

Effect of *Leucaena leucocephala* on structure and content of dry matter in the soil of two cattle rearing units in Villa Clara, Cuba

Efecto de *Leucaena leucocephala* en la estructura y contenido de materia orgánica del suelo de dos unidades ganaderas de Villa Clara, Cuba

P. Cairo-Cairo¹, E. Noval-Artiles², B. Díaz-Martín¹, Alianny Rodríguez-Urrutia²,
Oralia Rodríguez-Lopez², P. Torres-Artiles², R. Jiménez-Carrazana², and A. Dávila-Cruz²

¹Universidad de Atacama, CRIDESAT Copayapu 485, Copiapó. Chile

²Universidad Central de las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carretera a Camajuani, km 5.5, Cuba

Email: pedro.cairo@uda.cl.

In order to determine the effect of *Leucaena leucocephala* on the structure and content of organic matter in the soil of two cattle rearing units in Villa Clara, two experiments were performed. One was developed in the Estación Experimental Agrícola de la Universidad Central de las Villas and the other, in the dairy farm “El Mamey” from the Instituto Tecnológico Agropecuario “Victoria de Santa Clara”, both in fluffy brown carbonated soil. In the first, four treatments were established: treatment 1 (natural grass), treatment 2 (*Leucaena leucocephala*, with five years of establishment), treatment 3 (*Leucaena leucocephala*, with four years of establishment), and treatment 4 (permanent banana crop). In the second experiment, three treatments were developed: treatment 1 (*Leucaena leucocephala*, with three years in a rotational grazing system), treatment 2 (*Leucaena leucocephala*, with eight years in a rational system), treatment 3 (natural grass). Samples were taken for the analysis of organic matter and structure indicators (structure factor, stable aggregates, permeability, plasticity limits) at 0-10, 10-20 and 20-40 cm deep. The experimental design was completely random blocks design. Results indicate that *Leucaena* influence, at a long term, on the content of organic matter, as a tree or integrated to the silvopastoral system (adjustment curve R^2 0.82-0.92), as well as on the structure factor, stable aggregates and permeability, with values superior to 65 % (good), 70 % (excellent) and 2.00 log 10k (excellent), respectively.

Key words: *soil management, legume, structure, organic matter*

Soil degradation constitutes a problem for Cuban agriculture and compromises the future of Cuba. The country is currently trying to establish an agricultural system capable of solving the increasing food demand of the population, which is a challenge that consists on stopping soil degradation processes (Sánchez *et al.* 2011 and Murillo *et al.* 2014). In front of this situation, it is necessary to establish soil management systems that allow to obtain sustainable productive results and, at the same time, increase levels of organic matter of Cuban soils with the subsequent improvement of their physical, chemical and biological properties (Silva *et al.* 2011). Recent progresses in research have demonstrated that grasslands integrated with leucaena are the most productive, sustainable and profitable option for the

Para determinar el efecto de *Leucaena leucocephala* en la estructura y el contenido de materia orgánica en el suelo de dos unidades ganaderas de Villa Clara se desarrollaron dos experimentos. Uno fue en la Estación Experimental Agrícola de la Universidad Central de las Villas y otro, en la vaquería “El Mamey” del Instituto Tecnológico Agropecuario “Victoria de Santa Clara”, ambos en suelos pardo mullido carbonatado. En el primero se establecieron cuatro tratamientos: tratamiento 1 (pasto natural), tratamiento 2 (*Leucaena leucocephala*, con cinco años de establecimiento), tratamiento 3 (*Leucaena leucocephala*, con cuatro años de establecida), tratamiento 4 (cultivo permanente de plátano). En el segundo experimento se desarrollaron tres tratamientos: tratamiento 1 (*Leucaena leucocephala*, con tres años de edad en sistema de pastoreo rotacional), tratamiento 2 (*Leucaena leucocephala*, con ocho años de edad en sistema de pastoreo racional), tratamiento 3 (pasto natural). Se tomaron muestras para el análisis de la materia orgánica e indicadores de la estructura (factor de estructura, agregados estables, permeabilidad, límites de plasticidad) a profundidades de 0-10, 10-20 y 20-40 cm. El diseño experimental fue de bloques completos al azar. Los resultados indican que la leucaena influye a largo plazo en el contenido de materia orgánica, como árbol o integrada al sistema silvopastoril (curva de ajuste R^2 0.82-0.92), así como en el factor de estructura, agregados estables y permeabilidad, con valores superiores a 65 % (buenos), 70 % (excelentes) y 2.00 log 10k (excelentes), respectivamente.

Palabras clave: *manejo de suelo, leguminosa, estructura, materia orgánica*

La degradación de los suelos constituye un gran problema para la agricultura cubana y compromete el futuro de Cuba. En el país se trata de establecer actualmente un sistema agrícola que sea capaz de solventar la creciente demanda alimentaria de la población, reto que consiste en detener los procesos de degradación de los suelos (Sánchez *et al.* 2011 y Murillo *et al.* 2014). Ante esta situación, es necesario establecer sistemas de manejo del suelo que permitan obtener resultados productivos sostenibles y, a la vez, elevar los niveles de materia orgánica de los suelos cubanos, con el mejoramiento consecuente de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Silva *et al.* 2011). Los recientes avances en la investigación han demostrado que los pastizales integrados con leucaena constituyen la opción

production of agroecological cattle production (Cuartas *et al.* 2015, Murgueitio *et al.* 2015, Galindo *et al.* 2016 and Solorio *et al.* 2016).

The world has gained knowledge on the important function of trees in agricultural and livestock ecosystems and in the potential possibilities of silvopastoral systems for soil recovery. This theme has been properly managed by different authors (Sánchez *et al.* 2010, 2011, Alonso 2011, Lok and Fraga 2011, Seddaiu *et al.* 2013 and Silva *et al.* 2013), although it is still necessary to deepen in processes taking place in the soil with the use of a legume, like leucaena, in the formation of a stable structure. The objective of this study was to determine, at a long term, the effect of *Leucaena leucocephala* on the structure and content of organic matter in the soil of two cattle rearing units of Villa Clara.

Materials and Methods

Two experiments were conducted: one at the Estación Experimental Agrícola “Álvaro Barba Machado”, from the Universidad Central de las Villas and the other at the dairy farm “El Mamey” from the Instituto Politécnico Agropecuario “Victoria de Santa Clara”, both in fluffy brown carbonated soil (Hernández *et al.* 2015) and under slightly undulated topographical conditions, with proper homogeneity requirements for fulfilling the objectives of study. Experiment 1 was considered as a random block design, with four treatments and four replications. In experiment 2, the same design was analyzed with three treatments and six replications.

Experiment 1. In treatment 1, the area of natural grass was preceded by a conventional agricultural system, with 40 years of exploitation, a total area of 7.3 ha, with a mixture of different species from Poaceae family [*Dichantium spp.* (50 %) + *Paspalum notatum* (22 %)] and Fabaceae [*Centrosema spp.* (8 %), *Alisicarpum vaginalis* (6 %), *Teramnus labiales* (7 %), and *Desmodium spp.* (7 %)].

In treatment 2, the area of *Leucaena leucocephala* cv. Peru, with 0.70 ha and five years of establishment, was occupied by different species of the families Poaceae (*C. nlemfuensis* 79 %), herbaceous Fabaceae (*Teramnus labialis* 18 %) and *Desmodium spp* (3 %), associated to *L. leucocephala*, with a density of 14,298 plants.ha⁻¹.

In treatment 3, the area of *Leucaena leucocephala* cv. Peru, with 3 ha and four years of establishment, was occupied by different species of the Poaceae family (*C. nlemfuensis* 74 %) and herbaceous Fabaceae (*Teramnus labialis* 15 %) and *Desmodium spp* (11 %), associated to *L. leucocephala*, with a density of 14 298 plants. ha⁻¹.

In treatment 4, the area of permanent crop was 0.25 ha of CENSA ³/₄ bananas, with planting density of 1,388 plants. ha⁻¹.

Experiment 2. Three treatments were established.

más productiva, rentable y sostenible para la producción agroecológica de ganado (Cuartas *et al.* 2015, Murgueitio *et al.* 2015, Galindo *et al.* 2016 y Solorio *et al.* 2016).

En el mundo se ha ganado en conocimiento acerca de la importancia del papel de los árboles en los ecosistemas agropecuarios y en las posibilidades potenciales de los sistemas silvopastoriles para la recuperación de los suelos. El tema ha sido debidamente abordado por diversos autores (Sánchez *et al.* 2010, 2011, Alonso 2011, Lok y Fraga 2011, Seddaiu *et al.* 2013 y Silva *et al.* 2013), aunque aún es necesario profundizar en los procesos que tienen lugar en el suelo con la utilización de una leguminosa, como la leucaena, en la formación de una estructura estable. El objetivo de este trabajo fue determinar, a largo plazo, el efecto de *Leucaena leucocephala* en la estructura y el contenido de materia orgánica en el suelo de dos unidades ganaderas de Villa Clara

Materiales y Métodos

Se realizaron dos experimentos: uno en la Estación Experimental Agrícola “Álvaro Barba Machado”, de la Universidad Central de las Villas y otro, en la vaquería “El Mamey” del Instituto Politécnico Agropecuario “Victoria de Santa Clara”, en suelos pardo mullido carbonatados (Hernández *et al.* 2015) y en condiciones topográficas ligeramente onduladas, con requisitos adecuados de homogeneidad para cumplir los objetivos del estudio. El experimento 1 se consideró como un diseño de bloques al azar, con cuatro tratamientos y cuatro réplicas. En el experimento 2, se utilizó el mismo diseño con tres tratamientos y seis réplicas.

Experimento 1. En el tratamiento 1, al área de pasto natural le antecedió un sistema agrícola convencional, con 40 años de explotación, con área total 7.3 ha, ocupada por una mezcla de diferentes especies de las familias Poaceas [*Dichantium spp.* (50 %) + *Paspalum notatum* (22 %)] y Fabaceae [*Centrosema spp.* (8 %), *Alisicarpum vaginalis* (6%), *Teramnus labiales* (7 %), *Desmodium spp.* (7%)].

En el tratamiento 2, el área de *Leucaena leucocephala* vc. Perú, de 0.70 ha, con cinco años de establecida, estuvo ocupada por diferentes especies de las familias Poaceae (*C. nlemfuensis* 79 %), Fabaceas herbáceas (*Teramnus labialis* 18 %) y *Desmodium spp* (3 %), asociadas a la especie arbórea *L. leucocephala*, con densidad de 14 298 plantas.ha⁻¹

En el tratamiento 3, el área de *Leucaena leucocephala* vc. Perú, con cuatro años de establecimiento y área de 3 ha, estuvo ocupada por diferentes especies de las familias Poáceas (*C. nlemfuensis* 74 %) y Fabaceas herbáceas (*Teramnus labialis* 15 %) y *Desmodium spp* (11%), asociadas a la especie arbórea *L. leucocephala*, con una densidad de 14 298 plantas.ha⁻¹.

En el tratamiento 4, el área de cultivo permanente fue de 0.25 ha de plátanos CENSA ³/₄, con densidad de plantación de 1 388 plantas.ha⁻¹.

Experimento 2. Se establecieron tres tratamientos.

Two of them in a rotational grazing system, with an intensity of 244.8 LAU.ha⁻¹.d⁻¹.

In treatment 1, the area established with three-year-old trees, specifically *Leucaena leucocephala* cv. Peru, was planted with a population density of 12 500 plants.ha⁻¹, of natural pastures *Cynodon nlemfuensis* (60 %), *Paspalum notatum* (12 %) and *Dichanthium annulatum* (2 %).

Treatment 2 corresponded to an area established with eight-year-old trees of *L. leucocephala* cv. Peru. It was planted with a population density of 9 500 plants. ha⁻¹. The naturally associated pastures were *Paspalum notatum* (23 %), *Cynodon dactylon* cv. common (9 %) and *Cynodon nlemfuensis* (68 %).

In treatment 3, the treeless area was occupied by the natural grasses *Cynodon nlemfuensis* (33%), *Dichanthium annulatum* (42%) and *Panicum maximum* cv. common (25%).

Soil sampling procedure in the experiments. In each treatment of both experiments, samples were taken at 0-10, 10-20 and 20-40 cm deep. In experiment 1, three samplings were performed during the five years of study (144 samples). The first was at the beginning of the experiment, the second with leucaena of two and three years of establishment and the third, with leucaena of four and five years, which allowed to obtain results of the effect of leucaena in a long term. Experiment 2 was conducted in areas established with leucaena in silvopastoral systems of three and eight years. A single sampling was performed (54 samples). Each sample was representative of a composed sample with a natural structure, taken diagonally.

Physical analysis. Permeability coefficient (Perm. (Log k) was determined according to the method of Henin *et al.* (1958). Structure factor (SF), according to Vageler and Alten (1931) and stable aggregates (SA) according to the method of Henin *et al.* (1958). The upper limit of plasticity (UPL) was calculated by the cone method, Vasiliev's Balancín (Atterberg 1911), and the lower limit of plasticity (LPL), by the method of the rolls of Atterberg (1911). Plasticity index (PI) was determined by the numerical difference between the upper and lower limits. It has no measuring unit.

Chemical analysis. Organic matter was determined according to the colorimetric method of Walkley and Black (1934), by oxidation with potassium dichromate and concentrated sulfuric acid.

Statistical analysis. For statistical processing, the professional software package STATGRAPHICS and SPSS on Windows 2000 (IBM Corporation 1998, Statistical Graphics Crop 2000) was used. Simple classification ANOVA was applied with the TUKEY HSD (Tukey 1949) means comparison test, as well as linear and polynomial regression techniques.

Results and Discussion

Effect of Leucaena on soil structure. Results of

Dos de ellos en un sistema de pastoreo rotacional, con intensidad de 244.8 UGM.ha⁻¹.d⁻¹.

En el tratamiento 1, el área establecida con árboles de tres años de edad, específicamente *Leucaena leucocephala* cv. Perú, se sembró con densidad de población de 12.500 plantas.ha⁻¹, de pastos naturales *Cynodon nlemfuensis* (60 %), *Paspalum notatum* (12 %) y *Dichanthium annulatum* (2 %).

El tratamiento 2 correspondió a un área establecida con árboles de ocho años de *L. leucocephala* cv. Perú. Se sembró con densidad de población de 9 500 plantas.ha⁻¹. Los pastos asociados de forma natural fueron *Paspalum notatum* (23 %), *Cynodon dactylon* vc. común (9 %) y *Cynodon nlemfuensis* (68 %).

En el tratamiento 3, el área desprovista de árboles estuvo ocupada por los pastos naturales *Cynodon nlemfuensis* (33 %), *Dichanthium annulatum* (42 %) y *Panicum maximum* vc. común (25 %).

Procedimiento de muestreo de suelo en los experimentos. En cada tratamiento de los dos experimentos se tomaron muestras a profundidades de 0-10, 10-20 y 20-40 cm. En el experimento 1, se realizaron tres muestreos durante los cinco años de estudio (144 muestras). El primero fue al inicio del experimento, el segundo con leucaena de dos y tres años de establecida y el tercero, con leucaena de cuatro y cinco años, lo que permitió obtener resultados del efecto de leucaena a largo plazo. El experimento 2 se realizó en áreas establecidas con leucaena en sistemas silvopastoril de tres y ocho años. Se realizó un solo muestreo (54 muestras). Cada muestra fue representativa de una muestra compuesta con estructura natural, tomada de forma diagonal.

Análisis físico. El coeficiente de la permeabilidad (Perm. (Log k)) se determinó según el método de Henin *et al.* (1958). El factor estructura (FE), de acuerdo con Vageler y Alten (1931) y los agregados estables (AE) según el método de Henin *et al.* (1958). El límite superior de plasticidad (LSP) se calculó por el método del cono, de Balancín de Vasiliev (Atterberg 1911) el límite inferior de plasticidad (LIP), por el método de los rollitos de Atterberg (1911). El índice de plasticidad (IP) se determinó por la diferencia numérica entre los límites superior e inferior. No tiene unidad de medida.

Análisis químico. La materia orgánica se determinó según el método colorimétrico de Walkley y Black (1934), por oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

Análisis estadístico. Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete de programas profesional STATGRAPHICS y SPSS sobre Windows 2000 (IBM Corporation 1998, Statistical Graphics Crop 2000). Se aplicó ANOVA de clasificación simple con la prueba de comparación de medias TUKEY HSD (Tukey 1949) y técnicas de regresión lineal y polinomial.

Resultados y Discusión

Efecto de leucaena en la estructura del suelo. Los

experiment 1 evidence not only the influence of leucaena on stable aggregates and structure factor but also on plasticity indicators, after four and five years under this tree system (tables 1, 2 and 3). In this case, increases of structure factor and stable aggregates of 10 % are achieved for any of the studied depths regarding natural grass (treatment1). This indicates the increase of the active layer of soil and the creation of conditions for a good air and water relationship (Cairo *et al.* 2008). Structure, together with texture, determines physical complexity of soil. It was verified that crop yields are many times limited by improper structural state of soils. For these reasons, in order to increase crop yields, it is important to take care of physical state of soils and, specially, its structure (Lopes *et al.* 2016). In all depths, it was observed that, for high values of stable aggregates and structure factor, there are decreases of the upper plasticity limit and increase of the lower plasticity limit. Therefore, there are decreases

resultados del experimento 1 evidencian no solo la influencia de leucaena en los agregados estables y el factor estructura sino también en los indicadores de la plasticidad, después de cuatro y cinco años en el sistema con el árbol (tablas 1, 2 y 3). En este caso, se logran incrementos del factor estructura y agregados estables del 10 % para cualquiera de las profundidades estudiadas en relación con el pasto natural (tratamiento1). Esto es indicativo del aumento de la capa activa del suelo y de la creación de las condiciones para una buena relación aire y agua (Cairo *et al.* 2008). La estructura, unida a la textura, determina la complejidad física del suelo. Se ha comprobado que los rendimientos de los cultivos se limitan muchas veces por el inadecuado estado estructural de los suelos. Por estas razones, para elevar los rendimientos de los cultivos hay que atender el estado físico del suelo y, en especial, su estructura (Lopes *et al.* 2016). En todas las profundidades se observó que para valores altos de agregados estables y factor estructura se manifiestan disminuciones del límite

Table 1. Influence of leucaena on the structural state of soil in different studied zones, from 0 to 10 cm.

| Treatments | SA (%) | SF (%) | Permeability log 10 k | UPL(%Hbss) | LPL(%Hbss) | PI |
|------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 61.62 ^b | 59.54 ^b | 1.94 ^a | 63.51 ^a | 37.86 ^c | 25.65 ^a |
| 2 | 74.01 ^a | 70.63 ^a | 1.96 ^a | 56.40 ^a | 42.76 ^b | 12.66 ^b |
| 3 | 73.88 ^a | 71.19 ^a | 2.00 ^a | 56.58 ^a | 46.69 ^a | 9.40 ^b |
| 4 | 72.37 ^a | 69.37 ^a | 1.97 ^a | 63.14 ^a | 37.39 ^c | 25.28 ^a |
| SE ± | 1.39 | 1.36 | 0.016 | 1.23 | 1.05 | 2.00 |

^{a, b, c} Means with different letters in the same column differ by Tukey HSD at P < 0.05.

Treatment 1 = Natural grass, Treatment 2 = Leucaena of 5 years, Treatment 3 = Leucaena of 4 years, Treatment 4 = Area under permanent crop (banana). SA = Stable aggregates, SF = Structure factor, UPL = Upper plasticity limit, LPL = Lower plasticity limit, PI = Plasticity index

Table 2. Influence of leucaena on the structural state of soil in different studied zones, from 10 to 20 cm.

| Treatments | SA (%) | SF (%) | Permeability log 10 k | UPL(%Hbss) | LPL(%Hbss) | PI |
|------------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 61.24 ^b | 58.29 ^b | 1.89 ^a | 64.23 ^a | 36.67 ^c | 27.56 ^a |
| 2 | 74.00 ^a | 72.06 ^a | 1.97 ^a | 58.31 ^{ab} | 41.97 ^b | 16.31 ^b |
| 3 | 72.80 ^a | 71.37 ^a | 1.97 ^a | 56.62 ^b | 46.15 ^a | 10.72 ^b |
| 4 | 71.30 ^a | 69.28 ^a | 1.96 ^a | 59.16 ^{ab} | 36.09 ^c | 23.08 ^a |
| SE ± | 1.35 | 1.46 | 0.015 | 1.02 | 1.13 | 1.79 |

^{a, b, c} Means with different letters in the same column differ by Tukey HSD at P < 0.05.

Treatment 1 = Natural grass, Treatment 2 = leucaena of 5 years, Treatment 3 = leucaena of 4 years, Treatment 4 = Area under permanent crop (banana). SA = Stable aggregates, SF = Structure factor, UPL = Upper plasticity limit, LPL = Lower plasticity limit, PI = Plasticity index

Table 3. Influence of leucaena on the structural state of soil in different studied zones, from 20 to 40 cm.

| Treatments | SA (%) | SF (%) | Permeability log 10 k | UPL(%Hbss) | LPL(%Hbss) | PI |
|------------|---------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 61.28 ^c | 57.56 ^b | 1.83 ^b | 67.47 ^a | 37.36 ^{bc} | 30.10 ^a |
| 2 | 75.62 ^a | 71.21 ^a | 2.03 ^a | 59.66 ^{ab} | 41.20 ^b | 18.96 ^c |
| 3 | 73.18 ^{ab} | 70.47 ^a | 1.96 ^{ab} | 56.58 ^b | 46.62 ^a | 10.46 ^{bc} |
| 4 | 70.87 ^b | 69.32 ^a | 1.92 ^{ab} | 59.51 ^{ab} | 36.71 ^c | 22.80 ^{ab} |
| SE ± | 1.47 | 1.47 | 0.024 | 1.45 | 1.1 | 2.04 |

^{a, b, c} Means with different letters in the same column differ by Tukey HSD at P < 0.05.

Treatment 1 = Natural grass, Treatment 2 = leucaena of 5 years, Treatment 3 = leucaena of 4 years, Treatment 4 = Area under permanent crop (banana). SA = Stable aggregates, SF = Structure factor, UPL = Upper plasticity limit, LPL = Lower plasticity limit, PI = Plasticity index

of plasticity index, which are important aspects for soil management and work (Munkholm 2013).

Every management system provokes an effect on soil, which is reflected up to 40 cm deep. In treatment 2, with leucaena of five years of exploitation, there were superior increases of stable aggregates and permeability log 10 k at that depth. This is a result of the action of soil fauna for the formation of lumps and biostructure (Sánchez *et al.* 2010 and Seddaiu *et al.* 2013). Crespo (2013) points out the influence of soil organisms on the dynamic balance of its quality and states that besides worms, there are many other species of soil organisms responsible for these results. Treatment 4, with banana as permanent crop, showed similar results regarding structure factor and stable aggregates to those with leucaena in the first two depths due to the contribution of banana biomass and conditions for a good biological activity. It was not the same with the lower plasticity limit and plasticity index, in which there are significant differences in favor of leucaena.

Effect of leucaena on the content of organic matter and structure according to time. Effects of leucaena tree (experiment 1) on soil (figures 1, 2 and 3) are not only shown on the profile depth. They are also demonstrated, at a long term, according to time (Lok and Fraga 2011).

superior de plasticidad e incremento de límite inferior de plasticidad. Por consiguiente, se producen disminuciones del índice de plasticidad, aspectos muy importantes para el manejo de los suelos y su laboreo (Munkholm 2013).

Cada sistema de manejo provoca efecto en el suelo, lo que se refleja hasta los 40 cm de profundidad. En el tratamiento 2, con leucaena de cinco años se observaron mayores incrementos de los agregados estables y permeabilidad log 10 k a esa profundidad. Este resultado es consecuencia de la acción de la fauna del suelo para la formación de los grumos y de la bioestructura (Sánchez *et al.* 2010 y Seddaiu *et al.* 2013). Crespo (2013) destaca la influencia de los organismos del suelo en el equilibrio dinámico de su calidad y señala que además de las lombrices, hay muchas otras especies de organismos del suelo que son responsables de estos resultados. El tratamiento 4, con plátano como cultivo permanente, mostró resultados similares en cuanto al factor de estructura y los agregados estables a leucaena en la dos primeras profundidades, debido al aporte de biomasa del plátano y las condiciones para una buena actividad biológica. No sucedió así en cuanto al límite inferior de plasticidad e índice de plasticidad, en los que se manifiestan diferencias significativas a favor de Leucaena.

Efecto de la leucaena en el contenido de materia orgánica y la estructura en función del tiempo. Los efectos del árbol leucaena (experimento 1) en el suelo

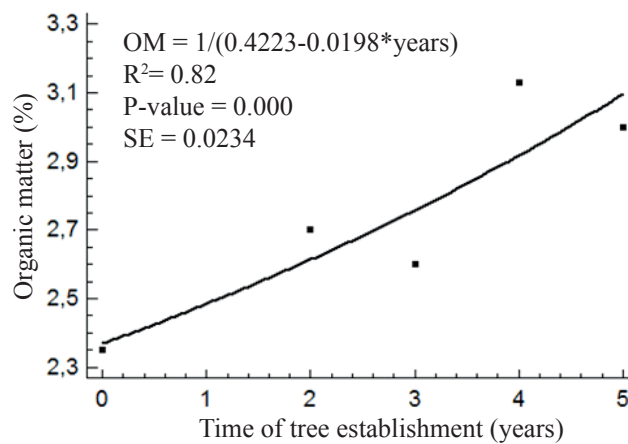


Figure 1. Effect of leucaena on organic matter according to time, from 0 to 10 cm deep

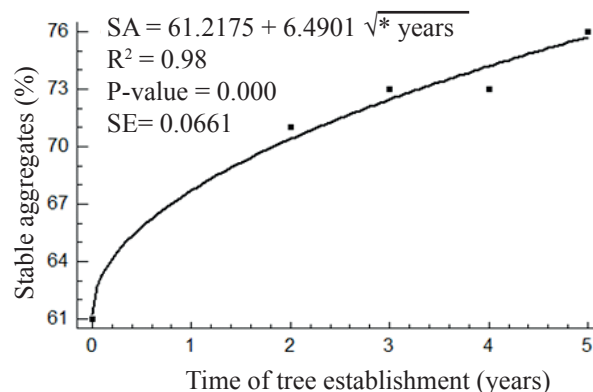


Figure 2. Effect of leucaena on stable aggregates according to time, from 20 to 40 cm deep

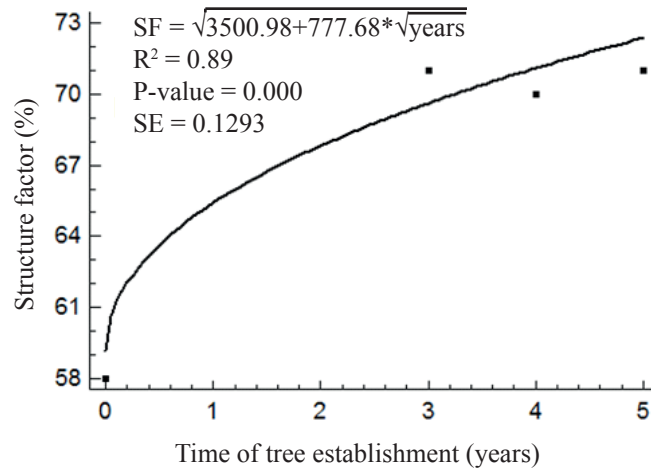


Figure 3. Effect of leucaena on structure factor according to time, from 10 a 20 cm deep

Stable aggregates, such as structure factor, show a progressive increase with the years of establishment of leucaena, on the surface and on depth, which could have a great economic and environmental meaning (figures 2 and 3).

The fact of reaching organic matter levels over 3 %, stable aggregates to water in values of more than 70 % and structure factor close to 70 %, at four years of permanence of leucaena tree, it is evidence of feasibility of soil recovery. In addition, this agrees with the stated by Lok and Fraga (2011), when they studied the effect of leucaena on soil stability under other edaphoclimatic conditions. Other studies confirm the increase of structural stability of a red ferrallitic soil in silvopastoral system (*Panicum maximum* cv. Likoni and *Leucaena leucocephala* cv. Peru) regarding evaluation time (Lok *et al.* 2006).

Researches carried out by Crespo (2013, 2015) report that contributions of litter in permanent grasslands, with an emphasis on perennial legumes and accumulation of underground phytomass, are components of great significance for improving organic matter content and recovering soil fertility and grassland productivity. This was also confirmed by Rodríguez *et al.* (2006). Soil, with the improvement of its properties in the time and through its profile, will be in better conditions for absorbing water and better capacity to retain it. This will reduce the differences of biomass production during dry period unlike the rainy one in agricultural ecosystems (Murgueitio *et al.* 2015). Devendra (2014), Martínez *et al.* (2014) and Binyam (2015), among other authors, stated that the introduction of trees and shrubs on agricultural ecosystems favors soil conservation, reduction of wind and rain erosion and carbon dioxide capturing. Organic renovation cycle is increased when leaves, fruits and branches, among other environmental services, return to the soil. This increases plant diversity and may increase economical productivity of integral farms for livestock and agriculture.

(figuras 1, 2 y 3) no solo se manifiestan en la profundidad del perfil sino también se muestran a largo plazo en función del tiempo (Lok y Fraga 2011).

Los agregados estables, como es el factor de estructura, manifiestan aumento progresivo con los años de establecida la leucaena, en la superficie como en la profundidad, lo que puede tener gran significado económico y ambiental (figuras 2 y 3).

El hecho de alcanzar niveles de materia orgánica por encima de 3 %, agregados estables al agua en valores de más del 70 % y factor de estructura próximo a 70 %, a los cuatro años de permanencia de la leucaena, evidencia la factibilidad de la recuperación de los suelos. Además, concuerda con lo planteado por Lok y Fraga (2011) al estudiar el efecto de la leucaena en la estabilidad del suelo en otras condiciones edafoclimáticas. Otros estudios confirman el incremento de la estabilidad estructural de un suelo ferralítico rojo en un sistema silvopastoril (*Panicum maximum* cv. Likoni y *Leucaena leucocephala* cv. Peru) en relación con el tiempo de evaluación (Lok *et al.* 2006).

Las investigaciones realizadas por Crespo (2013, 2015) ponen de manifiesto que los aportes de hojarasca en pastizales permanentes, con énfasis en leguminosas perennes y la acumulación de la fitomasa subterránea, son componentes de gran significación para mejorar el contenido de materia orgánica y recuperar la fertilidad de los suelos y la productividad de los pastizales. Esto también lo confirmaron Rodríguez *et al.* (2006). El suelo, al mejorar sus propiedades en el tiempo y a través de su perfil, estará en mejores condiciones para captar agua, y con mayor capacidad de retenerla. Con ello se atenúan las diferencias de producción de biomasa que se producen en el período poco lluvioso en contraste con el lluvioso en los agroecosistemas (Murgueitio *et al.* 2015). Devendra (2014), Martínez *et al.* (2014) y Binyam (2015), entre otros autores, plantearon que la introducción de árboles y arbustos en los agroecosistemas pecuarios favorece la conservación de los suelos, la reducción de la erosión eólica y pluvial, y la captación de dióxido de carbono. El

Effect of leucaena in a silvopastoral system on organic matter content and permeability of soil according to time. The use of leucaena, integrated to a silvopastoral system established for a long period of time (experiment 2), confirms its function on soil recovery under the studied conditions. Figure 4 shows, in an adjustment curve with R^2 0.92, the close relationship of organic matter with the system established according to time. After five years, changes of category of organic matter are achieved, from low to medium, with great environmental implication and carbon capture (Crespo 2011). Miranda *et al.* (2007) demonstrated that silvopastoral systems reach higher C capture in the soil than grasslands only composed by grasses. Alonso (2011), Nahed-Toral *et al.* (2013) and Chen and Tang (2016) carried out an integral analysis on advantages of silvopastoral systems in the context of environmental protection and, specifically, in carbon sequestration and soil improvement. Martínez *et al.* (2014) stated that, with time, the traditional system of cattle production only based on grasses has contributed to soil acidification and nutrient exhaustion. In contrast, after 13 years, silvopastoral systems had a significant influence on nutrient cycle per production of biological decomposition of biomass. As a result, these systems

ciclo de renovación orgánica se incrementa al retornar al suelo, hojas, frutas y ramas, entre otros servicios ambientales. Esto aumenta la diversidad vegetal y puede incrementar la productividad económica de las fincas integradas ganadería-agricultura.

Efecto de Leucaena en sistema silvo[astoril en el contenido de materia orgánica del suelo en función del tiempo. La utilización de leucaena, integrada a un sistema silvopastoril establecido durante un largo período de tiempo (experimento 2), confirma su función en la recuperación del suelo en las condiciones estudiadas. La figura 4 ilustra en una curva de ajuste con R^2 0.92 la estrecha relación de la materia orgánica con el sistema establecido en función del tiempo. A partir de los cinco años se logran cambios de categoría de la materia orgánica, de bajo a mediano, con gran implicación ambiental y secuestro de carbono (Crespo 2011). Miranda *et al.* (2007) demostraron que los sistemas silvopastoriles logran mayor captura de C en el suelo que los pastizales compuestos solo por gramíneas. Alonso (2011), Nahed-Toral *et al.* (2013) y Chen y Tang (2016) realizaron un análisis integral acerca de las ventajas de los sistemas silvopastoriles en el contexto de la protección del medio ambiente y, en particular, en el secuestro de carbono y el mejoramiento de los suelos. Martínez *et al.* (2014) señalaron que con el tiempo, el sistema tradicional

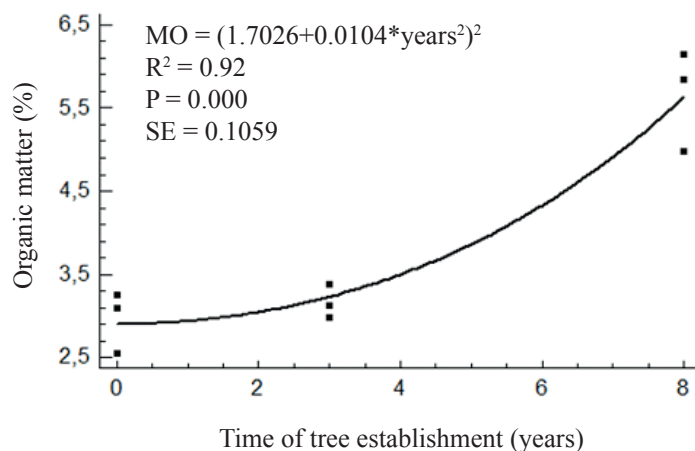


Figure 4. Effect of leucaena under a silvopastoral system established in the content of soil materials according to time (0-20) cm

may maintain or increase the reaction to soil and quality parameters.

Figure 5 shows the response of leucaena in a silvopastoral system established over the structural state of soil, represented by permeability log 10k. Some authors, like Sánchez *et al.* (2010) and Crespo (2013), in their studies, have granted priority to composition and quality of biomass that reaches soil in silvopastoral systems (grasses-legumes-dung-urine), and decomposition processes (Biocenosis), which have vital importance. However, there are only few studies about structural state of soils, which is the final result of all this process. Structure formation and its stability represent, basically, the base of formation of organ-

de producción ganadera basado solamente en pastos ha contribuido a la acidificación del suelo y al agotamiento de los nutrientes. En contraste, después de 13 años, los sistemas silvopastoriles influyeron significativamente en el ciclo de nutrientes por la producción de la descomposición biológica de la biomasa. Como resultado de ello, estos sistemas pueden mantener o aumentar la reacción del suelo y los parámetros de calidad.

La figura 5 muestra la respuesta de la leucaena en un sistema silvopastoril establecido en el estado estructural del suelo, representado por la permeabilidad log 10k. Algunos autores, como Sánchez *et al.* (2010) y Crespo (2013), han priorizado en sus estudios en sistemas silvopastoriles la composición y calidad de la biomasa que

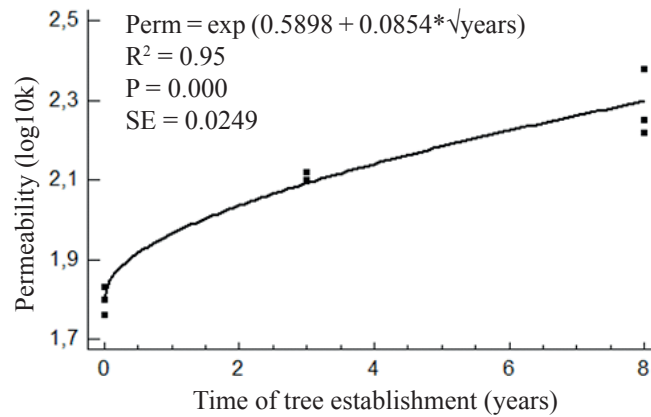


Figure 5. Effect of leucaena under a silvopastoral system established in soil permeability according to time (0-20) cm

minerals complexes. This includes a residual effect, with a proper management, in spite of the stocking rate of the system (Lok and Fraga 2011). Permeability goes from values of 1.8 (adequate) to 2.3 (excellent), with evident change of category (Cairo *et al.* 2008). This provokes increases in more than ten times the permeability values of soil. Worms had a notorious influence on this result (Crespo 2013 and Murgueitio *et al.* 2015).

It is concluded that leucaena provoked significant effects on the studied depths in indicators of structure and consistency of soil, in favor of the improvement of its quality and productivity. Significant results were reached, at a long term, in organic matter, according to its function as tree or integrated to silvopastoral system (adjustment curve R^2 (0.82-0.92) and on structure factor, stable aggregates and permeability, which maintained superior values to 65 % (good), 70 % (good) and 2.00 log 10k (excellent), respectively. It is suggested the use of these indicators in the recovery and quality control of fluffy brown carbonated soil used for cattle rearing.

llega al suelo (gramíneas-leguminosas-bosta-orina) y los procesos de descomposición (Biocenosis), cuestiones de gran importancia. Sin embargo, se ha estudiado muy poco acerca del estado estructural del suelo, que es resultado final de todo este proceso. La formación de la estructura y de su estabilidad constituye, en esencia, la base de la formación de los complejos órgano- minerales. Esto lleva implícito un efecto residual, si se logra un adecuado manejo, a pesar de la carga animal del sistema (Lok y Fraga 2011). La permeabilidad pasa desde valores de 1.8 (adecuado) a 2.3 (excelente), con evidente cambio de categoría (Cairo *et al.* 2008). Esto provoca incrementos en más de diez veces el valor de la permeabilidad del suelo. En este resultado han influido notoriamente las lombrices (Crespo 2013 y Murgueitio *et al.* 2015).

Se concluye que la leucaena provocó efectos significativos en la profundidades estudiadas en los indicadores de la estructura y consistencia del suelo, a favor del mejoramiento de su calidad y productividad. Se alcanzaron resultados significativos a largo plazo en la materia orgánica, ya sea en su función como árbol o integrada al sistema silvopastoril (curva de ajuste R^2 (0.82-0.92) y sobre el factor de estructura, agregados estables y permeabilidad, que mantuvieron valores superiores a 65 % (bueno), 70 % (bueno) y 2.00 log 10k (excelente), respectivamente. Se recomienda utilizar estos indicadores en la recuperación y control de la calidad de los suelos pardos mullidos carbonatados utilizados en la ganadería.

References

- Alonso, J. 2011. "Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente". Cuban Journal of Agricultural Science, 45(2): 107–115, ISSN: 2079-3480.
- Atterberg, A. 1911. "Die Plastizität der Tone". Internationale Mitteilungen für Bodenkunde, 1: 10–43.
- Binyam, A. 2015. "The Effect of Land Use Land Cover Change on Land Degradation in the Highlands of Ethiopia". Journal of Environment and Earth Science, 5(1): 1–12, ISSN: 2224-3216, 2225-0948.
- Cairo, P. C., Ribalta, B., Torres, A. P., Jiménez, C. R., Dávila, A., Rodríguez, L. O. & Rodríguez, U. A. 2008. "Disponibilidad de nutrientes, estructura y relación agua-aire bajo diferentes manejos de un suelo pardo mullido carbonatado". Centro Agrícola, 35(4): 11–14, ISSN: 0253-5785, 2072-2001.
- Chen, J. & Tang, H. 2016. "Effect of Grazing Exclusion on Vegetation Characteristics and Soil Organic Carbon of *Leymus chinensis* Grassland in Northern China". Sustainability, 8(1): 56, ISSN: 2071-1050, DOI: 10.3390/su8010056.
- Crespo, G. 2011. "Comportamiento de la materia orgánica del suelo en pastizales". Cuban Journal of Agricultural Science, 45(4): 343–347, ISSN: 2079-3480.
- Crespo, G. 2013. "Funciones de los organismos del suelo en el ecosistema de pastizal". Cuban Journal of Agricultural

- Science, 47(4): 329–334, ISSN: 2079-3480.
- Crespo, G. 2015. “Factores que influyen en el reciclaje de nutrientes en pastizales permanentes, avances en el desarrollo de su modelación”. Cuban Journal of Agricultural Science, 49(1): 1–10, ISSN: 2079-3480.
- Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Tarazona, A. M., Correa, G. A. & Barahona, R. 2015. “Dry matter and nutrient intake and diet composition in *Leucaena leucocephala*-based intensive silvopastoral systems”. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 18(3): 303–311, ISSN: 1870-0462.
- Devendra, C. 2014. “Perspectives on the Potential of Silvopastoral Systems”. Agrotechnology, 3(1): 2–8, ISSN: 2168-9881, DOI: 10.4172/2168-9881.1000117.
- Galindo, J., Gutiérrez, O., Ramayo, M. & Leyva, L. 2016. “Mineral status of cows and its relationship with the soil-plant system in a dairy unit of the Eastern region of Cuba”. Cuban Journal of Agricultural Science, 48(3): 371–380, ISSN: 2079-3480.
- Henin, S., Monnier, G. & Combeau, A. 1958. “Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols”. Annales Agronomiques, (1): 73–92, ISSN: 0003-3839.
- Hernández, J. A., Pérez, J. J. M., Bosch, I. D. & Castro, S. N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA, 93 p., ISBN: 978-959-7023-77-7.
- IBM Corporation 1998. IBM SPSS Statistics. version 8, [Windows], U.S: IBM Corporation, Available: <<http://www.ibm.com>>.
- Lok, S., Crespo, G., Frómata, E. & Fraga, S. 2006. “Estudio de indicadores de estabilidad del pasto y el suelo en un sistema silvopastoril con novillas lecheras”. Cuban Journal of Agricultural Science, 40(2): 229–237, ISSN: 2079-3480.
- Lok, S. & Fraga, S. 2011. “Comportamiento de indicadores del suelo y del pastizal en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*/*Cynodon nlemfuensis* con ganado vacuno en desarrollo”. Cuban Journal of Agricultural Science, 45(2): 195–202, ISSN: 2079-3480.
- Lopes, E., Cairo, P., Colás, A. & Rodríguez, A. 2016. “Relaciones entre las propiedades indicadoras de calidad, en dos subtipos de suelo pardos, en la provincia de Villa Clara”. Centro Agrícola, 43(1): 21–28, ISSN: 0253-5785.
- Martínez, J., Cajas, Y. S., León, J. D. & Osorio, N. W. 2014. “Silvopastoral Systems Enhance Soil Quality in Grasslands of Colombia”. Applied and Environmental Soil Science, 2014: 1–8, ISSN: 1687-7667, 1687-7675, DOI: 10.1155/2014/359736.
- Miranda, T., Machado, R., Machado, H. & Duquesne, P. 2007. “Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica. Estudio de caso”. Pastos y Forrajes, 30(4): 0–0, ISSN: 0864-0394.
- Munkholm, L. 2013. Soil Friability- concept, assessment, and effects of soil properties and management. Ph.D. Thesis, Department of Agroecology, Aarhus University, Denmark, 43 p., Available: <<https://www.researchgate.net/publication/276919474>>, [Consulted: January 1, 2016].
- Murgueitio, E., Barahona, R., Chará, J. D., Flores, M. X., Mauricio, R. M. & Molina, J. J. 2015. “The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry”. Cuban Journal of Agricultural Science, 49(4): 541–554, ISSN: 2079-3480.
- Murillo, J., Rodríguez, G., Roncallo, B., Rojas, L. A. & Bonilla, R. R. 2014. “Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados”. Pastos y Forrajes, 37(3): 270–278, ISSN: 0864-0394.
- Nahed-Toral, J., Valdivieso-Pérez, A., Aguilar-Jiménez, R., Cámara-Cordova, J. & Grande-Cano, D. 2013. “Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production”. Journal of Cleaner Production, 57: 266–279, ISSN: 0959-6526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.06.020.
- Rodríguez, I., Crespo, G., Lok, S., Torres, V. & Fraga, S. 2006. “Indicadores de sostenibilidad en el sistema suelo-planta-animal en Cuba. Nota técnica”. Cuban Journal of Agricultural Science, 40(2): 239–242, ISSN: 2079-3480.
- Sánchez, S., Crespo, G. J. & Hernández, M. 2010. “Descomposición de la hojarasca en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit cv. Cunningham: III. Influencia de la densidad y diversidad de la macrofauna asociada”. Pastos y Forrajes, 33(1), ISSN: 0864-0394, Available: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942010000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=en>, [Consulted: September 5, 2017].
- Sánchez, S., Hernández, M. & Ruz, F. 2011. “Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios”. Pastos y Forrajes, 34(4): 375–392, ISSN: 0864-0394.
- Seddaiu, G., Porcu, G., Ledda, L., Roggero, P. P., Agnelli, A. & Corti, G. 2013. “Soil organic matter content and composition as influenced by soil management in a semi-arid Mediterranean agro-silvo-pastoral system”. Agriculture, Ecosystems & Environment, 167: 1–11, ISSN: 0167-8809, DOI: 10.1016/j.agee.2013.01.002.
- Silva, A. B., Lira, M. A., Dubeux, J. C. B., Figueiredo, M. do V. B. & Vicentin, R. P. 2013. “Soil litter stock and fertility after planting leguminous shrubs and forage trees on degraded signal grass pasture”. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37(2): 502–511, ISSN: 0100-0683, DOI: 10.1590/S0100-06832013000200021.
- Silva, G. L., Lima, H. V., Campanha, M. M., Gilkes, R. J. & Oliveira, T. S. 2011. “Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region”. Geoderma, 167: 61–70, ISSN: 0016-7061, DOI: 10.1016/j.geoderma.2011.09.009.
- Solorio, F. J., Basu, S. K., Sarabia, L., Ayala, A., Ramírez, L., Aguilar, C., Eroles, J. A., Ku, J. C. & Wright, J. 2016. “The Potential of Silvopastoral Systems for Milk and Meat Organic Production in the Tropics”. In: Organic Farming for Sustainable Agriculture, (ser. Sustainable Development and Biodiversity), Springer, pp. 169–183, ISBN: 978-3-319-26801-9, DOI: 10.1007/978-3-319-26803-3_8, Available: <<https://link.springer.com/>>

- chapter/10.1007/978-3-319-26803-3_8>, [Consulted: September 5, 2017].
- Statistical Graphics Crop 2000. STATGRAPHICS® Plus. (ser. Profesional), version 5.1, [Windows], Available: <<http://www.statgraphics.com/statgraphics/statgraphics.nsf/pd/pdpricing>>.
- Tukey, J. W. 1949. "Comparing Individual Means in the Analysis of Variance". *Biometrics*, 5(2): 99–114, ISSN: 0006-341X, DOI: 10.2307/3001913.
- Vageler, P. & Alten, F. 1931. "Böden des Nil und Gash. I. Ein Beitrag zur Kenntnis arider Irrigationsböden". *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 21(1): 47–57, ISSN: 0372-9702, 1522-2624, DOI: 10.1002/jpln.19310210104.
- Walkley, A. & Black, I. A. 1934. "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method". *Soil science*, 37(1): 29–38, ISSN: 0038-075X, 1538-9243.

Received: February 28, 2017