



El manejo agrícola modifica propiedades y la disponibilidad de metales pesados en suelos Ferralíticos rojos

The agricultural management modifies properties and the heavy metals availability in Red Ferrallitic soils

M.Sc. Reinaldo Reyes-Rodríguez, Dr.C. Fernando Guridi-Izquierdo, Dr.C. Ramiro Valdés-Carmenate

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Dpto. Química, Grupo FITOPLANT, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. El manejo agrícola no eficiente y bajo condiciones poco sustentables, provoca efectos desfavorables a los agroecosistemas, constituyendo fuente de entrada de contaminantes y modificaciones de las propiedades del suelo. En Cuba no está actualizada esta información, representando un peligro para la producción agrícola y la seguridad alimentaria. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de las prácticas de manejo sobre las propiedades físicas, químicas, físico-químicas y la disponibilidad de metales pesados en cinco manejos diferentes sobre dos tipos de suelos Ferralíticos Rojos de la provincia Mayabeque. Se determinaron la textura, la estabilidad estructural, el pH (en agua y KCl), los contenidos de sodio, potasio, calcio, magnesio, el carbono orgánico soluble, así como el cadmio, cobre, níquel y plomo biodisponible. Los resultados mostraron diferencias en las propiedades evaluadas, siendo el sistema de manejo Ferralítico Rojo hidratado bajo cultivo de papa FRh (P), el que indujo los indicadores más desfavorables. Los suelos de uso intensivo registraron los mayores valores para Cu^{2+} , Pb^{2+} y Ni^{2+} , en el caso del Cd^{2+} el manejo del cultivo papa presentó el contenido más elevado, alcanzando un valor superior al referido como máximo permisible en varios países y para los suelos Ferralíticos Rojos de Cuba.

Palabras clave: estructura del suelo, contaminante, indicadora de fertilidad, carbono orgánico.

ABSTRACT. Non efficient agricultural management, especially, under not very sustainable conditions may provoke unfavorable effects to agro ecosystems. This constitutes source of entrance of pollutants and modifications of the natural properties of the soils. It is important to monitoring the impact of management systems as for the availability of heavy metals, as well as for the modifications they cause in soils properties and quality of cultivations. In Cuba, this information is no up dated, which represents a hazard for agricultural production and food security. The objective of this work was to evaluate the effect of management practices on physical, chemical, physical-chemical properties and availability of heavy metals in five different managing on two types of red ferrallitic soils of Mayabeque province. The texture, the structural stability, the pH (in water and KCl), the contents of sodium, potassium, calcium, magnesium, the soluble organic carbon, as well as the cadmium, copper, nickel and lead available were determined. The results showed differences in the evaluated properties, being the management system of Ferrallitic Red hydrated under potato cultivation FRh (P), was the one that induced the more indicators unfavorable. The soils of intensive use registered the biggest values for Cu^{2+} , Pb^{2+} , and Ni^{2+} , in the case of Cd^{2+} the management of the cultivation potato presented the highest content, reaching a superior value to the one referred as permissible maximum in several countries and for Ferrallitic Red soils of Cuba.

Keywords: soil structure, contaminants, fertility indicators, organic carbon.

INTRODUCCIÓN

Las prácticas insostenibles de gestión del suelo por la actividad humana sobre ellos está alcanzando niveles críticos; reduciendo, en ocasiones o eliminando las funciones principales del suelo. En Cuba, la contaminación de los suelos es uno de los problemas medioambientales principales, esta situación se acen-

INTRODUCTION

Untenable practices of soil management due to human activity on them are reaching critical levels; reducing, in occasions, or eliminating the main functions of soils. In Cuba, soil contamination is one of the main environmental problems. That situation is accentuated by synergy action among multiple fac-

túa por la acción de sinergia entre múltiples factores: pérdida de diversidad biológica, la erosión, salinización, reducción de nutrientes, el cambio climático, entre otros (Amaral *et al.*, 2013).

La agricultura actual tiene como tarea fundamental, la producción de alimentos de alta calidad, en un ambiente natural, bajo condiciones sustentables, donde juega un papel importante el manejo agronómico eficiente de los agroecosistemas. Los suelos Ferralíticos Rojos (FR) de la llamada «Llanura Roja de La Habana», antigua provincia La Habana (actual provincias de Mayabeque y Artemisa), resultan por sus características de los mejores suelos agrícolas del país y producen alimentos destinados a una población considerable, en ellos está ocurriendo un proceso de degradación, ya que han estado sometidos durante años a una explotación agrícola intensiva, con modelos de manejo en ocasiones de altos insumos que implican la utilización con fertilización mineral, productos fitosanitarios y el empleo de maquinarias, que constituyen fuentes potenciales de entrada de cationes de metales pesados (Hernández *et al.*, 2013).

La determinación del estado actual de sus propiedades, así como las concentraciones existentes de metales pesados en suelos agrícolas con diferentes manejos es necesaria, ya que incrementa el conocimiento teórico y práctico acerca de la influencia de los sistemas de manejo sobre las propiedades del suelo, para monitorear el estatus de estos agroecosistemas productivos, que conlleven a la toma de medidas para contrarrestar o prevenir la degradación y la contaminación de los suelos Ferralíticos Rojos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de cinco sistemas de manejo diferentes sobre las propiedades físicas, químicas, físico-químicas y la disponibilidad de metales pesados en dos tipos de suelos Ferralíticos Rojos de la provincia Mayabeque.

MÉTODOS

Se seleccionaron cinco manejos experimentales diferentes, sometidos a desigual actividad antrópica, correspondientes a dos tipos de suelos Ferralíticos Rojos pertenecientes al agrupamiento Ferralítico según (Hernández *et al.*, 1999). El Sitio 1 Empresa Pecuaria Nazareno (San José de las Lajas), cultivado con pasto naturales por más de 35 años, pertenece a un Ferralítico Rojo típico Eútrico (FRt), sobre roca caliza-margosa, de coordenadas N 22095'62,8" y WO 82020'42,7". El Sitio 2 (Mangal), dedicado a frutales, en especial mango por más de 35 años, localizado en N 23000'21,3" y WO 82009'2,3", corresponde a un suelo Ferralítico Rojo hidratado (FRh); el Sitio 3 perteneciente al Bloque # 71 de la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) Cuba-Nicaragua (San Nicolás de Bari), corresponde a un suelo Ferralítico Rojo hidratado (FRh); de coordenadas N 22045'50,08" y WO 81055'30,2", utilizado siempre en Caña de azúcar; el Sitio 4 correspondiente a la Finca # 1 de la Unidad Básica de Producción Agropecuaria (UBPC) "Manuel Enrique Peña Hernández" en San Nicolás de Bari, pertenece a un suelo Ferralítico Rojo hidratado (FRh), de coordenadas N 22046'46,0" y WO 81055'15,0", bajo cultivo de papa (1990-2012), en la actualidad frijol y boniato y el Sitio 5, corresponde al Bloque # 68 Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) Amistad Cuba-Nicaragua (San Nicolás de Bari), pertenece

tos: loss of biological diversity, erosion, salinization, nutrient reduction, climate change, among others (Amaral *et al.*, 2013).

Current agriculture has as a fundamental task, high quality food production in a natural atmosphere, under sustainable conditions, where efficient agronomic management of agro ecosystems plays an important role. Red Ferralitic (FR) soils of the so-call "Llanura Roja de la Habana", old Havana county (current counties of Mayabeque and Artemisa), are the best agricultural soils in the country for their characteristics and they produce food for a considerable population. These soils, however, have been suffering a degradation process, since they have been subjected during years to intensive agricultural exploitation with occasional high input management models that imply the use of mineral fertilization, phytosanitary products and machineries that constitute potential sources of heavy metal cations (Hernández *et al.*, 2013).

Determining the current status of their properties, as well as the existent concentrations of heavy metals in agricultural soils with different managements is necessary, since they increase the theoretical and practical knowledge about the influence of management systems on soil properties for monitoring the status of these productive agro ecosystems that allow taking measures to counteract or to prevent the degradation and the contamination of Red Ferralitic soils. The objective of this work was to evaluate the effect of five different management systems on physical, chemical and physical-chemical properties and heavy metal availability in two types of Red Ferralitic soils of Mayabeque County.

METHODS

Five different experimental managements were selected, subjected to unequal anthropic activity, corresponding to two types of Red Ferralitic soils belonging to the Ferralitic grouping according to (Hernández *et al.*, 1999). Place 1 Cattle Company Nazareno (San José de las Lajas), cultivated with natural grass for more than 35 years belongs to a typical Red Ferralitic. Place 2 (Mangal), dedicated to fruit growing, especially mango for more than 35 years and located in N 23000'21,3" and WO 82009'2,3", corresponds to moisturized Red Ferralitic (FRh) soils; Place 3, belonging to the Block #71 of Cuba-Nicaragua Cooperative of Agricultural Production (CPA) (San Nicolás de Bari), at N 22045'50,08" and WO 81055'30,2" coordinates, corresponds to a moisturized Red Ferralitic soil (FRh) always used in sugar cane crop; Place 4 corresponding to the Property #1 of the Basic Unit of Agricultural Production (UBPC) Manuel Enrique Peña Hernández in San Nicolás de Bari, it belongs to a moisturized Red Ferralitic (FRh) soil, at N 22046'46,0" and WO 81055'15,0" coordinates, under potato cultivation (1990-2012), at the present time bean and sweet potato; and Place 5 corresponds to the Block #68 Cooperative of Agricultural Production (CPA) Amistad Cuba-Nicaragua (San Nicolás de Bari), it belongs to a typical Red Ferralitic Eútrico (FRt), at N 22046'04,7" and WO 81055'57,4" coordinates, dedicated to various cultivations (bean-sweet potato) last 20 years, before sugar cane. In each place samples were collected in five points at

a un Ferralítico Rojo típico Éutrico (FRt), de coordenadas N 22046'04,7'' y WO 81055'57,4'' dedicado a cultivos varios (frijol-boniato) en los últimos 20 años, antes caña de azúcar. En cada sitio se colectaron muestras en cinco puntos de forma aleatoria, a una profundidad de 0-20 cm. (quince réplicas de cada uno). El contenido de arcilla fue determinado por el método hidrométrico de Bouyoucos (1962), la estabilidad estructural y el índice de agregación por el método propuesto por Yoder (1936). El índice de agregación por el método de Paneque et al. (2010). La determinación del pH por potenciometría y las bases cambiables fueron extraídas con disolución de NH₄Ac 1mol•L⁻¹ a pH=7.0. Los cationes K⁺ y Na⁺ se determinaron por Fotometría de Llama en un Espectrofotometer Flappo 4. Los cationes Ca²⁺ y Mg²⁺ se determinaron mediante volumetría de formación de complejos (Paneque et al., 2010). El contenido de carbono orgánico total (C_{total}) por el método de Walkley y Black (1934), con posterior evaluación colorimétrica, en un espectrofotómetro Rayleigh UV-260 La determinación del contenido de carbono orgánico soluble (COS), se realizó con el mismo procedimiento descrito antes, a partir del extracto obtenido con una disolución de c (NaOH)= 0,5 mol.L⁻¹ (calidad PA). Para la evaluación de las proporciones COS/C_{total} y CAH/COS, se precipitaron los ácidos húmicos (AH) en el extracto y se evaluó el carbono, con igual metodología que en el caso del COS. El carbono en forma de AH (CAH) se calculó por diferencia entre el COS y el contenido en el sobrenadante. Para la extracción de los metales pesados disponibles se empleó una disolución 0,0500 mol L⁻¹ de la sal disódica del EDTA. Los contenidos en el extracto de los cationes Cd²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺ y Pb²⁺ por Espectrofotometría de Absorción Atómica en un Espectrometer Nov AA 350 Analytik Jena. Los análisis fueron realizados por triplicado y los valores calculados a partir de curvas de calibración de los respectivos patrones. Se empleó un diseño experimental aleatorizado y los resultados fueron tabulados y graficados mediante el software Microsoft Office Excel de Windows XP y procesados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) en su clasificación simple utilizando el paquete estadístico Statgraphics Plus v: 5.1 (Statistical Graphics Crop, 2000). La comparación de medias fue realizada mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey p < 0,05 (Tukey, 1958).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra los contenidos de arcilla, arena y limo encontrados, el mayor porcentaje corresponde a la arcilla, seguido por arena, y después el limo, se concluye que estos suelos se clasifican como arcillosos y por pertenecer al agrupamiento Ferralítico según Hernández et al. (1999), la caolinita es la arcilla predominante, la cual posee baja capacidad de intercambio catiónico y de retención hídrica, siendo menor la formación de asociaciones organominerales (complejos) (Martín y Duran, 2011).

Los valores del porcentaje de arcilla encontrados para el sistema de manejo caña (FRh), pudiera ser un indicio de erosión interna y de compactación debido al cultivo intensivo y no poseer sistema de riego.

random from 0-20 cm depth (fifteen replicas of each one). Éutrico (FRt), has more than enough limestone-loamy rock, at N 22095'62,8'' and WO 82020'42,7'' coordinates. In each place samples were collected in five points at random, from 0-20 cm depth (fifteen replicas of each one). Clay content was determined by the hydrometric method of Bouyoucos (1962), structural stability and aggregation index by means of the method proposed by Yoder (1936). The aggregation index was obtained through Luis and Martín's method (2011). pH determination through potentiometry and changeable bases were extracted with NH₄Ac 1mol.L⁻¹, pH=7.0 dissolution. Cations K⁺ and Na⁺ were determined by Photometry of Flame in a Flappo 4 Spectrophotometer. Cations Ca²⁺ and Mg²⁺ were determined by means of volumetry of complex formation Paneque et al. (2010). Total organic carbon (C_{total}) was determined by using the method of Walkley & Black (1934), with later colorimetric evaluation in a Rayleigh UV-260 spectrophotometer.

Soluble organic carbon (CO) content was determined with the same procedure previously described, starting from the extract obtained with a dissolution of c (NaOH) = 0,5 mol.L⁻¹ (PA quality). For the evaluation of the proportions COS/C_{total} and CAH/COS, humic acids (AH) were precipitated in the extract and carbon was evaluated, with same methodology that in the case of CO. Carbon in form of AH (CAH) was calculated by difference between the COS and the content in the supernatant. For the extraction of the available heavy metals a dissolution of 0,0500 mol L⁻¹ of EDTA disodium salt was used. Cd²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺ and Pb²⁺ cations contents in the extract were determined by using Spectrophotometry of Atomic Absorption in an Spectrometer Nov AA 350 Analytik Jena.. Analyses carried out were triplicated and the values were calculated starting from curved of calibration of the respective patterns. A randomized experimental design was used and the results were tabulated and plotted to graphs by means of Microsoft Office Excel software of Windows XP and processed statistically by means of a variance analysis (ANOVA) in its simple classification using the statistical package Statgraphics Bonus v: 5.1. 1 (Statistical Graphics Crop, 2000). Means comparison was carried out by using multiple comparison Tukey test (p < 0,05) (Tukey, 1958).

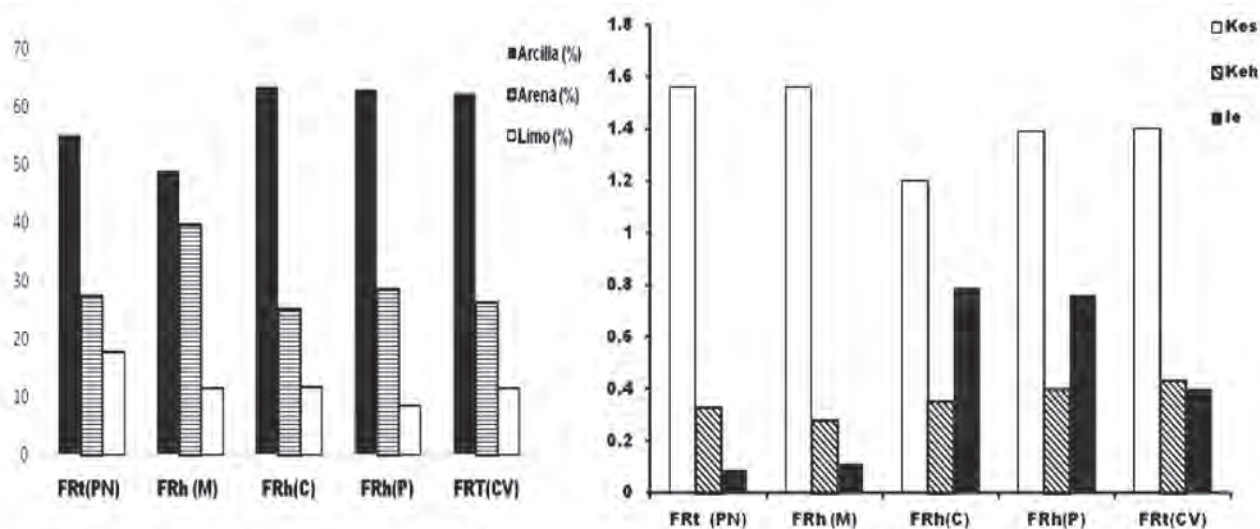
RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows clay, sand and slime contents found. The biggest percentage corresponds to clay, followed by sand, and later slime. It is concluded that these soils are classified as loamy and, for belonging to Ferralitic group according to Hernández et al. (1999), the kaolinite is the predominant clay, which possesses low capacity of cationic exchange and of hydric retention, being smaller the formation of organ mineral associations (complexes) (Martín y Duran, 2011).

The values of clay percentage found for sugar cane management system (FRh), could be an indication of internal erosion and compaction due to intensive cultivation and lack of watering system.

En la Figura 2. Se representan los valores del Kes (coeficiente de estabilidad estructural en tamiz seco, Keh (coeficiente de estabilidad estructural en tamiz húmedo) y Ie (índice de agregación o estabilidad del suelo), para los cinco sitios evaluados.

In Figure 2 the values of Kes (coefficient of structural stability in dry sieve, Keh (coefficient of structural stability in humid sieve) and Ie (aggregation index or stability of the soil), for the five evaluated places are represented.



PN (natural grasses), M (mango), C (cane), P (potato) and CV (several cultivations).

FIGURA 1. Porcentaje de arcilla, arena y limo. FIGURA 2. Valores de Kes, Keh y el Ie.
 FIGURE 1. Porcentaje of clay, sand and slime. FIGURE 2. Values of Kes, Keh and the Ie.

En cuanto al Kes los valores más elevados se presentan en los manejos con menor actividad antrópica, FRh (M) y FRt (PN). Para el coeficiente de estabilidad en húmedo (Keh), en esos manejos se registraron los valores inferiores, al igual que en Índice de estabilidad estructural, siendo los manejos intensivos aplicados durante largos períodos de tiempo, los que han incidido negativamente en la estabilidad estructural de los suelos estudiados. La afectación menos marcada se obtuvo en el manejo FRt (CV), debido a que en los últimos años se le han realizado aportes de fuentes de materia orgánica, y el uso de enmiendas orgánicas influye favorablemente sobre los indicadores de estabilidad de agregados en suelos cultivados. Los elevados valores del índice de estabilidad estructural encontrado en el FRh (P) y en sentido general los manejos agronómicos intensivos, indican que la estructura del suelo ha presentado modificaciones desfavorables debido a la explotación intensiva lo cual puede estar influido, por los bajos contenidos de carbono orgánico total y COS, los cuales promueven la estabilidad de los agregados, la formación y conservación de la estructura (Hernández *et al.*, 2013).

As for Kes the highest values are presented in the managements with smaller anthropic activity, FRh (M) and FRt (PN). For stability coefficient in humid (Keh), in those managements, inferior values were registered, the same as in structural stability index, being the intensive managements applied during long periods of time, which have impacted negatively in the structural stability of the soils studied. The least marked affectation was obtained in FRt (CV) management, because last years, soils have been enriched with the contribution of organic matter sources and the use of organic amendments influences favorably on aggregate stability indicators in cultivated soils.

The high values of structural stability index found in the FRh (P) and in general sense, the intensive agronomic managements, indicate that soil structure has presented unfavorable modifications due to intensive exploitation which can be influenced by low contents of total organic carbon and COS, which promote aggregate stability and structure formation and conservation (Hernández *et al.*, 2013).

La Tabla 1 muestra los resultados de las propiedades químicas y físico-químicas evaluadas en los manejos estudiados.

Table 1 shows the results of the chemical and physical-chemical properties evaluated in the managements studied.

TABLA 1. Propiedades químicas y físico-químicas evaluadas
 TABLE 1. Evaluated chemical and physical-chemical Properties

Prof.(cm)	pH(1:2,5)		Bases cambiables (cmol. kg ⁻¹)				Relación Ca/Mg
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
	Ferralítico Rojo típico eútrico (FRt) Pastos naturales (PN)						
0-20 cm	6,36	6,27	10,31 d	4,31 b	0,30 b	0,32 c	2,39 d

Prof.(cm)	pH(1:2,5)		Bases cambiables (cmol. kg ⁻¹)				Relación Ca/Mg
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
	Ferralítico Rojo hidratado (FRh) Mango (M)						
0-20 cm	6,40	6,32	11,43 c	5,2 a	0,32 b	0,34 c	2,20 e
	Ferralítico Rojo hidratado (FRh) Caña (C)						
0-20 cm	8,12	7,21	10,24 d	3,54 d	0,38 b	0,21 c	2,89 c
	Ferralítico Rojo hidratado (FRh) Papa (P)						
0-20 cm	8,15	7,22	14,42 a	4,11 bc	0,62 a	0,95 a	3,51 a
	Ferralítico Rojo típico eútrico (FRt) Cultivos Varios (CV)						
0-20 cm	8,05	7,07	12,2 b	3,97 c	0,33 b	0,48 b	3,08 b
	Error estándar		0,41	0,15	0,05	0,05	0,13

Medias de 15 réplicas. Letras distintas indican diferencias significativas entre los manejos (Tukey p<0,05). Means of 15 replicas. Different letters indicate significant differences among the managements (Tukey p <0,05).

En cuanto al pH al agua los manejos del FRh (M) y FRt (PN), de baja actividad antrópica, presentaron valores entre 6 y 7, mientras que los de cultivo intensivo (Agrogénicos), presentaron valores por encima de 8. Los suelos Ferralíticos conservados por muchos años presentan un pH entre 6 y 7 y los de uso agrícola prolongado tienden a alcanzar valores superiores a 7 (Hernández *et al.*, 2013).

El pH en KCl fluctuó entre 6,2 y 6,3 en los suelos poco antropizados y entre 7,00 y 7,25 para los de cultivo intensivo. Las prácticas de fertilización, la calidad de las aguas y la intensidad de los riegos en los manejos intensivos, pueden ser las causas de tal variación del pH a lo largo de muchos años de explotación, en especial en el sistema de cultivo de papa.

Para el Ca²⁺, el valor más elevado se encontró en el FRh (P), lo que pudiera asociarse al pH de este manejo, el contenido menor se encontró en el manejo FRh (C), atribuible al sistema de cultivo en seco y deficiente fertilización. En cuanto al Mg²⁺ los manejos de baja actividad antrópica presentaron valores superiores, en cuanto al análisis en función del tipo de suelo, el manejo FRh (C) reportó el menor contenido. Al estudiar la relación Ca/Mg el manejo del suelo FRh(P), presento diferencias significativas al resto de los manejos. Se demostró que los manejos intensivos indujeron un incremento en este indicador, una relación Ca/Mg entre 2-6, se considera normal para la producción agrícola.

Los contenidos de Na⁺ y K⁺ registraron una marcada diferencia del manejo FRh (P), que duplica a lo encontrado en los restantes manejos, llama la atención también que el valor más pequeño se haya registrado en el suelo FRh (C), valores semejantes para suelos, con baja actividad antrópica reportaron (Pérez *et al.*, 2012). En el caso del sodio en el manejo FRh (P) se clasifica de alto, aspecto que debe prestársele atención, dado el carácter fitotóxico de los tenores de sodio por encima de 0,5 cmol kg⁻¹.

La suma de las bases cambiables evaluadas nos indica una disminución en la CIC para el manejo FRh (C), unido al bajo contenido de Calcio y el pH ligeramente alcalino, pudiera tener un efecto en los rendimientos agrícolas y una posible degradación del suelo (Zeng *et al.*, 2011). Estos resultados demuestran que el tipo de uso del suelo, puede cambiar la estructura, sus propiedades químicas, físico-químicas y biológicas.

En la Tabla 2 se indican los valores encontrados en la evaluación de las fracciones del carbono orgánico estudiadas.

As for water pH, managements of FRh (M) and FRt (PN), of low activity anthropic, presented values between 6 and 7, while those of intensive cultivation (Agrogénicos), presented values above 8. Ferralitic soils conserved for many years present pH between 6 and 7, and those ones with prolonged agricultural use tend to reach values higher than 7 (Hernández *et al.*, 2013).

The pH in KCl fluctuated between 6, 2 and 6, 3 in soils with little anthropic activity and between 7, 00 and 7, 25 for those of intensive cultivation. Fertilization practices, quality of waters and intensity of watering in intensive managements, can be the causes of such pH variation along many years of exploitation, especially in the system of potato cultivation.

For Ca²⁺, the highest value was in FRh (P) and that could be associated to the pH of this management. The smallest content was in FRh(C) management, attributable to the cultivation system in non-irrigated land and faulty fertilization. As for the Mg²⁺, the management of low anthropic activity presented higher values. As for the analysis in function of soil type, FRh(C) management reported the smallest content. When studying the relation Ca/Mg, FRh(P) soil management, presented significant differences to the rest of managements. It was demonstrated that intensive management induced an increment in this indicator. A Ca/Mg relationship between 2 and 6 is considered normal for agricultural production.

Contents of Na⁺ and K⁺ registered a marked difference of FRh (P) management that duplicates that found in the remaining managements. It is also interesting that the smallest value has been registered in the FRh(C) soil. Similar values for soils with low anthropic activity were reported by Pérez *et al.* (2012). Sodium in Rh (P) management is classified as high, and it has to be carefully considered, given the phytotoxic character of sodium tenors when they are higher than 0,5 cmol kg⁻¹.

The sum of the evaluated changeable bases indicates a decrease in CIC for FRh(C) management that together with low content of Calcium and lightly alkaline pH, could have an effect in agricultural yields and possible soil degradation. (Zeng *et al.*, 2011). These results demonstrate that the type of soil usage can change its structure and chemical, physical-chemical and biological properties of it.

In Table 2 the values found in the evaluation of organic carbon fractions studied are indicated.

TABLA 2. Valores (g kg⁻¹) de carbono orgánico total (C_{total}), carbono orgánico soluble (COS) y como AH (C_{AH}) en los diferentes manejos
TABLE 2. You Value (g kg⁻¹) of total organic carbon (C_{total}), soluble organic carbon (CO) and I eat AH (CAH) in the different handlings

Manejos	C _{total}	COS	C _{AH}
FRt(PN)	56,71a	7,53 a	3,91a
FRh(M)	50,81a	7,52a	2,01 c
FRh (C)	21,86 b	4,30 b	3,16 b
FRh (P)	23,10 b	1,48 c	0,92 d
FRt(CV)	21,91 b	4,20 b	3,71 a
Error estándar	3,48	0,13	0,10

Means of different 15 replicas. Different letters indicate significant differences (Tukey p <0,05).

En el contenido de C_{total}, los suelos con baja actividad antrópica duplicaron los valores, con respecto a los encontrados en los suelos con cultivo intensivo. En ese sentido la preservación de la materia orgánica del suelo es crucial para garantizar la sustentabilidad de los ecosistemas agrícolas a largo plazo, así como para la calidad del ambiente (de Moraes *et al.*, 2014).

En cuanto al COS se observan diferencias significativas de los manejos FRh (M) y FRt (PN) con respecto al resto, lo cual corrobora lo indicado por (Hernández *et al.*, 2013), la pérdida de las reservas de carbono y de COS (30-75 %) en suelos Ferralíticos Rojos en los horizontes (0-30 cm), es el resultado del uso agrícola intensivo, con cultivos de pocas raíces, hortalizas o tubérculos como la papa. Esta disminución pudiera influir en un incremento de la biodisponibilidad de cationes de metales pesados.

En el caso del carbono como ácidos húmicos (AH) se observa que los manejos FRt (CV) como FRt (PN) presentaron diferencias significativas con relación al resto de los manejos evaluados, siendo el manejo FRh (P) el que presenta menor valor. Esto indica que este tipo de manejo es el que ha provocado una afectación más importante en la preservación del carbono orgánico estable del suelo, lo que está en correlación con la disminución de la estabilidad estructural de este suelo (Fageria, 2012).

Relaciones entre COS/C_{total} y C_{AH}/COS en los diferentes manejos objeto de estudio

Los resultados obtenidos en la evaluación de las relaciones entre COS/C_{total} y C_{AH}/COS en los diferentes manejos se muestran en la Figura 3 (A y B).

En cuanto a la relación COS/C_{total}, el manejo FRh (P), registró el menor valor, lo que se interpreta como una afectación en la calidad del carbono de este suelo. La causa puede ser la agricultura intensiva utilizada, el no uso de enmiendas restauradoras de materia orgánica, ya que existe una correlación entre el uso de la MOS como indicador universal de la calidad (fertilidad) y los AH como marcador químico de la estabilidad, determinando en las propiedades físicas, químicas, y biológicas (Canellas y Santos, 2005).

In content of C_{total}, soils with low anthropic activity duplicated the values, with regard to the opposite ones in soil with intensive cultivation. In that sense the preservation of organic matter of the soil is crucial to guarantee the long term agricultural ecosystems sustainability, as well as for the quality of the atmosphere (de Moraes *et al.*, 2014).

As for COS, significant differences of FRh (M) and FRt (PN) managements are observed with regard to the rest, which corroborates that indicated by (Hernández *et al.*, 2013), Loss of carbon and CO reservations (30-75%) in Red Ferralitic soils in the horizons (0-30 cm) is the result of intensive agricultural use, with cultivations of few roots, vegetables or tubers like potato. This decrease could influence in an increment of heavy metal cations bioavailability.

In the case of carbon like humic acid (AH) it is observed that FRt (CV) as FRt (PN) managements presented significant differences in relation to the rest evaluated, being FRh (P) management the one that presents the smallest value. That indicates that this type of management is the one that has caused the most important affectation in the preservation of stable organic carbon of the soil, what is in correlation with the decrease of the structural stability of that soil. (Fageria, 2012).

Relations between COS/C_{total} and CAH/COS in the different managements studied

The results obtained in the evaluation of the relationships between COS/C_{total} and CAH/COS in the different managements, are shown in Figure 3 (A and B).

Standard error in A = 0,01. Standard error in B = 0,02. Different letters indicate significant differences according to Tukey (p <0,05) / Error estándar en A = 0,01. Error estándar en B = 0,02. Letras distintas indican diferencias significativas según Tukey (p<0,05).

As for the relationship COS/C_{total}, FRh (P) management, it registered the smallest value, what is interpreted like an affectation in the quality of carbon of this soil. The cause can be the intensive agriculture used, the lack of organic matter restoring amendments, since there is a correlation between the use of MOS like universal indicator of quality (fertility) and AH like chemical marker of stability, that determines the physical, chemical, and biological properties (Canellas & Santos, 2005).

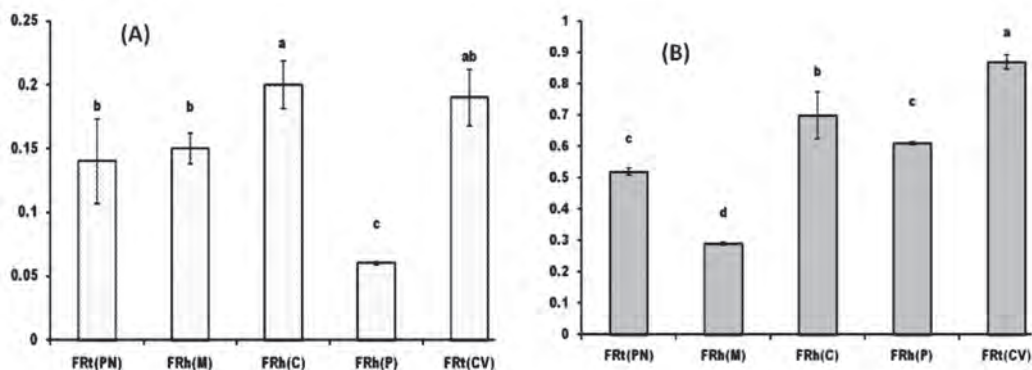


FIGURA 3. Relación COS/C_{total} (A) y relación C_{AH}/COS (B).
 FIGURE 3. Relationship CO/C_{total} (A) and relationship C_{AH}/COS (B).

En cuanto a la relación COS/C_{total} se destaca el manejo FRh (P), el cual registró el valor más bajo, lo que se considera una seria afectación en la calidad del carbono de este suelo. Estos resultados, pueden estar dados por la agricultura intensiva utilizada y el no empleo de enmiendas recuperadoras de materia orgánica y en estos suelos el carbono orgánico soluble (COS) es sensible a disminuir y su dinámica está gobernada por el empleo de las diferentes prácticas (Verma *et al.*, 2013).

En la fracción del COS se incluyen a los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos, que inciden en la estructura del suelo, la disponibilidad de cationes metálicos y ejercen efectos directos en la fisiología de las plantas (Zandonadi *et al.*, 2013; Canellas y Olivares, 2014).

Evaluación de los contenidos disponibles de los cationes Cd^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} y Pb^{2+} en los manejos estudiados

En la Tabla 3 se indican los valores encontrados de los contenidos disponibles de los cationes de metales pesados evaluados.

As for the relationship COS/C_{total} , FRh (P) management is highlighted. It registered the lowest value, which is considered a serious affectation in the quality of carbon of that soil. These results can be due to the used intensive agriculture and the lack of organic matter restoring amendments and in these soils soluble organic carbon (CO) is sensitive to diminish and its dynamics is governed by the employment of the different practices (Verma *et al.*, 2013).

In fraction of COS, humic acids and fulvic acids are included which impact in soil structure, metallic cations availability and directly affect plant physiology (Zandonadi *et al.*, 2013; Canellas & Olivares, 2014).

Evaluation of Cd^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} and Pb^{2+} cations available contents in the managements studied.

In Table 3 the values found of available cations contents of the heavy metals evaluated are indicated.

TABLA 3. Contenido de metales pesados disponibles encontrados en los manejos objeto de estudio
 TABLE 3. Content of available heavy metals found in the handlings study object

Manejos	Cationes de metales pesados ($mg \cdot kg^{-1}$)			
	Cd	Cu	Ni	Pb
FRt (PN)	1,25 b	0,16 c	0,05 c	3,80 b
FRh (M)	0,71 c	0,14 c	0,06 c	4,72 b
FRh(C)	1,21 b	8,57 b	0,72 a	7,52 a
FRh (P)	4,21 a	11,94 a	0,14 b	8,37 a
FRt(CV)	1,13 b	11,33 a	0,14 b	6,96 a
Error Estándar	0,28	1,08	0,05	0,67

Medias de 15 réplicas. Letras distintas indican diferencias significativas entre los suelos (Tukey $p < 0,05$). Means of different 15 replicas. The different letters indicate significant differences among the soils (Tukey $p < 0,05$).

Se demuestra que en los manejos de cultivo intensivo fueron encontrados valores superiores para los cationes Cu^{2+} , Ni^{2+} y Pb^{2+} en comparación con los sistemas de baja actividad antrópica, aun cuando no se encuentran en niveles superiores a los reportados como concentraciones máximas permisibles por otros países (Kabata-Pendias y Adriano, 1995).

El incremento en los contenidos de Cu^{2+} , Ni^{2+} y Pb^{2+} , en los suelos con agricultura intensiva es probable que esté relacionado con la aplicación de productos fitosanitarios basados en óxidos

It is demonstrated that in the managements of intensive cultivation, higher values for Cu^{2+} , Ni^{2+} and Pb^{2+} cations were found in comparison with the systems of low anthropic activity, even when they are not in higher levels to those reported as permissible maximum concentrations for other countries (Kabata-Pendias & Adriano, 1995).

The increment in Cu^{2+} , Ni^{2+} and Pb^{2+} contents in soils with intensive agriculture, is probably related to the application of phytosanitary products based on oxides and copper and nickel salts,

y sales de cobre y níquel, especialmente el de papa, en el caso del plomo por el empleo de maquinaria agrícola con motores de combustión interna. Los valores encontrados superan a los obtenidos por Muñiz (2008), para suelos Ferralíticos Rojos cultivados de la actual provincia Mayabeque, lo que indica que en los años recientes ha continuado el incremento en sus niveles.

En el caso del Cd^{2+} el suelo correspondiente a FRh (P) presentó un contenido biodisponible que supera incluso los valores de concentración total consideradas como límites permisibles en la mayoría de las referencias reconocidas (entre 1 y 3 mg kg^{-1} para la Unión Europea, 3 en Gran Bretaña, 1,5 en Alemania y 0,8 en Canadá, según Kabata-Pendias y Adriano (1995). Esta situación constituye un riesgo a tener en cuenta en la utilización de estas áreas con fines agrícolas, ya que varios cultivos de interés alimentario tienen la capacidad de hiperacumular este catión.

Es necesario resaltar que los manejos donde se detectaron los niveles más altos de metales pesados, son aquellos en que los valores de pH son superiores a 7,5, ya que la mayoría de los cationes de metales pesados se encuentran en formas poco solubles en ese medio y cualquier procedimiento que implique acidificaciones de esos suelos, provocarían un incremento de los contenidos disponibles para las plantas.

Se demuestra que las prácticas agrícolas pueden inducir a la acumulación de estos contaminantes en los suelos, a partir de fuentes tales como las aguas, los fertilizantes y los productos fitosanitarios, lo cual influye en la dinámica de los elementos catiónicos en el suelo y en las plantas, ejerciendo efectos fisiológicos negativos, que implican reducciones en el crecimiento, la acumulación de masa seca, así como en el rendimiento agrícola, favoreciendo su disponibilidad para los cultivos, incorporación en la cadena trófica y hace vulnerables las plantas al ataque de plagas y enfermedades (Wang *et al.*, 2014).

En esto resalta el manejo FRh (P) cuyo sistema tecnológico en Cuba posee elevadas aplicaciones de agroquímicos y acciones fitosanitarias, con reconocido riesgo agroambiental (Delince *et al.*, 2015). Los resultados obtenidos en la evaluación de los MP en los manejos estudiados, confirman que su disponibilidad en los suelos es un proceso dinámico que depende de combinaciones específicas de parámetros físicos, físico-químicos, químicos, biológicos y ambientales (Singh y Kalamdhad, 2013).

CONCLUSIONES

- Los suelos sometidos a diferente intensidad de manejo mostraron diferencias en la mayoría de las propiedades físicas, físico-químicas y químicas, esencialmente el pH, relación Ca/Mg, la estabilidad estructural, los contenidos de carbono orgánico total y el carbono orgánico soluble. El sistema de manejo Ferralítico Rojo hidratado bajo cultivo de papa indujo los indicadores más desfavorables.
- Los contenidos de MP disponibles estudiados presentaron diferencias entre los distintos manejos estudiados, evidenciándose que en aquellos suelos de uso intensivo se registraron los mayores valores para Cu^{2+} , Pb^{2+} y Ni^{2+} , mientras para el caso del Cd^{2+} el sistema de manejo para el cultivo papa del suelo FRh (P) presentó el contenido más elevado, alcanzando un valor superior al referido como máximo permisible en varios países y para los suelos Ferralíticos Rojos de Cuba.

REFERENCIAS / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, S.N.M.B.; FEBLES, G.J.M.; LÓPEZ, Y.P.J.; GUEDES, N.; MAGALHÃES, M.O.L.; ZOFFOLI, H.J.O.: "Natural content of heavy metals on cattle regions soils of Mayabeque and Artemisa province in Cuba", *Cuban Journal of Agricultural Science*, 47(2): 209-216,

especially that of potato; in the case of lead for the employment of agricultural machinery with motors of internal combustion. The values found overcome those obtained by Muñiz (2008), for cultivated Red Ferralitic soils of the present Mayabeque County, what indicates that increment has continued in its levels in recent years.

In the case of the Cd^{2+} , the soil corresponding to FRh (P), presented a bioavailable content that even overcomes the values of total concentration considered as permissible limits in most of the references recognized (between 1 and 3 mg kg^{-1} for the European Union, 3 in Great Britain, 1,5 in Germany and 0,8 in Canada, according to Kabata-Pendias & Adriano (1995). This situation constitutes a risk to keep in mind in the use of these areas with agricultural ends, since several cultivations of alimentary interest have Cd^{2+} hyper accumulating capacity.

It is necessary to emphasize that managements where the highest levels in heavy metals were detected, were those in which, pH values were higher than 7,5, since most heavy metal cations are in little soluble forms in that medium and any procedure that implies acidifications of those soils would cause an increment of their available contents for plants.

It is demonstrated that agricultural practices can induce to the accumulation of these pollutants in the soils, starting from sources like water, fertilizers and phytosanitary products, which influences in the dynamics of cationic elements in the soils and in the plants, provoking negative physiologic effects that imply reductions in growth, dry mass accumulation, as well as in agricultural yield, by favoring their availability for cultivations, their incorporation in the trophic chain and making plants vulnerable to the attack of pests and diseases. (Wang *et al.*, 2014).

It is especially relevant for FRh (P) in the Cuban technological system due to the great agrochemical applications and phytosanitary actions established, with the well-known agro environmental risks associated (Delince *et al.*, 2015). The results obtained in the evaluation of the MP in the managements studied, confirm that their availability in the soils is a dynamic process that depends on specific combinations of physical, physical-chemical, chemical, biological and environmental parameters (Singh & Kalamdhad, 2013).

CONCLUSIONS

- Soils under different management intensity showed differences in most of the physical, physical-chemical and chemical properties, essentially pH, Ca/Mg relationship, structural stability, contents of total organic carbon and soluble organic carbon. The Red Ferralitic moisturized management system under potato cultivation induced the most unfavorable indicators.
- Contents of the studied available MP presented differences among the studied managements, being evidenced that the biggest values for Cu^{2+} , Pb^{2+} and Ni^{2+} were registered in soils of intensive use, meanwhile Cd^{2+} presented the highest content in potato cultivation in FRh (P) management system, reaching a value higher than the one referred as permissible maximum in several countries and for Red Ferralitic soils in Cuba.

2013, ISSN: 2079-3480.

- BOUYOUCOS, G.J.: "Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils", *Agronomy Journal*, 54(5): 464, 1962, ISSN: 0002-1962, DOI: 10.2134/agronj1962.00021962005400050028x.
- CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.: "Physiological responses to humic substances as plant growth promoter", *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 1(1): 3, 2014, ISSN: 2196-5641, DOI: 10.1186/2196-5641-1-3.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G. de A.: *Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*, [en línea], Ed. dos autores, 309 p., Google-Books-ID: DO3UZwEACAAJ, 2005, ISBN: 978-85-905835-1-6, Disponible en: http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/LSOL_2727_1154716116.pdf, [Consulta: 22 de septiembre de 2016].
- DE MORAES, S.J.C.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; CRUZ, H.D.; ZUFFO, dos S.J.; BURKNER, dos S.J.: "Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol", *Soil and Tillage Research*, 136: 38-50, marzo de 2014, ISSN: 01671987, DOI: 10.1016/j.still.2013.09.010.
- DELINCE, W.; VALDÉS, C.R.; LÓPEZ, M.O.; GURIDI, I.F.; BALBÍN, A.M.I.: "Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con cultivos de *Oryza sativa* L. y *Solanum tuberosum* L.", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1): 44-50, marzo de 2015, ISSN: 2071-0054.
- FAGERIA, N.K.: "Role of Soil Organic Matter in Maintaining Sustainability of Cropping Systems", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43(16): 2063-2113, septiembre de 2012, ISSN: 0010-3624, 1532-2416, DOI: 10.1080/00103624.2012.697234.
- HERNÁNDEZ, J.A.; CABRERA, R.A.; BORGES, B.Y.; VARGAS, B.D.; BERNAL, F.A.; MORALES, D.M.; ASCANIO, G.M.O.: "Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana", *Cultivos Tropicales*, 34(3): 45-51, septiembre de 2013, ISSN: 0258-5936.
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.M.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.; RUÍZ, J.; SALGADO, E.J.; MARSÁN, R.; OBREGÓN, A.; TORRES, J.M.; GONZÁLES, J.E.; ORELLANA, R.; PANEQUE, J.; RUIZ, J.M.; MESA, A.; FUENTES, E.; DURÁN, J.L.; PENA, J.; CID, G.; PONCE DE LEÓN, D.; HERNÁNDEZ, M.; FRÓMETA, E.; FERNÁNDEZ, L.; GARCÉS, N.; MORALES, M.; SUÁREZ, E.; MARTÍNEZ, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ed. AGROINFOR, La Habana, Cuba, 64 p., 1999, ISBN: 959-246-022-1.
- KABATA-PENDIAS, A.; ADRIANO, D.C.: "Trace metals", En: Rechcigl, J.E., *Soil Amendments and Environmental Quality*, Ed. CRC Press, New York, pp. 139-167, Google-Books-ID: gJhgCQF2wPkC, 25 de septiembre de 1995, ISBN: 978-0-87371-859-2.
- MARTÍN, N.J.; DURAN, J.L.: *El suelo y su fertilidad*, Ed. Félix Varela, La Habana, Cuba, 2011, ISBN: 978-959-07-1418-4.
- MUÑIZ, U.O.: *Los microelementos en la agricultura*, Ed. AGROINFOR, La Habana, Cuba, 132 p., 2008, ISBN: 978-959-246-201-4.
- PANEQUE, P.V.M.; CALAÑA, N.J.M.; CALDERÓN, V.M.; BORGES, B.Y.; HERNÁNDEZ, G.T.C.; CARUNCHO, C.M.: *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*, [en línea], Ed. Ediciones INCA, La Habana, Cuba, 157 p., 2010, ISBN: 978-959-7023-51-7, Disponible en: <http://mst.ama.cu/578/>, [Consulta: 27 de enero de 2016].
- PÉREZ, L.Y.; DO AMARAL, S.N.M.; BALBÍN, A.M.I.; VALDÉS, C.R.; LIMA, M.M.O.: "Contenido de elementos metálicos en suelos característicos del municipio San José de las Lajas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1): 43-46, marzo de 2012, ISSN: 2071-0054.
- SINGH, J.; KALAMDHAD, A.S.: "Bioavailability and leachability of heavy metals during water hyacinth composting", *Chemical Speciation & Bioavailability*, 25(1): 1-14, 1 de enero de 2013, ISSN: 0954-2299, DOI: 10.3184/095422913X13584520294651.
- STATISTICAL GRAPHICS CROP: *STATGRAPHICS® Plus*, [en línea], (Versión 5.1), [Windows], ser. Profesional, 2000, Disponible en: <http://www.statgraphics.com/statgraphics/statgraphics.nsf/pd/pricing>.
- TUKEY, J.W.: "Bias and confidence in not quite large samples", *The Annals of Mathematical Statistics*, 29(2): 614-623, junio de 1958, ISSN: 0003-4851, DOI: 10.1214/aoms/1177706647.
- VERMA, B.C.; DATTA, S.P.; RATTAN, R.K.; SINGH, A.K.: "Labile and stabilised fractions of soil organic carbon in some intensively cultivated alluvial soils", *Journal of Environmental Biology*, 34(6): 1069-1075, 2013, ISSN: 0254-8704.
- WALKLEY, A.; BLACK, I.A.: "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, 1934, ISSN: 0038-075X, 1538-9243.
- WANG, J.; CUI, L.; GAO, W.; SHI, T.; CHEN, Y.; GAO, Y.: "Prediction of low heavy metal concentrations in agricultural soils using visible and near-infrared reflectance spectroscopy", *Geoderma*, 216: 1-9, marzo de 2014, ISSN: 0016-7061, DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.10.024.
- YODER, R.E.: "A Direct Method of Aggregate Analysis of Soils and a Study of the Physical Nature of Erosion Losses", *Agronomy Journal*, 28(5): 337-351, 1 de mayo de 1936, ISSN: 0002-1962, DOI: 10.2134/agronj1936.00021962002800050001x.
- ZANDONADI, D.B.; SANTOS, M.P.; BUSATO, J.G.; PERES, L.E.P.; FAÇANHA, A.R.: "Plant physiology as affected by humified organic matter", *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25(1): 13-25, 2013, ISSN: 2197-0025, DOI: 10.1590/S2197-00252013000100003.
- ZENG, F.; ALI, S.; ZHANG, H.; OUYANG, Y.; QIU, B.; WU, F.; ZHANG, G.: "The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants", *Environmental Pollution*, 159(1): 84-91, enero de 2011, ISSN: 0269-7491, DOI: 10.1016/j.envpol.2010.09.019.

Received: 27/12/2015.

Approved: 08/07/2016

Reinaldo Reyes-Rodríguez, Prof., Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Dpto. Química, Grupo FITOPLANT, Cuba. E-mail: reinaldo_reyes@unah.edu.cu

Fernando Guridi-Izquierdo, E-mail: reinaldo_reyes@unah.edu.cu

Ramiro Valdés-Carmenate, E-mail: reinaldo_reyes@unah.edu.cu

Note: the mention of commercial equipment marks; instruments or specific materials obey identification purposes, not existing any promotional commitment with relationship to them, neither for the authors nor for the editor.