tenores de nutrientes) que son indicadores sensibles, que pueden usarse para monitorear las alteraciones derivadas del uso agrícola. Además, constituyen herramientas para orientar la

indicadores should be considered, since they constitute a powerful tool for decision-making in the management and use of soil at local, regional and global levels, and their study should be done in a particular way, according to the conditions of each agroecosystem (García *et al.*, 2012). Monitoring the values of soil quality indicators within a single scale can help to define corrective agronomic strategies, at the site-specific level, to increase soil fertility (Estrada *et al.*, 2017).

One of the practices where ecological principles are combined is the use of green manures, which is based on the use of solar energy, to produce plant biomass of high nutritional quality, which is subsequently added or incorporated into the soil to increase the content of organic matter, with a positive incidence on some physical, chemical and biological properties, and consequently on crop yields (Prager *et al.*, 2012).

The use of these plants improves the biological properties of the soil such as: organic matter, microbial biomass, basal respiration and metabolic and chemical quotients (nutrient content) that are sensitive indicators that can be used to monitor the alterations derived from agricultural use. Furthermore, they constitute tools to guide the planning and evaluation of the management practices (Alcántara *et al.*, 2007).

In Santo Antonio de Goiás, one of the main grain producing areas of the Central West Goiás region of Brazil, different agroecological management systems have been established for more than a decade, using cover plants

planificación y la evaluación de las prácticas de manejo utilizadas (Alcántara *et al.*, 2007).

En Santo Antonio de Goiás, una de las principales zonas productoras de granos de la región Centro Oeste de Goiás de Brasil, se han establecido diferentes sistemas de manejos agroecológicos por más de una década, utilizando plantas de cobertura como abonos verdes, rotaciones y asociaciones con sistema convencional y de siembra directa. Sin embargo, aún persisten algunos problemas de baja fertilidad debido a una insuficiente actividad biológica de los sistemas y por consiguiente bajos rendimientos agrícolas de los cultivos de granos, por lo que se hecho necesario continuar las investigaciones en estas áreas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del abono verde frijol de puerco (*Canavalia ensiformis* Adans) sin asociar y en asociación con el mijo (*Pennisetum glaucum* L.) y la combinación con el manejo del suelo en labranza convencional y siembra directa, con respecto a un testigo (suelo natural), en los indicadores químicos y biológicos de un suelo Ferralsol en la región Centro Oeste de Brasil.

## Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental perteneciente a la Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA Arroz y Frijol), localizada en el municipio de Santo Antonio de Goiás (ubicación geográfica 16°28' S, 49°17' W, 823 m sobre el nivel del mar) Brasil. Las condiciones meteorológicas de la zona se detallan en el cuadro 1.

such as green manures, rotations and associations in direct sowing system and conventional system. However, some problems of low fertility still persist due to insufficient biological activity, and therefore, low yields, making it necessary to continue research in these areas. The objective of the present work was to evaluate the effect of green manure of bean (*Canavalia ensiformis* Adans) in association with millet (*Pennisetum glaucum* L.) on the chemical and biological indicators of a Ferralsol with conventional tillage and direct sowing, in western Brazil

## Materials and methods

The research was carried out at the Experimental Station belonging to the Brazilian Agricultural Research Company (EMBRAPA Rice and Bean), located in the municipality of Santo Antonio de Goiás, Brazil (geographic location 16°28' S, 49°17' W and 823 m above sea level). The meteorological conditions of the area are detailed in table 1.

The soil used was a Ferralsol (Latossolo Red-Yellowish) (Santos *et al.*, 2013) of medium texture, moderately flat to slightly wavy relief. The chemical characteristics of the soil before the investigation are represented in table 2. The soil fertility analyzes used in the investigation were carried out at the Soil and Foliar Analysis Laboratory of the Federal University of Goiás in 2013.

A factorial 2 x 2 + 1 with a randomized block design with three replications was used. The cultivation

**Cuadro 1. Condición meteorológicas de Estación de Investigación de EMBRAPA Arroz y Frijol.****Table 1. Weather conditions of the EMBRAPA Research Station Rice and Beans.**

Variables	Promedio
Temperatura media	26 °C
Humedad relativa	49 %
Precipitación	1024,0 a 1891,9 mm.año <sup>-1</sup>

Fuente: Embrapa Arroz y Frijol (1997).

Source: Embrapa Rice and Beans (1997).

El suelo utilizado fue un Ferralsol (Latossolo Rojo-Amarillento) (Santos *et al.*, 2013) de textura media, relieve moderadamente plano a levemente ondulado. Las características químicas del suelo antes de la investigación están representadas en el cuadro 2. Los análisis de fertilidad de suelo utilizado en la investigación se realizaron en el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar de la Universidad Federal de Goiás en el 2013.

Se utilizó un diseño factorial 2 x 2 + 1, bloques al azar con tres repeticiones. Los tratamientos fueron conformados por dos sistemas de cultivo con los abonos verdes, utilizando el frijol de puerco (*C. ensiformis*), en asociación y sin asociar con el mijo (*P. glaucum*) y con dos sistemas de labranza (convencional con uso de maquinaria y directa) además se utilizó un suelo natural como testigo (no perturbado, ubicado a 10 m del área experimental).

Se sembró el frijol de puerco sin asociar y en asociación con el mijo en enero 2012. Los abonos verdes fueron

of beans for green manure purposes (*C. ensiformis*), associated with millet (*P. glaucum*) and without association, was established in two tillage systems (conventional and direct sowing). In addition, a natural soil was used as a control (undisturbed, located 10 m from the experimental area).

Sowing of beans for green manure was carried out in January 2012. A disc harrow was used to cut bean 60 days after sowing in the experimental plots, leaving them on the soil surface. Conventional (SC) and direct sowing (SD) of the common bean cv. BRS Pontal was carried out 20 days after the cut of the green manure (two harrow passes to incorporate the green manure). Planting was carried out at 0.45 m between lines, using 10 seeds per linear meter. Soil samples were taken 50 days after planting the common bean; five samples per plot at a depth of 0 - 20 cm, for a total of 45 samples in the experimental area, according to the EMBRAPA methodology (1997).

cortados a los 60 días después de su siembra, para lo que se utilizó una grada de disco, para cortar las plantas abonos verdes en las parcelas experimentales en cada tratamiento, dejándolas en la superficie del suelo, la siembra se realizó 20 días después del corte de los abonos convencional (dos pases de pases de rastra para incorporar los abonos verdes y siembra directa) del cultivo del frijol común cultivar BRS Pontal, a una distancia de 0,45 m entre líneas, utilizando 10 semillas por metro lineal. Se tomaron muestras de suelos a los 50 días después de sembrar el frijol común, cinco muestras por parcela a una profundidad de 0-20, para un total de 45 muestras en el área experimental, según la metodología de EMBRAPA, (1997).

The chemical indicators of the soil: pH (H<sub>2</sub>O ratio 1:2); organic matter (OM) by the colorimetry method; Ca, P, K, Mg were determined using the method of Nogueira *et al.* (2006). While the biological indicators of the soil: carbon (C-BMS) and nitrogen (N-BMS) from microbial biomass were determined by the fumigation-extraction method of Vance *et al.* (1987) and to determine the N-BMS Kjeldahl distillation was used according to the methodology of Tedesco *et al.* (1995). Basal Soil Respiration (RBS) was determined according to the Jenkinson and Powelson method (1976). The metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>) was calculated as a relationship between RBS and C-BMS (Anderson and Domsch, 1993). To evaluate the total enzymatic activity of the soil (AET), the method of Ghini *et al.* (1998) was used.

**Cuadro 2. Análisis químico del suelo utilizado en la investigación.**

**Table 2. Chemical analysis of the soil used in the research.**

Suelo	M.O (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K	Ca	Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )
0,00-0,20 m	1,4	5,2	1,3	55	1,5	0,6

MO= materia orgánica, método: colorimetría. pH (H<sub>2</sub>O): método potenciométrico. P= fósforo, K= potasio, Ca= calcio, Mg = magnesio. Laboratorio de UFG, 2013.

MO = organic matter, method: colorimetry. pH (H<sub>2</sub>O): potentiometric method. P = phosphorus, K = potassium, Ca = calcium, Mg = magnesium. UFG Laboratory, 2013.

Los indicadores químicos del suelo: pH (H<sub>2</sub>O relación 1:2); materia orgánica (MO) por el método de colorimetría; Ca, P, K, Mg fueron determinados utilizando el método de Nogueira *et al.* (2006). Mientras que los indicadores biológicos del suelo: carbono de la

The normality and variance homogeneity tests were applied. Given the fulfillment of these assumptions, a simple analysis of variance and a posteriori Tukey test (P ≤ 0.05) were performed to compare the chemical and biological indicators of the soil



biomasa microbiana del suelo (C-BMS), el nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo (N-BMS) se determinaron por el método de fumigación-extracción de Vance *et al.* (1987) y para determinar el N-BMS se utilizó la destilación de Kjeldahl según metodología de Tedesco *et al.* (1995). La respiración basal del suelo (RBS) se determinó de acuerdo con el método de Jenkinson y Powlson (1976). El cociente metabólico ( $qCO_2$ ) fue calculado como una relación entre RBS y el C-BMS (Anderson y Domsch, 1993). Para evaluar la actividad enzimática total del suelo (AET), se utilizó el método de Ghini *et al.* (1998), también fueron tomadas cinco muestras del suelo natural considerado como control.

Se aplicaron las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza. Dado el cumplimiento de estos supuestos se realizó un análisis de varianza simple y prueba de Tukey *a posteriori* ( $P \leq 0,05$ ), para comparar los indicadores químicos y biológicos del suelo entre los diferentes tratamientos. Todos los análisis fueron realizados en el programa Statistica v. 10.0 (Statsoft, 2011).

## Resultados y discusión

Los valores de pH del suelo fueron superiores a los del suelo natural no perturbado en todos los tratamientos, no se observó tendencia de acidificación en la capa superficial de 0-20 cm, (cuadro 3). El pH ácido del suelo osciló entre 5,09 y 5,26 con diferencias estadísticas con el suelo natural con valor de pH 4,50, por el material parental, exceso de lluvias y los minerales que dieron origen a

between the different treatments. All analyzes were carried out in the Statistica software v. 10.0 (Statsoft, 2011).

## Results and Discussion

Soil pH values were higher than those of undisturbed natural soil in all treatments, no acidification trend was observed in the surface layer of 0 - 20 cm (table 3). The acidic pH of the soil ranged between 5.09 and 5.26, with statistical differences with natural soil with a pH value of 4.50, due to the parental material, excess rainfall and the minerals that gave rise to these soils. This result may be associated with the high use of nitrogenous fertilizers in the soil in previous crops, causing excess N, acidifying the soil due to its high  $H^+$  content. Erosion in tropical areas is mainly due to the intensity and amount of rainfall, the slope, the management and exposure of subsurface horizons (more acidic) by the use of nitrogenous fertilizers and by the oxidation of sulfur and matter organic (Souza *et al.*, 2004).

In organic matter (OM) there were significant statistical differences between treatments; the natural soil showed the highest value (2.60 %), while other treatments showed lower values (0.99 % to 1.18 %). These results coincide with Ferreira *et al.* (2011) and Cunha *et al.* (2012) in works carried out in the central-western region of Brazil, where the OM and organic carbon levels were higher in the non-anthropized areas, compared to the direct seeding and conventional tillage systems.



esos suelos. Este resultado puede estar asociado al uso elevado de fertilizantes nitrogenados en el suelo en las cosechas anteriores, provocando el exceso de N, acidificando el suelo por alto contenido de H<sup>+</sup>. La erosión en zonas tropicales, se debe principalmente a la intensidad y cantidad de precipitaciones, a la pendiente, y al manejo y la exposición de horizontes subsuperficiales (más ácidos) por el uso de fertilizantes nitrogenados y por la oxidación del azufre y de la materia orgánica (Souza *et al.*, 2004).

OM has been shown to be an efficient indicator to discriminate changes in soil quality and is the most sensitive indicator to soil degradation (Cherubin *et al.*, 2015). However, long-term experiments have shown that soil OM tenors are influenced by soil management, with increases in OM content in the soil surface layer in the direct sowing system compared to the conventional tillage system (Vezzani and Mielniczuk, 2011). For organic waste, green manures to transform

**Cuadro 3. Indicadores químicos del suelo bajo diferentes sistemas de manejo del suelo en Goiás, Brasil.**

**Table 3. Chemical indicators of the soil under different soil management systems in Goiás, Brazil.**

Tratamientos	pH	M.O.
Frijol de puerco - frijol común. Convencional	5,26 a	0,99 b
Frijol de puerco - frijol común. Siembra directa	5,09 b	1,10 b
Frijol de puerco + mijo - frijol común. Convencional	5,17 a	1,08 b
Frijol de puerco + mijo - frijol común. Siembra directa	5,18 a	1,18 b
Suelo natural (testigo)	4,50 c	2,60 a
CV (%)	2,68	20,28

MO= materia orgánica del suelo. Promedios con letras iguales no presentan diferencia estadística (P≤0,05) según la prueba de Tukey.

MO = organic matter in the soil. Averages with equal letters do not present statistical difference (P≤0.05) according to the Tukey test.

En la materia orgánica (MO) hubo diferencias estadísticas significativas entre el suelo natural con el mayor valor (2,60 %) con los tratamientos, que no mostraron diferencias significativas entre ellos, los valores fueron bajos (0,99 % a 1,18 %). Estos resultados coinciden con Ferreira *et al.* (2011) y Cunha *et al.* (2012) en trabajos realizados en la región centro-oeste de

into organic matter, more time and conditions are necessary, in addition to the presence of decomposing microorganisms or earthworms. In general, the differences observed in this study may be due to the short application time of soil management systems with the use of green manures and crop systems.

The results of the content of

Brasil, donde los tenores de la MO y de carbono orgánico fueron superiores en las áreas no antropizadas, comparado con los sistemas de siembra directa y labranza convencional.

Se ha demostrado que la MO es un indicador eficiente para discriminar cambios en la calidad del suelo y es el indicador más sensible a la degradación del suelo (Cherubin *et al.*, 2015). Sin embargo, experimentos de larga duración han demostrado que los tenores de la MO del suelo son influenciados por los manejos del suelo, con los incrementos del contenido de la MO en la capa superficial del suelo en la siembra directa en relación al sistema de labranza convencional (Vezzani y Mielniczuk, 2011). Para que los residuos orgánicos los abonos verdes se transformen en materia orgánica, es necesario más tiempo y condiciones, además de la presencia de microorganismos descomponedores o lombrices. De modo general, las diferencias observadas en este estudio pueden ser debido al poco tiempo de aplicación de los sistemas de manejo del suelo con el uso de abonos verdes y los sistemas de cultivos.

Los resultados del contenido de fósforo (P) y potasio (K) se muestran en el cuadro 4, donde se puede apreciar que no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos, lo que evidencia que estos elementos no sufrieron alteraciones en el suelo, coincide con lo señalado por Silveira y Stone (2000) y Cunha *et al.* (2012). Por otro lado, los valores de P y K, aún sin presentar cambios, tuvieron altos para el cultivo frijol (Malavolta, 1997). De igual manera el Ca y Mg

phosphorus (P) and potassium (K) are shown in table 4. There were no statistical differences between the treatments, which shows that these elements did not suffer alterations in the soil, coinciding with the pointed out by Silveira and Stone (2000) and Cunha *et al.* (2012). On the other hand, the P and K values, even without showing changes, had high values for the bean crop (Malavolta, 1997). Similarly, Ca and Mg showed significant differences between treatments. The treatment of green manure of bean + Millet + Common Bean in SD stands out, with values of 1.64 mg.kg<sup>-1</sup> which was surpassed with a significant difference only by natural soil with a value of 2.50 mg.kg<sup>-1</sup> of Ca. Mg also showed the highest value of 0.56 mg.kg<sup>-1</sup> with statistical differences with the treatment of green manure of bean + common beans with conventional tillage and was significantly surpassed by natural soil with 0.70 mg.kg<sup>-1</sup> of Mg (table 4).

For the carbon from microbial biomass (C-BMS), there was a positive effect of the tillage system with direct sowing (table 5), in the treatment of green manure of bean + millet + common bean in SD, the C-BMS was higher (361.65 mg C-BMS.kg<sup>-1</sup>) comparing to green manure of bean + millet + common bean in the conventional system (SC), however this showed significant differences with the C-BMS of the undisturbed or control soil, which presented the highest values (1267.67 mg C-BMS.kg<sup>-1</sup>). C-BMS showed statistical differences when the plants were associated with millet. The results coincide with those

mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. Se destaca el tratamiento del Frijol de puerco + mijo + frijol común en SD, con valores de 1,64 mg.kg<sup>-1</sup> el cual fue superado con diferencia significativa solamente por el suelo natural con un valor de 2,50 mg.kg<sup>-1</sup> de Ca. El Mg mostró también el mayor valor de 0,56 mg.kg<sup>-1</sup> con diferencias estadísticas con el tratamiento de Frijol de puerco + frijol común con labranza convencional y fue superado significativamente por el suelo natural con 0,70 mg.kg<sup>-1</sup> de Mg (cuadro 4).

reported by Cunha *et al.* (2011) who found that green manures increase C-BMS values in the most superficial layer of the soil in experiments with common beans in tropical savanna soils.

In addition, lower C-BMS values were observed in the soil with agricultural use in the agroecological system with green manures and direct sowing, than in natural soil (414.6 mg C-BMS.kg<sup>-1</sup>), this being more pronounced in soils with conventional tillage.

For their part, Cherubin *et al.*

**Cuadro 4. Indicadores químicos del suelo bajo diferentes sistemas de manejo del suelo en Goiás, Brasil.**

**Table 4. Chemical indicators of the soil under different soil management systems in Goiás, Brazil.**

Tratamientos	P	K	Ca	Mg
	(mg.kg <sup>-1</sup> )			
Frijol de puerco - frijol común. Conv	2,14 a	69,62 b	1,28 c	0,48 c
Frijol de puerco - frijol común. SD	1,71 a	73,21b	1,58 b	0,53 b
Frijol de puerco + mijo - frijol común. Conv	1,42 a	70,87 b	1,33 b c	0,53 b
Frijol de puerco + mijo - frijol común. SD	1,84 a	72,01 b	1,64 b	0,56 b
Suelo natural (testigo)	1,00 b	74,30 a	2,50 a	0,70 a
CV (%)	24,87	10,11	20,33	25,13

Conv: convencional y SD: siembra directa. Promedios con letras iguales no presentan diferencia estadística (P≤0,05) según la prueba de Tukey.

Conv: conventional and SD: direct seeding. Averages with equal letters do not present statistical difference (P≤0.05) according to the Tukey test.

Para variable del carbono de la biomasa microbiana del suelo (C-BMS) hubo efecto positivo del sistema de labranza con siembra directa (cuadro 5), en el tratamiento Frijol de puerco + mijo + frijol común en SD, el C-BMS fue mayor (361,65

(2015) when studying the direct sowing system with the application of a swine liquid biofertilizer in doses of 80 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, obtained a C-BMS value of 1085.09 mg C-BMS.kg<sup>-1</sup>, much higher than that of native or undisturbed soil, with a value of 480.54 mg C-BMS.kg<sup>-1</sup>.

mg C-BMS.kg<sup>-1</sup> suelo seco) con respecto al Frijol de puerco + mijo + frijol común en sistema convencional, sin embargo éste mostró diferencias significativas con el C-BMS del suelo natural no perturbado o testigo, que presentó los mayores valores (1267,67 mg C-BMS.kg<sup>-1</sup> suelo seco). Para esta variable C-BMS.kg<sup>-1</sup> de suelo, se evidenciaron diferencias estadísticas cuando las plantas fueron asociadas con mijo. Los resultados coinciden con los reportados por Cunha *et al.* (2011) quienes encontraron que los abonos verdes incrementan los valores de C-BMS en la capa más superficial del suelo en experimentos con frijol común en suelos de sabana tropical. Los valores encontrados de 293,8 y 398,0 mg C-BMS.kg<sup>-1</sup> de suelo seco, respectivamente.

Además, se observaron menores valores de C-BMS en el suelo con uso agrícola en sistema agroecológico con abonos verdes y siembra directa, que en el suelo natural (414,6 mg C-BMS.kg<sup>-1</sup> de suelo seco), siendo este hecho más pronunciado en el área bajo labranza convencional.

Por su parte Cherubin *et al.* (2015) al estudiar el sistema de siembra directa con aplicación de un biofertilizante líquido de porcino en dosis de 80 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, obtuvo un valor del C-BMS de 1085,09 mg C-BMS.kg<sup>-1</sup> suelo seco, muy superior que el del suelo nativo o natural no perturbado, con un valor de 480,54 mg C-BMS.kg<sup>-1</sup> suelo seco.

Permitir una mayor permanencia de los residuos de las plantas de cobertura en el suelo mediante la asociación del cultivo del frijol de

Allowing a greater permanence of the cover plant residues in the soil by associating the bean for green manure purpose with millet has benefits in the slower contribution of the carbon supplied to the soil microorganisms (Prager *et al.*, 2012). On the other hand, SD also contributed to a higher content of C-BMS, due to its positive effects on the conservation of humidity, temperature regulation, greater fertility and soil aggregation, which helps to increase microbial activity.

When the tilled soil was compared with the natural soil, the high value of C-BMS was observed in the latter. This result is explained because this soil has not been subjected to anthropic effects and the microorganisms have a continuous and stable development, due to the existence of native vegetation, which contributes to the increase in its biodiversity and the content of organic matter. The results indicated an increase in 22.68 mg C-BMS.kg<sup>-1</sup>, when the beans were associated with millet and in SD, compared to the cover plants in the monoculture.

The different soil conditions under natural vegetation, together with the absence of disturbances caused by anthropogenic activity, make possible the existence of a greater quantity of C-BMS, which indicates a greater balance of the soil microbiota (Ferreira *et al.*, 2010).

C-BMS is an efficient biological indicator to determine the differences between SD and SC systems (Pôrto *et al.*, 2009). The SD system has greater sustainability, contributing to a large accumulation of carbon in the soil

puerco con el cultivo del mijo que es una gramínea, tiene beneficios en el aporte más lento del carbono suministrado a los microorganismos del suelo (Prager *et al.*, 2012). Por otra parte, la siembra directa también contribuyó a un mayor contenido de C-BMS, debido a sus efectos positivos en la conservación de la humedad, regulación de temperatura, mayor fertilidad y agregación del suelo, lo que ayuda a que se incremente la actividad

(Ferreira *et al.*, 2010).

Nitrogen from microbial biomass (N-BM) had a positive effect on the evaluated cultivation systems (table 5); SD system showed the best values (78.73 and 82.33 mg N-BMS.kg<sup>-1</sup>) with or without association with millet, respectively. The highest N-BMS value was 179.85 mg N-BMS.kg<sup>-1</sup> found in natural soil. This biological indicator was favored by the SD system, which significantly exceeded the SC system whose value was 65.68 mg N-BMS.kg<sup>-1</sup>.

**Cuadro 5. Indicadores biológicos del suelo bajo diferentes sistemas de manejo del suelo en Goiás, Brasil.**

**Table 5. Soil biological indicators under different soil management systems in Goiás, Brazil.**

Tratamientos	C-BMS	N-BMS
	(mg C-BMS.kg <sup>-1</sup> ss)	(mg N-BMS.kg <sup>-1</sup> ss)
Frijol de puerco - frijol común. Conv	258,7c	61,97 c
Frijol de puerco - frijol común. SD	321,5 b	78,63 b
Frijol de puerco + mijo - frijol común. Conv	298,8 c	65,68 c
Frijol de puerco + mijo - frijol común. SD	361,6 b	82,33 b
Suelo natural (testigo)	1267,6 a	179,85 a
CV %	15,50	5,12

Conv: convencional y SD: siembra directa, ss: suelo. Promedios con letras iguales no presentan diferencia estadística (P≤0,05) según la prueba de Tukey. C-BMS: carbono de la biomasa microbiana del suelo. N-BMS: nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo.

Conv: conventional and SD: direct seeding, ss: soil. Averages with equal letters do not present statistical difference (P≤0.05) according to the Tukey test. C-BMS: carbon from the soil microbial biomass. N-BMS: nitrogen from the soil microbial biomass.

microbiana del mismo.

Cuando se comparó el suelo labrado con el suelo natural, se observó el elevado valor del C-BMS en este último. Este resultado se explica porque este suelo no ha sido sometido a efectos antrópicos y los microorganismos

The basal respiration (RBS) presented significant statistical differences between the treatments (table 6); SD system presented the highest value (0.54 g of C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>), being statistically different with respect to SC system (0.21 g of C-CO<sub>2</sub>

tienen un desarrollo continuo y estable, debido a la existencia de la vegetación nativa, lo que contribuye al incremento de la biodiversidad del mismo y del contenido de la materia orgánica. Los resultados indicaron un incremento en 22,68 mg C-BMS.kg<sup>-1</sup> de suelo seco, cuando las leguminosas fueron asociadas con mijo y en siembra directa, comparado con las plantas de coberturas en el monocultivo.

Las condiciones diferentes del suelo bajo vegetación natural, conjuntamente con la ausencia de perturbaciones ocurridas por la actividad antrópica hacen posible la existencia de mayor cantidad de C-BMS, lo que indica un mayor equilibrio de la microbiota del suelo (Ferreira *et al.*, 2010).

El C-BMS es un indicador biológico eficiente para determinar las diferencias entre los sistemas de labranza del suelo: siembra directa y sistema convencional (Pôrto *et al.*, 2009). El sistema de siembra directa presenta mayor sustentabilidad, contribuyendo a una gran acumulación del carbono en el suelo (Ferreira *et al.*, 2010).

El Nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo (N-BM) tuvo efecto positivo en los sistemas de cultivo evaluados (cuadro 5), siendo el mejor resultado el sistema de siembra directa con valores de 78,73 y 82,33 mg N-BMS.kg<sup>-1</sup> de suelo seco, para los sistemas de cultivos frijol de puerco seguido del frijol común y el frijol de puerco asociado al mijo seguido del frijol común respectivamente. El mayor valor del N-BMS fue de 179,85 mg N-BMS.kg<sup>-1</sup>

kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) due to less biological activity of the microorganisms.

The natural soil surpassed with 2.11 g of C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, the RBS values found in all the treatments studied, due to the absence of anthropic activities. Conventional agricultural soil management, with intensive use of the plow, promotes the release of C into the atmosphere, while conservationist use favors the accumulation of C in organic forms within the soil (Martínez *et al.*, 2008).

These results coincide with those obtained by Ferreira *et al.* (2010) comparing the RBS in different cultivation systems, found statistical differences between SD and SC systems. Also Cunha *et al.* (2011a) found significant differences for this biological indicator of the soil between SD and SC systems, under similar conditions in the production of organic beans and corn in the State of Goiás, Brazil. However, they did not find significant differences between green manure of crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), gandul bean and mucuna bean (*Mucuna pruriens* (L.) DC.). On the other hand, Pôrto *et al.* (2009) found higher RBS value in undisturbed natural soil than in crop succession and association systems.

RBS is closely related to abiotic soil conditions, such as soil temperature and humidity. Furthermore, the greatest amount of organic matter in the cultivated soil surface in the SD system is determined by the microbial activity, due to the decomposition of soil organic matter and, consequently, the increase in RBS (Zornoza *et al.*, 2007).



de suelo seco encontrado en el suelo natural. Este indicador biológico se vio favorecido por el sistema de labranza del suelo con la siembra directa, el que superó significativamente sistema de labranza convencional cuyo valor fue de 65,68 mg N-BMS.kg<sup>-1</sup> de suelo seco.

La variable respiración basal del suelo (RBS) presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (cuadro 6) representando el mayor valor 0,54 g de C-CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> de suelo seco.h<sup>-1</sup>, el sistema de siembra directa, presentando diferencias significativas con el sistema convencional (0,21 g de C-CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> de suelo seco.h<sup>-1</sup>), donde el suelo tuvo menor respiración, debido a una menor actividad biológica de los microorganismo.

El suelo natural superó con 2,11 g de C-CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> de suelo seco.h<sup>-1</sup>, los valores de la RBS encontrados en todos los tratamientos estudiados, lo que evidencia una alta actividad biológica de este suelo natural por el hecho de no haber sido sometido a actividades antrópicas. El manejo agrícola convencional de suelos, con uso intensivo del arado, promueve la liberación de C hacia la atmósfera, mientras que el uso conservacionista favorece la acumulación de C en formas orgánicas dentro del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Ferreira *et al.* (2010) comparando la RBS en diferentes sistemas de cultivos y sistemas de labranza y encontraron diferencias estadísticas entre los sistemas de manejo en siembra directa y convencional y el área

The metabolic ratio (qCO<sub>2</sub>) of the soil (table 6) showed the lowest values in the treatment of green manure of bean associated with millet in the SD system (0.23 mg C-CO<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup> / C-BMS.h<sup>-1</sup>). All the values obtained for qCO<sub>2</sub> were much higher than that of undisturbed natural soil, which obtained almost zero for this indicator (0.0018 mg C-CO<sub>2</sub>.g<sup>-1</sup> / C-BMS.h<sup>-1</sup>), which is due to the natural conditions of this soil; this results coincides with Jakelaitis *et al.* (2008) who observed a lower qCO<sub>2</sub> value in the soil under natural vegetation conditions than in the soil under other tillage systems.

In the total enzymatic activity of the soil (TEA), significant differences were observed between the treatments. The highest activity (40.35 g FDA hidg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) was achieved in the soil managed with the green manure of bean associated with millet in SD system. The values obtained for the all the treatments were lower than those observed in the natural soil (54.44 g FDA hidg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>). In this study it was verified that the best soil indicators were obtained in the treatment of green manure of beans associated with millet in SD system. It was observed that despite the fact that a significant increase in organic matter was not observed in the treatments, a low qCO<sub>2</sub> value was obtained in the treatments where green manure of bean associated with millet, which shows a lower use of energy in these treatments with respect to treatments where the association of crops was not used; this result coincides with that indicated by Tótolá and Chaer (2002) when referring that low values of



cultivada. También Cunha *et al.* (2011a) encontraron diferencias significativas para este indicador biológico del suelo entre los sistemas de manejo siembra directa y convencional, en condiciones similares en la producción de frijol y maíz orgánico en el Estado de Goiás, Brasil. Sin embargo, no encontraron diferencias significativas entre las plantas de abonos verdes, crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), frijol gandul y mucuna (*Mucuna pruriens* (L.) DC.). Por su parte, Pôrto *et al.* (2009) encontraron mayor valor de RBS en el suelo natural no perturbado que en sistemas de sucesión y asociación de cultivos.

qCO<sub>2</sub> indicate an economy in the use of energy and would suppose a more stable environment or closer to its equilibrium state.

## Conclusions

The treatment of green manure of bean associated with millet in the direct sowing system had the best effect on the chemical and biological indicators of the soil, only surpassed by the natural soil. In this treatment the acidic pH of the soil was 5.18 with statistical differences with natural soil (pH 4.50), the organic matter (OM) was 1.18 % with significant statistical differences only with natural soil (2.60 %). The highest

### Cuadro 6. Indicadores biológicos del suelo bajo diferentes manejos agroecológicos del suelo en Goiás, Brasil.

Table 6. Biological indicators of the soil under different agroecological management of the soil in Goiás, Brazil.

Tratamientos	RBS	qCO <sub>2</sub>	AET
	(g de C-CO <sub>2</sub> ·kg <sup>-1</sup> ·ss·h <sup>-1</sup> )	(mgC-CO <sub>2</sub> ·g <sup>-1</sup> C-BMSh <sup>-1</sup> )	(g FDA hidg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
Frijol de puerco - frijol común. Conv	0,21 c	2,27 a	27,41 c
Frijol de puerco - frijol común. SD	0,33 b	2,23 a	33,25 b
Frijol de puerco + mijo - frijol común. Conv	0,42 b	0,27 b	34,32 b
Frijol de puerco + mijo - frijol común. SD	0,54 b	0,23 b	40,16 b
Suelo natural (testigo)	2,11 a	0,0018 c	54,44 a
CV (%)	24,71	7,23	18,12

Conv: convencional y SD: siembra directa, ss: suelo. Promedios con letras iguales no presentan diferencia estadística (P≤0,05) según la prueba de Tukey. RBS: respiración basal del suelo. qCO<sub>2</sub>: cociente metabólico y AET: actividad enzimática total.

Conv: conventional and SD: direct seeding, ss: soil. Averages with equal letters do not present statistical difference (P≤0.05) according to the Tukey test. RBS: basal respiration of the soil. qCO<sub>2</sub>: metabolic ratio and AET: total enzyme activity.

La RBS tiene una estrecha relación con las condiciones abióticas del suelo, tales como la temperatura y la humedad del suelo. Además, la mayor cantidad de materia orgánica en la superficie de suelo cultivada en el sistema de siembra directa está determinada por la actividad microbiana para que efectúe el proceso de descomposición de materia orgánica del suelo y en consecuencia, el incremento de la RBS (Zornoza *et al.*, 2007).

La variable cociente metabólico ( $qCO_2$ ) del suelo (Cuadro 6) mostró los menores valores en el tratamiento frijol de puerco asociado con mijo con siembra directa ( $0.23 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} / \text{C-BMS} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Todos los valores obtenidos para el  $qCO_2$  fueron muy superiores al del suelo natural no perturbado que obtuvo casi cero de este indicador ( $0,0018 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} / \text{C-BMS} \cdot \text{h}^{-1}$ ) lo cual se debe a que este suelo tiene su ambiente natural y coincide con Jakelaitis *et al.* (2008) observaron menor valor de  $qCO_2$  en el suelo bajo condiciones de vegetación natural, que en el suelo bajo otros sistemas de labranza.

En la actividad enzimática total del suelo (AET) fueron observadas diferencias significativas entre los tratamientos, alcanzando la mayor actividad ( $40,35 \text{ g FDA hidg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) el suelo manejado con la leguminosa asociada al mijo y la siembra directa. Todos los valores obtenidos de la actividad enzimática total (AET) fueron inferiores al valor ( $54,44 \text{ g FDA hidg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) al mostrado para la AET del suelo natural. Según resultados obtenidos por Cunha *et al.* (2012).

K, Ca and Mg contents were shown by the natural soil with statistical differences with the treatments; the P ( $1.84 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) surpassed the natural soil, being the green manure of bean in direct sowing system the one with the highest P content ( $1.84 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  of soil). This treatment also showed the highest values of the carbon and nitrogen from microbial biomass (surpassed only by the natural soil) and lower metabolic ratio. In the direct sowing system showed the best result of total enzymatic activity and the metabolic ratio of the soil, being the most efficient system.

### Gratefulness

The authors thank the Capes of Brazil, for having awarded a PhD scholarship for the Graduate Program of the Faculty of Agronomy at the Federal University of Goiás (2011) and the Embrapa Rice and Bean in the Santo Antonio de Goiás, Brazil, for their collaboration and for allowing the investigation to be carried out.

### Financing source

Capes Scholarship. Brazil. Edital No. 048/2010. Estudantes-Convênio de Ocas-graduação Program - PEC-PG.

*End of English Version*

---



---

En este estudio fue comprobado que los mejores indicadores del suelo se obtuvieron en el tratamiento frijol de puerco asociado al mijo en la siembra directa, se vio un efecto positivo en sus indicadores. En general el sistema de siembra directa proporcionó los mejores resultados para los indicadores biológicos del suelo. Se pudo apreciar que a pesar que, para los diferentes tratamientos estudiados no se observó un incremento significativo de la materia orgánica, si se obtuvo un valor del  $qCO_2$  bajo en los tratamientos donde se utilizó el sistema de cultivo asociado de la leguminosa frijol de puerco con el mijo, lo que evidencia un menor uso de energía en estos tratamientos con respecto a los tratamientos donde no se utilizó la asociación de cultivos, este resultado coincide con lo señalado por Tótola y Chaer (2002) al referir que bajos valores de  $qCO_2$  indica una economía en el uso de energía y supondría un ambiente más estable o más próximo de su estado de equilibrio.

## Conclusiones

El tratamiento frijol de puerco asociado en siembra directa, tuvo el mejor efecto en los indicadores químicos y biológicos del suelo, solo superado por el suelo natural en la mayoría de los indicadores de calidad del suelo. En este tratamiento el pH ácido del suelo fue 5,18 con diferencias estadísticas con el suelo natural (pH 4,50), la materia orgánica (MO) fue de 1,18 % con diferencias estadísticas significativas solamente con el

suelo natural (2,60 %). Los mayores contenidos de nutrientes K, Ca y Mg, lo mostró el suelo natural con diferencias estadísticas con los tratamientos, el P ( $1,84 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) superó estadísticamente al suelo natural, siendo el frijol de puerco asociado en siembra directa el que obtuvo mayor contenido de P ( $1,84 \text{ mg.kg}^{-1}$  de suelo). Este tratamiento también mostro los mayores valores de carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana del suelo que fueron superado solo por el suelo natural y menor cociente metabólico entre los tratamientos. En el sistema de siembra directa hubo el mejor resultado de actividad enzimática total y del cociente metabólico del suelo, siendo este sistema el más eficiente.

## Agradecimiento

Los autores agradecen a la Capes de Brasil, por haber otorgado una beca de doctorado en el Programa de Posgraduación de la Facultad de Agronomía en la Universidad Federal de Goiás 2011 y a la Empresa Embrapa Arroz y Frijol en el Municipio Santo Antonio de Goiás. Goiás. Brasil, por su colaboración y por permitir llevar a cabo la investigación.

## Fuente de financiamiento

Beca Capes. Brasil. Edital N° 048/2010. Programa de Estudantes-Convênio de Pós-graduação - PEC-PG.

## Literatura citada

Alcántara, R.M.C.M., A.M.S. Araújo, A.A. Lima, P.G. Haim, E.E. Silva. Avaliação da biomassa microbiana do solo em sistemas orgânico. Ver.

- Bras. Agroecol, 2 (2): 991-994, 2007.
- Anderson, T.H y K.H Domsch. 1993. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biol. Biochem. 25: 393-395.
- Cherubin M.R; M.T Eitelwein; C. Fabbris; S.W. Weirich; R. Ferrerira Da Silva; V. Rodriguez Da Silva y J.B. Claudir. 2015. Cualidades físicas, químicas y biológicas de un latososo con diferentes manejos y fertilizantes. Rev. Bras. Cienc. Solo, 39:615-625.
- Cunha, E.Q; L.F. Stone; J.A.A. Moreira; E.P.B. Ferreira; A.D Didonet y W.M. Leandro. 2011a. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – Atributos biológicos do solo. Rev. Bras. Cienc. Solo, 35 (2): 603-611.
- Cunha E.Q; L.F. Stone; J.A.A. Moreira; E.P.B. Ferreira; A. Didonet y J.A.A. Moreira. 2012. Atributos físicos, químicos y biológicos de solo sob produção orgânica impactada. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 16(1): 56-63.
- Estrada, I. R; M. C. Hidalgo; P. R. Guzmán; J. J. Almaraz; H. Navarro-Garza, J. D. B. Etchevers. 2017. Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. Agrociencia 51(8): 813-831.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solos. 1997. 2.ed. Rio de Janeiro, Brasil: EMBRAPA-CNPS. 212 pp.
- Ferreira E.P.B; J.C Ribeiro; H. De-Polli y N.R Gouvêa. 2010. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. Rev. Cienc. Agron. 41(2):177-183.
- Ferreira E.P.B; L.F La Piedra; P.L Partelli; A.D Didonet. 2011. Productividad de la planta del frijol común influenciada por plantas de cobertura y sistemas de manejo del suelo. Bras. Eng. Agríc. Ambiental. 15 (7): 695-701.
- García, Y., W. Ramírez y S. Sánchez. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Pastos y Forrajes, 35(2): 125-138.
- García, Y., W. Ramírez y S. Sánchez. 2011. Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. Pastos y Forrajes, 34 (4): 375-392.
- Ghaemi, M., A. R. Astaraei, H. Emami, M. Nassiri M., and S. H. Sanaeinejad. 2014. Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad- Iran. J. Soil Sci. Plant Nut. 14: 987-1004.
- Ghini, R; M.D.L. Mendes; W. Bettiol. 1998. Método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (fda) como indicador da atividade microbiana no solo e supressividade a *Rhizoctonia solani*. Summa Phytopathol. 24(34): 239-242.
- Jakelaitis, A; A.A. Silva; J.B Santos y Vivian, R. (2008). Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. Pesq. Agropec. Trop. 38:118- 127
- Jenkinson, D.S y D.S. Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. A method for measuring soil biomass. Soil Biol. Biochem. 8(3):209-213.
- Malavolta, E; G.C. Vitti y S.A. Oliveira. 1997. Evaluación del estado nutricional de las plantas: principios y aplicaciones. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS. Piracicaba, Brasil. 319 p.
- Martínez, E.H; E. Fuentes y H.E. Acevedo. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. J. Soil Sci. Plant Nutr. 8(1): 68-96.
- Nogueira, R.G; D.F. Fornasieri; F.B. Minto; C.A. Disnei; De souza, J.R; Vieira, R.M. 2006. Influência das culturas de cobertura morta e de nitrogênio sobre componentes produtivos do feijoeiro de inverno em sucessão ao milho. Científica, Jaboticabal 34(1):112-115.
- Reyes G. y D. Cortéz. 2017. Intensidad en el uso de fertilizantes en América Latina y el Caribe (2006-2012). Bioagro 29(1):45-52.

- Rosales, P., P. González, J. Ramírez y J. Arzola. 2017. Selección de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares para el pasto guinea (*Megathyrus maximus* cv. likoni). *Cult. Trop.* 38(1):24-30.
- Prager, M. M., Oscar E. S. R., Sánchez de P, M., Miller, G. J., Ángel, D. I. 2012. Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Agroecología* 7: 53-62
- Pôrto, M.L; J. C. Alves; A. A. Diniz; A.P.Souza y D. Santos. (2009). Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no brejo paraibano. *Ciênc. agrotec.* 33:1011-1017.
- Santos, H.G; P.K.T. Jacomine; L.H.C. Anjos; V.A. Oliveira; J.F. Lubreras; M.R. Coelho; J.A Almeida; TjF Cunha y JB Oliveira. 2013. 3ªed. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- Silveira, P. M y L. F. Stone. 2001. Tenores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, 25 (2): 387-394.
- Souza, D.M.G y E. Lobato. 2004. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica. 416 p.
- StatSoft Inc. 2011. *Statistica*. System reference. StatSoft, Inc., Tulsa, Oklahoma, USA. 1098 p.
- Tedesco, M.J.Z; C. Gianello, C.A; Bissani, H; Bohnen, S.J; Volkweiss. 1995. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. 174 p.
- Tótola, M. R y G. M. Chaer. 2002. Microorganismos y procesos microbiológicos como indicadores de calidad de los suelos. En: Álvarez V; V. H. Schaefer; C.E.G.R. Barros, N.F. Mello; J.W.V y Costa, L. M eds. *Tópicos en ciencia del suelo* Vol. 2. p.195-276.
- Vance, E D; P. C. Brookes; y D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19(6):703-707.
- Vezzani, F. M; J. Mielniczuk. 2011. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, 35(1): 213-223.
- Zornoza, R; J. M. Solera; C. Guerrero; V. Arcenegui; F.G. Orenes y J. M. Beneyto. 2007. Evaluation of soil quality using multiple lineal regression based on physical, chemical and biochemical properties. *Sci. Total Environ.* 378(1-2): 233-237.