

EL MANEJO DEL SUELO MODIFICA A SUS ÁCIDOS HÚMICOS Y LA DISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS

The soil management modifies their humic acids and the availability of heavy metals

Reinaldo Reyes Rodríguez✉, Fernando Guridi Izquierdo y Ramiro Valdés Carmenate

ABSTRACT. The agronomic management not efficient and with not very sustainable conditions induces unfavorable effects in the agro ecosystem, constituting source of entrance of pollutants and modifications of soil properties. In Cuba this information is not modernized, representing a danger for the agricultural production and the alimentary security. The objective of this work was to evaluate the effect of the management practices on properties of the acids humic and the availability of heavy metals two different management of a Nitisol soil of Mayabeque province, one with low antropic activity (natural grasses) and another of high antropic activity, dedicated to several cultivations. In the extracted humic acids they were evaluated optic coefficient E4/E6, threshold of clotting, the carboxylic, fenolic acidity and total acidity. It was also evaluated the pseudototal content of cations of metals heavy availability. The results demonstrated the effect of the management system, evidencing differences in the evaluated properties. The hydrophobicity, the level of structural condensation, the quantity of carboxylic groups and the total acidity of the humic acids diminished as consequence of the intensive cultivation, what could imply that they are affected the functions that the humic acids should exercise in the soil plant system. In that management they also registered affectations in the remaining evaluated properties, registering the biggest values for Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} and Zn^{2+} , as well as that was a superior content to the one referred as permissible maximum in several countries in the case of the Cd^{2+} and for the Nitisol soils of Cuba.

Key words: contamination, agricultural practical, humic substances

RESUMEN. El manejo agronómico no eficiente y con condiciones poco sustentables, induce efectos desfavorables en los agroecosistemas, constituyendo fuente de entrada de contaminantes y modificaciones de las propiedades del suelo. En Cuba no está actualizada esta información, lo que representa 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 propiedades de los ácidos húmicos y la disponibilidad de metales pesados en dos manejos diferentes sobre un suelo Ferralítico Rojo de la provincia Mayabeque; uno con baja actividad antrópica (pastizal) y otro de alta actividad antrópica, dedicado a cultivos varios. En los ácidos húmicos extraídos se evaluaron el coeficiente óptico E4/E6, el umbral de coagulación, la acidez carboxílica, fenólica y total. En el suelo se evaluó el contenido seudototal de cationes de metales pesados. Los resultados demostraron el efecto del sistema de manejo, evidenciándose diferencias en las propiedades evaluadas. La hidrofobicidad, el nivel de condensación estructural, la cantidad de grupos carboxílicos y la acidez total de los ácidos húmicos disminuyeron como consecuencia del cultivo intensivo, lo que pudiera implicar que se vean afectadas las funciones que ellos deben ejercer en el sistema suelo-planta. En ese manejo de alta actividad antrópica también se detectaron afectaciones en las restantes propiedades evaluadas, registrándose las mayores concentraciones de Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} y Zn^{2+} , siendo en el caso del Cd^{2+} un contenido superior al referido como máximo permisible en varios países y para los suelos Ferralíticos Rojos de Cuba.

Palabras clave: contaminación, prácticas agrícolas, sustancias húmicas

INTRODUCCIÓN

En la actualidad con el desarrollo de la economía global, existe gran preocupación mundial por la degradación y contaminación de los suelos.

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Dpto. Química, Grupo FITOPLANT, Autopista Nacional km 23 ½ Municipio San José de las Lajas. Mayabeque. Cuba

✉ reinaldo_reyes@unah.edu.cu

Varios autores, plantean que la contaminación por metales pesados tóxicos en el suelo, causado por las actividades humanas, ha provocado un detrimento gradual del medio ambiente, lo cual constituye un riesgo para la salud y el deterioro de los suelos con propósitos agrícolas (1,2).

Esto ha originado la necesidad de efectuar estudios del estado actual de los suelos bajo diferentes prácticas de manejo en cuanto a sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como las sustancias húmicas, por ser el componente principal de la materia orgánica del suelo. La calidad de los suelos y el manejo que con ellos se realice son aspectos determinantes en la sostenibilidad de la producción agrícola y de la calidad ambiental (3,4).

En Cuba, también la degradación de los suelos es uno de los problemas medioambientales principales, situación que se acentúa por la sinergia entre múltiples factores: pérdida de diversidad biológica, la erosión, salinización, reducción de nutrientes, el cambio climático, entre otros. Los suelos Ferralíticos Rojos (FRR) de la provincia Mayabeque, por ser de los más productivos del país, han estado sometidos durante años a una explotación agrícola intensiva, con manejo de altos insumos que implican la utilización de fertilización mineral, productos fitosanitarios y el empleo de maquinarias, que pueden constituir fuentes de entrada de cationes de metales pesados (5,6).

La determinación del estado actual de las propiedades de estos suelos, 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, lo que permitirá la toma de medidas para contrarrestar o prevenir la degradación y la contaminación. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de dos sistemas de manejo diferentes sobre propiedades químicas y físico-químicas de los ácidos húmicos y la disponibilidad de metales pesados en un suelo Ferralítico Rojo de la provincia Mayabeque.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron dos manejos diferentes, sometidos a desigual actividad antrópica, correspondiente a un tipo de suelo Ferralítico Rojo, perteneciente al agrupamiento Ferralítico (7).

Se escogió un sitio de baja actividad antrópica de coordenadas N 22°95'62,8" y W82°20'42,7", que se encuentra ubicado en la Empresa Pecuaria Nazareno en San José de las Lajas, con un suelo Ferralítico Rojo típico (FRR), sobre roca caliza-margosa, cultivado con pastos naturales por más de 35 años.

El sitio de elevada actividad antrópica seleccionado, corresponde al Bloque # 0603 de la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) Amistad Cuba-Nicaragua (San Nicolás de Bari), con igual tipo de suelo, de coordenadas N 22°46'04,7" y W81°55'57,4" dedicado a cultivos varios, en los últimos 20 años y antes caña de azúcar. En cada sitio se colectaron muestras en 15 puntos de forma aleatoria en una superficie de media hectárea, a una profundidad de 0-20 cm, para conformar tres muestras compuestas.

El contenido de carbono orgánico total (COT) en las muestras de suelo de ambos sitios se determinó mediante oxidación con dicromato de potasio en medio ácido sulfúrico. La extracción del carbono orgánico soluble (COS), de los ácidos húmicos (AH) y los ácidos fúlvicos (AF), así como la purificación de los AH se realizó en el Laboratorio de Química de la Facultad de Agronomía de la Universidad Agraria de La Habana, siguiendo la metodología de la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas (IHSS) (8). El contenido de carbono en las fracciones solubles extraídas se evaluó con el mismo procedimiento del COT. El Grado de Humificación (GH), se realizó mediante el cálculo del porcentaje que representa el total del carbono en forma de AH y AF con respecto al COT, extraído de los suelos objeto de estudio.

Para la determinación del coeficiente óptico E_4/E_6 de los AH se preparó una disolución de 3 mg de los AH obtenidos de los suelos con baja y alta actividad antrópica (AH (CV) y AH (PN) respectivamente) en 10 mL de hidrógenocarbonato de sodio de $c(\text{NaHCO}_3/2)=0,05 \text{ mol L}^{-1}$, leyéndose las absorbancias a 465 y 665 nm en un espectrofotómetro (Rayleigh UV-1601) del Laboratorio de Química antes mencionado (9).

El valor del umbral de coagulación se determinó a partir de una masa de 26 mg de AH (CV) y AH (PN) respectivamente, y se disolvieron en disolución de $(\text{NaHCO}_3/1)=0,05 \text{ mol L}^{-1}$ a pH=8, de la cual se tomaron volúmenes iguales que se pusieron en contacto con concentraciones crecientes (desde 1,25 hasta 18,7 mmol L^{-1}) de CaCl_2 (calidad PA). Después de 24 horas de reposo se detectó visualmente la menor concentración del cloruro de calcio (CaCl_2) que provocó la coagulación de los ácidos húmicos (9). La acidez total y los grupos funcionales ácidos (carboxílicos y fenólicos de los ácidos húmicos), se determinaron mediante valoración potenciométrica.

El contenido pseudototal de los cationes de metales pesados se determinó después de una digestión con agua regia en los suelos (10). Se empleó un Espectrofotómetro de absorción atómica (Rayleigh WFX-210) del laboratorio de Fisiología del Instituto de Ciencia Animal (ICA) y fueron comparados con los límites máximos permisibles y los niveles peligrosos para suelo (11).

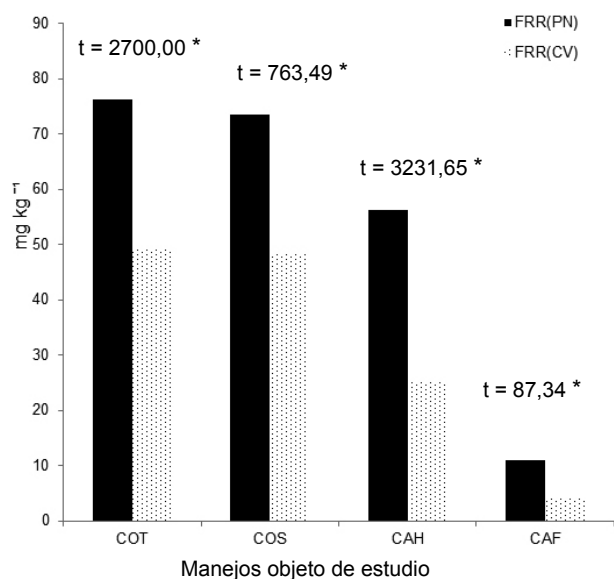
Se empleó un muestreo aleatorizado en dos manejos experimentales diferentes, sometidos a desigual actividad antrópica y todos los datos obtenidos se analizaron en el programa estadístico STATGRAPHICS Plus para Windows 5.1 (12). La comparación de medias fue realizada mediante la prueba no paramétrica t de Student, para determinar entre cuales niveles se estableció la diferencia significativa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra los contenidos de carbono orgánico total (COT), de carbono orgánico soluble (COS), en forma de AH (CAH) y en forma de AF (CAF) en los sitios estudiados con diferentes manejos.

Se evidenció que todos los indicadores reflejados en la Figura 1 para el manejo de Cultivos Varios (alta actividad antrópica) fueron inferiores a los registrados para el manejo de baja actividad antrópica (Pastos Naturales).

La marcada diferencia en los valores del COT entre ambos manejos, puede atribuirse a que en el intensivo no se utilizaron enmiendas orgánicas ni ninguna otra alternativa semejante que aseguraran la recuperación o aporte de un determinado nivel de carbono.



(FRR (PN)= Manejo Pastos Naturales y FRR (CV)= Manejo Cultivos Varios)

Figura 1. Contenido de carbono orgánico total (COT en mg kg⁻¹), carbono orgánico soluble (COS en mg kg⁻¹), carbono como AH (CAH en mg kg⁻¹) y carbono como AF (CAF en mg kg⁻¹) en suelos Ferralíticos Rojos (FRR) con diferentes manejos

No se registró tal comportamiento en cuanto a la proporción que representó el COS con respecto al COT (9,62 % en el manejo de baja actividad antrópica y 9,77 % en el de cultivos varios). Sin embargo al calcular el grado de humificación (GH), es decir el total de CAH y CAF en relación al COT, se encontraron valores de 88,2 y 59,3 % en el manejo de pastos naturales y cultivos varios respectivamente. Por otro lado en la proporción CAH/CAF se registraron valores de 5,12 para el manejo de baja actividad antrópica y 5,89 en el de cultivos varios.

De lo anterior se infiere que el manejo intensivo no solamente ha inducido una pérdida del carbono orgánico en el suelo, sino que además se ha afectado el proceso normal de humificación, posiblemente por un menor aporte de materia orgánica fresca y como consecuencia de las labores de preparación de suelo, que afectan la microbiota encargada de descomponer el material original depositado (13).

La preservación de la cantidad y la calidad de la materia orgánica del suelo es un aspecto relevante para la sostenibilidad de la productividad agrícola y la seguridad alimentaria, especialmente en condiciones tropicales. Prácticas agrícolas inadecuadas pueden provocar serias afectaciones en los ecosistemas dedicados a la producción de alimentos (14,15).

En el caso de los suelos Ferralíticos Rojos ya se ha verificado la progresiva degradación del carbono orgánico en su capa superficial en área con cultivo intensivo de plantas de raíces poco profundas, con una marcada pérdida de fertilidad (4).

La determinación del Coeficiente óptico E₄/E₆ y el umbral de coagulación en los ácidos húmicos obtenidos de los suelos con diferentes manejos se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Coeficiente óptico y umbral de coagulación (mmol Ca²⁺ kg⁻¹ AH) de los ácidos húmicos de los suelos con diferentes manejos

Ácidos Húmicos	Coeficiente E ₄ /E ₆	Umbral de coagulación (mmol Ca ²⁺ kg ⁻¹ AH)
AH(CV)	6,67a	55,02b
AH(PN)	4,78b	63,23a
t	274,29	254,59
p	0,0000	0,0000

Medias con letras desiguales difieren significativamente por la prueba t-Student

Los valores del coeficiente óptico obtenido para ambos AH se encuentran dentro del rango reconocido para este tipo de sustancia y para el tipo de suelo del cual fueron extraídos (16). Se comprobó que los AH (PN) pertenecientes al manejo pastos naturales, tienen el valor menor, lo que se relaciona con un mayor nivel de condensación aromática estructural.

Lo anterior resulta totalmente comprensible teniendo en cuenta la diversidad de la materia orgánica fresca aportada por este tipo de manejo, su ambiente edáfico más propicio para la actividad de la biota y mayor estabilidad estructural, que favorecen una evolución adecuada de la humificación (17).

El valor encontrado en los AH (CV) refleja el impacto del manejo de alta actividad antrópica, que desfavorece el normal desarrollo de la formación del humus. Esto se traduce en una menor estabilidad de estas sustancias y consecuentemente se afectan sus funciones en sistema suelo-planta (18).

En resumen se puede afirmar que el sistema de manejo que se emplee en los suelos Ferralíticos estudiados puede modificar la estructura de los ácidos húmicos y que la relación E_4/E_6 es un indicador que lo refleja.

Los valores encontrados para el umbral de coagulación revelan que los AH (CV) muestran una menor hidrofiliidad, comparados con los AH (PN), lo que pudiera estar asociado a una menor presencia de grupos funcionales ionizables en su estructura, que son decisivos en la afinidad por un disolvente polar como el agua.

Lo anterior conlleva a que los AH (CV) tendrán mayor susceptibilidad a la coagulación cuando en el suelo se aumente el contenido de sales disueltas, como ocurre por excesos de fertilizantes, salinización u otras labores agrícolas dentro de este manejo.

Otros autores han encontrado diferencias en el umbral de coagulación de ácidos húmicos, derivadas de modificaciones en la composición y la estructura (19).

La evaluación de los grupos funcionales ácidos presentes en los ácidos húmicos extraídos de los suelos con diferentes manejos se representa en la Figura 2.

Los resultados obtenidos confirman diferencias estructurales entre ambos ácidos húmicos, especialmente en cuanto al contenido de grupos funcionales carboxílicos y en consecuencia, en la acidez total.

El hecho de que en AH (CV) se presente una menor cantidad de estos grupos funcionales ionizables está en correspondencia con el resultado mostrado con relación al umbral de coagulación. Estos grupos presentan una elevada hidrofiliidad y el hecho de que se encuentren en una cantidad inferior lleva consigo a que la molécula del AH pueda coagular a menores concentraciones de electrolitos en el medio.

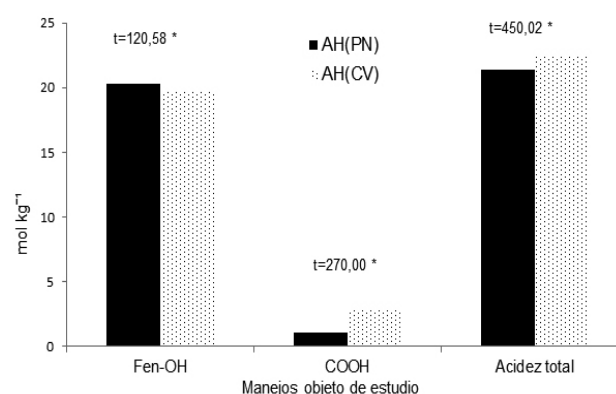


Figura 2. Contenido de grupos funcionales carboxílicos (COOH), fenólicos (fen-OH) y acidez total (AT) en mol kg⁻¹ de AH, en suelos con diferentes manejos

En cuanto al contenido de los grupos fenólicos también existen diferencias aunque menos acentuadas que los carboxílicos, ya que estos últimos pueden estar asociados a cadena alifática, que son más susceptibles a transformaciones químicas que los anillos aromáticos, lo que se corresponde con los resultados obtenidos al evaluar el coeficiente óptico E_4/E_6 para ambos manejos.

Esta diferencia en la acidez total también debe repercutir en la capacidad de intercambio catiónico de estos ácidos húmicos, pues la interacción con los cationes metálicos se establece fundamentalmente con estos grupos.

La determinación de los contenidos seudototales de cationes de metales pesados se presenta en la Tabla II.

Tabla II. Contenidos seudototales (mg kg⁻¹) en suelos con diferentes manejos

Manejos	Cationes de metales pesados (mg·kg ⁻¹)				
	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
FRR(PN)	19,64b	39,57b	226,22b	16,10b	127,87b
FRR(CV)	40,25a	77,59a	290,44a	16,26a	144,07a
t	33,12	42,11	13,47	14,98	7,96
p	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000

FRR (CV)= Cultivos Varios y FRR (PN)= Pastos Naturales
Letras distintas indican diferencias significativas entre los suelos por la prueba t-Student

Los resultados demostraron que en el suelo de alta actividad antrópica, FRR(CV), siempre se detectaron contenidos superiores de los cationes de metales pesados evaluados Cd, Cu, Ni, Pb y Zn, que difieren estadísticamente de los encontrados en el FRR(PN).

En este sentido sobresale el caso del cadmio, ya que en el FRR (CV) es más del doble que en FRR (PN) y los niveles de referencia o los límites de intervención para este catión son extremadamente bajos (entre 3 y 5 mg kg⁻¹) según lo reportado por otros países (20) e incluso para los valores naturales recientemente obtenidos para suelos Ferralíticos de Cuba (21).

En cuanto a esta última información también resultan relativamente elevados los contenidos seudototales encontrados para el cobre y para el zinc.

Estos resultados requieren de atención especial, ya que el incremento en las concentraciones de estos metales pesados en el suelo, evidentemente es consecuencia de las prácticas agrícolas implementadas en el manejo de alta actividad antrópica, probablemente por un excesivo uso de productos fitosanitarios principalmente. Este hecho cobra mayor importancia si se tiene en cuenta que muchas de las especies vegetales que se incluyen dentro de los sistemas de cultivos varios están reconocidas como acumuladoras o hiperacumuladoras de estos contaminantes, lo que pondría en riesgo la seguridad alimentaria por su posible inclusión en la cadena trófica.

En ese sentido es necesario considerar además que la disminución sensible detectada en cuanto a la materia orgánica en el manejo FRR (CV), es otro factor que afecta la acción reguladora que las sustancias húmicas pudieran efectuar sobre la biodisponibilidad de los cationes de metales pesados evaluados, fundamentalmente por su posibilidad de formación de compuestos de coordinación estables con ellos.

CONCLUSIONES

- ◆ La determinación de las distintas formas del carbono orgánico evaluadas en los suelos seleccionados con diferentes manejos, demostró que una elevada actividad antrópica disminuye apreciablemente el COT y el grado de humificación. Esto último deriva en que los ácidos húmicos presentes posean una estructura de menor condensación aromática, así como mayor susceptibilidad a la coagulación debido a una disminución en la cantidad total de grupos funcionales ionizables ácidos, lo que afecta la funcionalidad de estas sustancias en el sistema suelo-planta.
- ◆ Los contenidos seudototales de los cationes de metales pesados determinados, presentaron diferencias significativas entre los dos manejos estudiados, demostrándose que en el suelo de alta actividad antrópica FRR (CV), se registraron los mayores valores para Cu²⁺, Pb²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺ y Cd²⁺.

Para este último el valor encontrado supera los valores máximos permisibles de varios países e incluso el contenido reportado como de referencia para este tipo de suelo de Cuba. Este resultado constituye una alerta en cuanto al riesgo agroalimentario que representa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Chao Su, Jiang LQ, Zhang WJ. A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques. *Environmental Skeptics and Critics*. 2014;3(2):24-38.
2. Amos Tautua, Bamidele MW, Onigbinde, AO, Ere, D. Assessment of some heavy metals and physicochemical properties in surface soils of municipal open waste dumpsite in Yenagoa, Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 2014;8(1):41-7. doi:10.5897/AJEST2013.1621
3. Ahamadou B, Huang Q, Yaping L, Iqbal J. Composition and structure of humic substances in long-term fertilization experimental soils of southern China. *Journal of Soil Science and Environmental Management*. 2013;4(4):77-86.
4. Hernández Jiménez A, Cabrera Rodríguez A, Borges Benítez Y, Vargas Blandino D, Bernal Fundora A, Morales Díaz M, et al. Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana. *Cultivos Tropicales*. 2013;34(3):45-51.
5. Amaral Sobrinho NMB, Guedes JN, Zoffoli HJO. Natural content of heavy metals on cattle regions soils of Mayabeque and Artemisa province in Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2013;47(2).
6. Hernández AJ, Morales M, Borges Y, Vargas D, Cabrera JA, Ascanio MO. Degradación de las propiedades de los suelos ferralíticos rojos lixiviados de la Llanura Roja de La Habana por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*; 2014. 156 p.
7. Hernández AJ, Pérez JM, Bosch D, Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*; 2015. 93 p.
8. Perminova IV, Kulikova NA, editores. *From Molecular Understanding to Innovative Applications of Humic Substances Society*. En 14 th International Meeting September 14-19, Moscow-Saint Petersburg, Russia; 2008. p. 59-63.
9. Canellas LP, Santos GA. *Humosfera tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos dos Goytacazes Brasil; 2005.
10. Standardization IO for. *Soil Quality-Extraction of Trace Elements Soluble in Aqua Regia*. ISO; 1995.
11. Kabata-Pendias A. *Trace elements in soil and plants*. Third edition. USA: Boca Raton; 2001. 413 p.
12. *Statistical Graphics Crop. STATGRAPHICS® Plus [Internet]*. Version 5.1. 2000. (Profesional). Available from: <http://www.statgraphics.com/statgraphics/statgraphics.nsf/pd/pdpricing>

13. Mehraj I, Mir A, Bhat G. Comparative evaluation of physic-chemical properties of rural and urban soil, along river Jhelum, Kashmir, India. *International Journal of Recent Scientific Research*. 2014;5(2):500-4.
14. Jain P, Singh D. Analysis the physic-chemical and microbial diversity of different variety of soil collected from Madhya Pradesh, India. *Scholarly Journal of Agricultural Science*. 2014;4(2):103-8.
15. Delince W, Valdés Carmona R, López Morgado O, Guridi Izquierdo F, Arias B, I M. Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de *Oryza sativa* L y *Solanum tuberosum* L. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2015;24(1):44-50.
16. Quintero González D, Huelva López R, Hernández OL, Guridi Izquierdo F, LouroBerbara R. EL sistema de usos de los suelos Ferralíticos modifica la estructura y las propiedades de sus ácidos húmicos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2012;21(4):55-66.
17. Canellas LP, Dobbss LB, Oliveira AL, Chagas JG, Aguiar NO, Rumjanek VM, *et al*. Chemical properties of humic matter as related to induction of plant lateral roots. *European Journal of Soil Science*. 2012;63(3):315-24. doi:10.1111/j.1365-2389.2012.01439.x
18. Jamaala GY, Oke DO. Humic substances and mineral-associated soil organic carbon as influenced by land use in southeastern Adamawa state, Nigeria. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 2013;6(5):59-70.
19. Guridi-Izquierdo F, Calderín-García A, Louro-Berbara RL, Martínez-Balmori D, Rosquete-Bassó M. Los ácidos húmicos de vermicompost protegen a plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) contra un estrés hídrico posterior. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(2):53-60.
20. Ballesta R, Bueno P, Rubi J, Giménez R. Pedo-geochemical baseline content levels and soil quality reference values of trace elements in soils from the Mediterranean (Castilla La Mancha, Spain). *Open Geosciences*. 2010;2(4):441-54. doi:10.2478/v10085-010-0028-1
21. Pérez Y. Metais pesados em solos representativos das principais regiões agrícolas de Cuba: valores de referência, geoquímica e fatores de variabilidade [Internet] [Tesis de Doctorado]. Universidade Federal Rural do RJ. Seropédica. Brasil; 2015 [citado 29 de marzo de 2018]. 126 p. Available from: <https://tede.ufrj.br/handle/jspui/1841>

Recibido: 4 de septiembre de 2017

Aceptado: 1 de marzo de 2018