

Artículo original

Propiedades biológicas, ácidos húmicos y metales pesados biodisponibles en suelo Ferralítico bajo diferentes usos agrícolas

Reinaldo Reyes-Rodríguez^{1*}

Fernando Guridi-Izquierdo¹

Ramiro Valdés-Carmenate¹

Omar Cartaya-Rubio²

¹Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, carretera a Tapaste y Autopista Nacional, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

²Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32700

* Autor para correspondencia. reinaldo_reyes@unah.edu.cu

RESUMEN

Las propiedades biológicas y la materia orgánica del suelo pueden reflejar el desequilibrio de un determinado ambiente, la sustentabilidad de las prácticas agrícolas y predecir procesos de contaminación. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tres usos agrícolas diferentes (frutales, caña de azúcar y papa) en suelo Ferralítico Rojo hidratado, sobre las propiedades biológicas respiración basal, masa microbiana y el cociente metabólico. También se evaluó el carbono orgánico, así como el coeficiente óptico E_4/E_6 , el umbral de coagulación y el contenido de grupos funcionales ácidos en los ácidos húmicos extraídos de esos suelos. Además, se determinó el contenido pseudototal de cationes de metales pesados Cd^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} y Zn^{2+} . Los resultados demostraron que los usos de caña de azúcar y de papa, mostraron los valores más bajos de respiración basal y masa microbiana, con elevado cociente metabólico, lo que indica un efecto desfavorable de la intensidad de las prácticas agrícolas empleadas sobre la microbiota edáfica. El carbono orgánico mostró diferencias significativas entre los manejos. En los ácidos húmicos se detectaron modificaciones estructurales, reflejadas en el umbral de coagulación y en el coeficiente

óptico E₄ /E₆, así como en el contenido de grupos funcionales ácidos. Los contenidos pseudototales de metales pesados fueron superiores en los usos de mayor cantidad de actividades culturales, especialmente en el correspondiente al cultivo de la papa, donde el Cd²⁺ se encuentra en concentraciones relativamente elevadas, lo cual constituye un riesgo, dado su bajo límite de tolerancia en alimentos.

Palabras clave: prácticas agronómicas, microorganismos, materia orgánica, degradación

Recibido: 14/05/2019

Aceptado: 31/08/2019

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable y su regeneración es muy lenta, siendo sometido constantemente a los procesos de destrucción y degradación. Es un elemento fundamental para la agricultura por suministrar agua y nutrientes a los cultivos, además, de tener la capacidad de proporcionar diversos servicios ecosistémicos: sostenibilidad social y ecológica, ciclaje de agua y nutrientes, seguridad alimentaria, adaptación y mitigación del cambio climático ⁽¹⁾.

El estudio de las propiedades biológicas del suelo y su relación con el contenido de materia orgánica se han convertido en buenos indicadores de las alteraciones que ocurren como resultado de su uso agrícola. Ambos aspectos son sensibles a los cambios de las condiciones del suelo y su afectación puede ser un indicador de contaminación, ofreciendo una información oportuna sobre las alteraciones de la calidad del mismo y permite evaluar el impacto del sistema de manejo ^(2,3).

La degradación y la contaminación de los suelos, así como el descenso de la eficiencia de los sistemas de producción son algunos de los aspectos más importantes en la sostenibilidad agrícola. El manejo de las entradas orgánicas y de la calidad de la materia orgánica del suelo, representan componentes críticos de la productividad de los agroecosistemas de las regiones tropicales, en las que sus usos juegan un importante papel ^(4,5).

En Cuba no es suficiente aún el conocimiento que se ha obtenido acerca del efecto de los usos agrícolas sobre la actividad biológica del suelo, el proceso de humificación del carbono y las concentraciones de cationes de metales pesados. Disponer de esa información puede

constituir una valiosa herramienta para la toma de decisiones a la hora de definir un uso eficiente de los agroecosistemas en nuestro país.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tres diferentes usos agrícolas (frutales, caña de azúcar y papa) de un suelo Ferralítico Rojo hidratado sobre sus propiedades biológicas, los contenidos y las propiedades de las sustancias húmicas y la disponibilidad de metales pesados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron tres sitios con suelo Ferralítico Rojo hidratado (FRRh) de la provincia Mayabeque, Cuba ⁽⁶⁾, con manejos de desigual intensidad de cultivo. Se eligió un primer sitio de coordenadas (N 23° 00' 21,3'' y WO 82° 09' 2,3''), ubicado en los terrenos de la Universidad Agraria de La Habana "El Mangal" (municipio San José de las Lajas), cultivado con plantas de mango (*Mangífera indica*), por más de 40 años, sin perturbación del suelo por labores agrícolas (simbolizado por FRR(M)). Un segundo sitio de coordenadas (N 22° 45' 50,08'' y WO 81° 55' 30,2''), localizado en el bloque # 0603, antiguo No 71 de la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) "Amistad Cuba-Nicaragua" (municipio San Nicolás de Bari), sembrado con caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), por más de 40 años (FRR(C)) y un tercer sitio experimental de coordenadas (N 22° 46' 04,7'' y WO 81° 55' 57,4''), situado en la Finca # 1 de la Unidad Básica de Producción (UBP) "Manuel Enrique Hernández Peña" (municipio San Nicolás de Bari), cultivado con papa (*Solanum tuberosum* L), en los últimos cinco años (FRR(P)).

En cada sitio se colectaron muestras en 15 puntos, de forma aleatoria, en una superficie de media hectárea, a una profundidad de 0-30 cm, para conformar muestras compuestas que se subdividieron en cinco porciones idénticas, para evaluar en ellas la respiración basal por el método respirométrico ⁽⁷⁾ y la masa microbiana por el método de Fumigación-Extracción ⁽⁸⁾. El cociente de actividad metabólica (q CO₂) se determinó mediante la relación entre la respiración basal y la cantidad de biomasa microbiana por unidad de tiempo (hora).

El contenido de carbono orgánico total (COT) en las muestras de suelo se determinó espectrofotométricamente, después de su oxidación con dicromato de potasio (calidad P.A.) de concentración 0,2 mol L⁻¹ en medio ácido sulfúrico 5 mol L⁻¹. La cantidad de Cr³⁺ producido en la reacción es proporcional a la cantidad de carbono orgánico. La relación entre

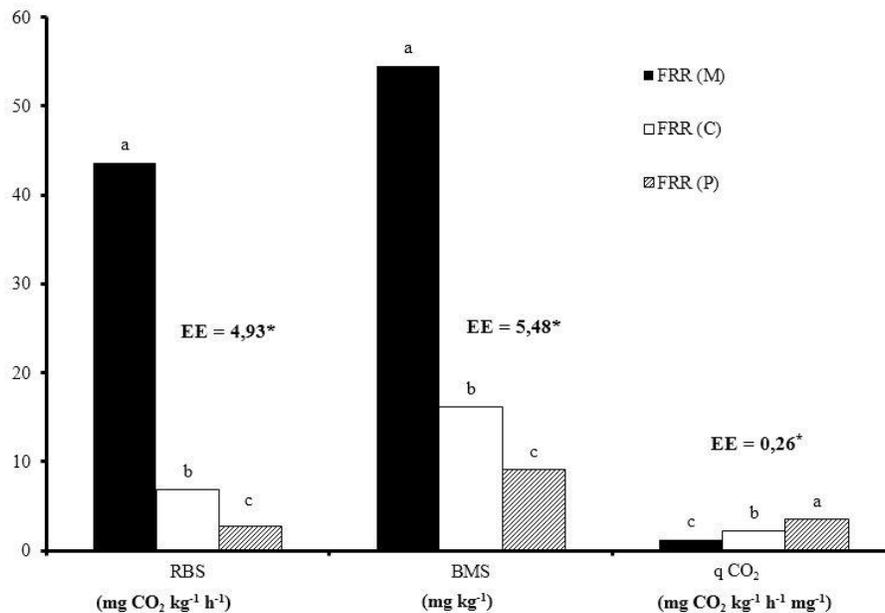
la lectura de la absorbancia debida al Cr^{3+} y la masa de carbono se obtuvo previamente con una curva de calibración, utilizando diferentes cantidades de glucosa (P.A.). La extracción del carbono orgánico soluble (COS), de los ácidos húmicos (AH) y los ácidos fúlvicos (AF), así como la purificación de los AH, se realizó siguiendo la metodología de la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas ⁽⁹⁾. Algunos de los pasos fundamentales de ese procedimiento consisten en obtener la mezcla de AH y AF, tratando a la muestra con un medio acuoso alcalino. Posteriormente se separan los AH mediante coagulación acidificando la mezcla hasta $\text{pH} < 2$, utilizando una disolución 6 mol L^{-1} de ácido clorhídrico. Los AH aislados se lavan, se redisuelven y se coagulan nuevamente. La determinación del coeficiente óptico E_4/E_6 de los AH en una disolución de éstos en hidrógeno carbonato de sodio de $c(\text{NaHCO}_3) = 0,05 \text{ mol L}^{-1}$, leyéndose las absorbancias a 465 y 665 nm en un Espectrofotómetro (Rayleigh UV-1601) ⁽¹⁰⁾. El valor del umbral de coagulación se determinó a partir de una disolución de los AH de 150 mg L^{-1} en $c(\text{NaHCO}_3) = 0,05 \text{ mol L}^{-1}$ a $\text{pH} = 8$, de la cual se tomaron volúmenes iguales que se pusieron en contacto con concentraciones crecientes de cloruro de calcio (CaCl_2 , calidad PA) desde $1,25 \text{ mmol L}^{-1}$ hasta $18,75 \text{ mmol L}^{-1}$. Después de 24 horas se detectó visualmente la menor concentración del CaCl_2 , que provocó la coagulación de los ácidos húmicos ⁽¹⁰⁾. La acidez total y los grupos funcionales ácidos (carboxílicos y fenólicos) de los ácidos húmicos, previamente disueltos en hidróxido de sodio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, se determinaron mediante valoración potenciométrica, utilizando una disolución patrón de ácido clorhídrico.

El contenido pseudototal de los cationes de metales pesados (todos aquellos presentes en el suelo excepto los que forman parte de los minerales primarios), se evaluó con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Rayleigh WFX-210) del laboratorio de Fisiología del Instituto de Ciencia Animal (ICA), después de una digestión de los suelos con agua regia ⁽¹¹⁾. Los valores obtenidos fueron comparados con lo informado para suelos y plantas ⁽¹²⁾.

Se empleó un diseño aleatorizado en los tres usos agrícolas estudiados y todos los datos obtenidos se analizaron en el programa estadístico STATGRAPHICS Plus para Windows 5.1 ⁽¹³⁾. La comparación de medias fue realizada mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey para $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de la respiración basal (RBS), la biomasa microbiana (BMS) y el cociente de actividad metabólica ($q\text{ CO}_2$) manifestaron diferencias significativas para los tres usos estudiados (Figura 1).



Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según Tukey para $p < 0,05$, $n=5$

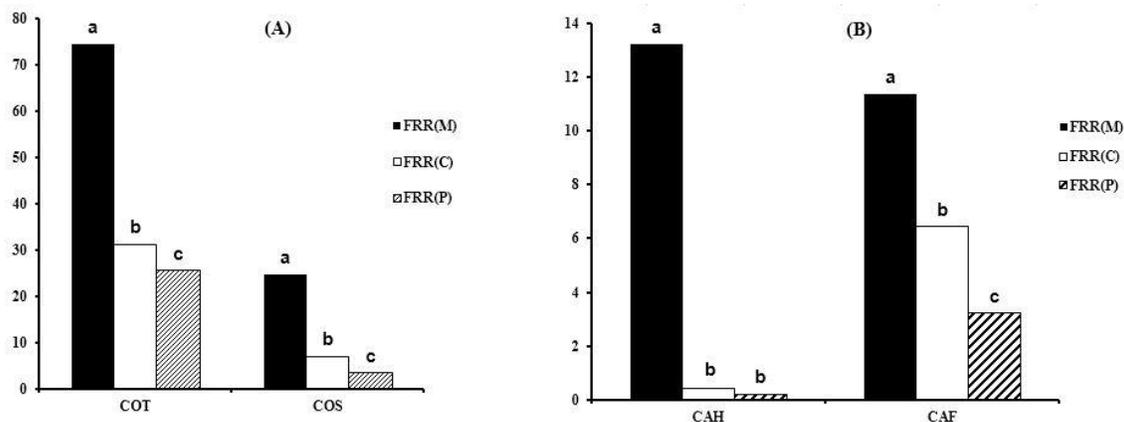
Figura 1. Respiración basal (RBS), biomasa microbiana (BMS) y Coeficiente de actividad metabólica ($q\text{ CO}_2$) en los sitios con diferentes usos agrícolas

En lo que respecta a la biomasa microbiana y la respiración basal del suelo, el uso FRR (M), que es de baja actividad antrópica, presentó los valores superiores, lo que está asociado a un contenido mayor de carbono, aspecto que favorece la vida edáfica en este manejo, contribuyendo más a la sustentabilidad y la conservación biológica del suelo.

Los bajos valores de respiración y masa microbiana de los manejos FRR(C) y FRR(P), pueden estar asociados a la perturbación frecuente del medio edáfico, producida por un alto grado de antropización y una mayor intensidad en el manejo agrícola de estos agroecosistemas ^(14,15). Lo anterior debe repercutir en contenidos mayores de cationes metálicos en estos manejos, lo que implicaría condiciones de estrés metálico, aspecto que parece ratificarse por los valores superiores del $q\text{ CO}_2$ obtenido para estos usos. Todo lo

descrito constituye una alerta a tener presente, ya que la preservación de la biota edáfica es imprescindible en el mantenimiento de la fertilidad de los agroecosistemas ⁽¹⁶⁾.

Con respecto a 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 usos agrícolas, se registró una disminución considerable en FRR(C) y FRR(P) con respecto a FRR(M) (Figura 2).



ES_x en COT= 5,58*, ES_x en COS = 2,47*, ES_x en CAH = 1,62* y ES_x en CAF=0,89*. Letras distintas indican diferencia estadística significativa según Tukey para p<0,05, n=5

Figura 2. (A) Contenido de carbono orgánico total (COT) y carbono orgánico soluble (COS). (B) Carbono como AH (CAH) y como AF (CAF) en suelos con diferentes manejos

Para el caso del COT y del COS se detectó una reducción de más del 50 % en los usos de mayor actividad antrópica (cultivos de la caña de azúcar y de la papa), con respecto a FRR(M).

Los resultados obtenidos en los usos FRR(C) y FRR(P) confirman la apreciable disminución que provoca la aplicación intensiva de labores agrícolas, en cuanto a la conservación del carbono, cuestión que se continúa informando en la literatura científica reciente ^(17,18) en suelos agrícolas de otras regiones geográficas.

También se registró un comportamiento diferente en la proporción que representó el COS con respecto al COT, obteniéndose valores de 64,29 % en FRR(M), 23,14 % en FRR(C) y 21,8 % para el uso FRR(P). Lo anterior sugiere que los manejos intensivos, además de inducir una pérdida neta del carbono orgánico en el suelo, afectan el proceso normal de humificación. En condiciones tropicales, la sostenibilidad de la productividad agrícola y la seguridad

alimentaria, se ven afectadas por las prácticas agrícolas que se realizan, en lo cual la conservación de la materia orgánica del suelo es un aspecto trascendental ⁽¹⁹⁾.

La afectación ocasionada al proceso normal de humificación del carbono orgánico del suelo se evidenció en las diferencias encontradas en el carbono, formando parte de los ácidos húmicos (CAH) y de los ácidos fúlvicos (CAF), al comparar los usos agrícolas estudiados. Además, la relación CAH/CAF, tanto en FRR(C) como en FRR(P), tiene un valor mucho menor que la unidad, lo que sugiere que la formación de AH está desfavorecida en comparación con FRR(M).

Lo encontrado con respecto al carbono guarda relación con lo obtenido en cuanto a actividad de microbiota.

Estos resultados reafirman lo informado en cuanto a las pérdidas de carbono y productividad agrícola en los horizontes superficiales en suelos Ferralíticos Rojos cubanos, utilizados en cultivos de pocas raíces ⁽²⁰⁾.

En los AH aislados de los suelos de los sitios en estudio se comprobaron diferencias en los valores del coeficiente óptico E_4/E_6 y el umbral de coagulación (Tabla 1).

Tabla 1. Coeficiente óptico E_4/E_6 y umbral de coagulación de los ácidos húmicos de los suelos con diferentes manejos

Ácido Húmico-Uso	Coeficiente E_4/E_6	Umbral de Coagulación ($\text{mmol Ca}^{2+}\text{kg}^{-1}$ AH)
AH FRR(M)	4,43 c	20,36 a
AH FRR(C)	6,52 b	13,82 b
AH FRR(P)	7,66 a	9,34 c
ES _x	0,36	0,76

Las letras distintas indican diferencias significativas entre los diferentes usos según Tukey para $p < 0,05$

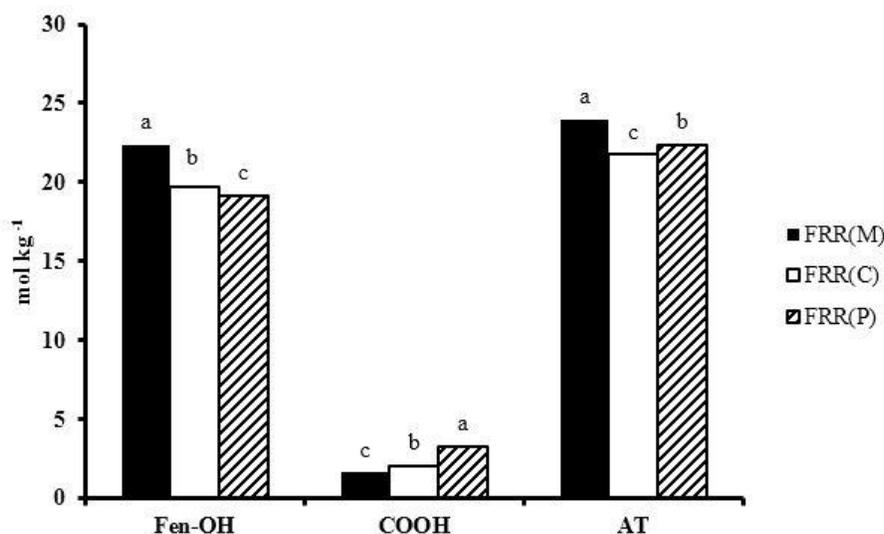
Los valores del coeficiente óptico encontrados, se corresponden con el intervalo informado para este tipo de sustancia ⁽¹⁰⁾. Dado que el valor numérico de este indicador está en proporción inversa con el grado de condensación aromática de la estructura del ácido húmico ⁽¹⁰⁾, se comprobó que los AH perteneciente al uso FRR(M) poseen estructura con un mayor nivel de condensación aromática. Esta evidencia puede estar sustentada en la permanente contribución de la materia orgánica fresca, aportada por este tipo de uso agrícola y su ambiente edáfico menos perturbado, lo que propicia la actividad de la biota y mayor estabilidad estructural.

Por su parte, los valores del umbral de coagulación, reflejan también diferencias en la hidrofiliidad de los AH, ya que mientras mayor es la interacción con el agua se requieren concentraciones superiores del electrolito coagulante. Los AH del uso FRR(M) poseen la mayor hidrofiliidad, mientras los correspondientes a FRR(P) presentan un umbral de coagulación significativamente inferior. Esto constituye un riesgo en caso de producirse algún proceso de salinización, ya que los AH perderían su funcionabilidad en el sistema suelo-planta al coagular.

Los valores superiores encontrados en FRR(C) y FRR(P) para este indicador, unido a la disminución en el contenido de carbono orgánico y una inferior actividad de la biota como se ha comprobado, reflejan afectación en el proceso normal de humificación, lo que implica que está comprometida la capacidad productiva y su sostenibilidad en estos suelos ⁽²¹⁾.

Varios autores en estudios recientes ⁽²²⁾, encontraron una situación semejante para manejos de cultivos varios y pastos naturales en suelos Ferralíticos de Mayabeque.

En cuanto al contenido de los grupos funcionales ácidos presentes en los ácidos húmicos extraídos de los suelos con diferentes manejos, se encontraron diferencias significativas entre los sitios objeto de estudio (Figura 3).



ES_x para Fen-OH=0,38*; ES_x para COOH=0,25* y ES_x para AT=0,25*. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según Tukey para p<0,05, n=5

Figura 3. Contenido de grupos funcionales carboxílicos (COOH), fenólicos (Fen-OH) y acidez total (AT) en suelos con diferentes manejos

La disminución evidenciada en el contenido de grupos fenólicos de los AH en los manejos de actividad antrópica más intensa, confirma lo obtenido antes en cuanto al nivel de aromaticidad que reflejó el coeficiente E_4/E_6 . De la misma manera el hecho de que en ellos sea menor la cantidad total de estos grupos ionizables está en estrecha correspondencia con lo hallado en cuanto al umbral de coagulación. Esto último además tiene una repercusión desfavorable en la contribución que el carbono humificado puede hacer a la capacidad de intercambio catiónico del suelo, aspecto muy relacionado con su fertilidad.

La determinación de los contenidos pseudototales de cationes de metales pesados Cd^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} y Zn^{2+} manifestó también diferencias significativas entre los usos estudiados (Tabla 2).

Tabla 2. Contenidos pseudototales en suelos con diferentes usos agrícolas

Manejos	Cationes de metales pesados ($mg \cdot kg^{-1}$)				
	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
FRR(M)	2,33 c	8,27 c	21,04 c	15,71 c	22,69 c
FRR(C)	4,1 b	15,35 b	64,41 a	18,89 a	33,05 b
FRR(P)	6,63 a	19,16 a	44,99 b	17,21 b	44,31 a
ES _x	0,47	1,2	5,03	0,35	2,38

Letras distintas indican diferencias significativas entre los suelos por la prueba de Tukey para $p < 0,05$, $n = 5$

Los valores obtenidos en el contenido pseudototal indicaron que en los usos intensivos FRR(C) y FRR(P) fueron encontrados valores significativamente superiores para los cationes Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} y Zn^{2+} , en comparación con FRR(M), que es de menor actividad antrópica. En cuanto al incremento significativo en el contenido de Cu^{2+} , respecto al suelo FRR(M), es probable que esté relacionado con la aplicación de productos fitosanitarios, basados en óxidos y sales de este metal. En esos suelos los valores encontrados superan a los obtenidos anteriormente para suelos Ferralíticos Rojos ⁽²³⁾, empleados en distintos sistemas de producción agrícola, lo que indica que en los años recientes ha continuado el incremento en sus niveles.

Los elevados contenidos de Pb^{2+} en los manejos FRR(C) y FRR(P), pudieran atribuirse al empleo de maquinaria agrícola con motores de combustión interna, así como a la quema en el caso del cultivo de la caña de azúcar.

En el caso del Cd^{2+} el suelo correspondiente a FRR(P) presentó un contenido pseudototal que supera incluso los valores de concentración, consideradas como límites permisibles en otros lugares del mundo; como, por ejemplo, de 1 a 3 mg kg^{-1} en la Unión Europea y 3 mg kg^{-1} en Gran Bretaña ⁽²⁴⁾.

Todo lo anterior está relacionado a los manejos agrícolas con intensa actividad antrópica, que conllevan la aplicación de gran cantidad de agroquímicos y acciones fitosanitarias en ambos manejos, con reconocido riesgo agroambiental ⁽²⁵⁾. Estos resultados reafirman estudios publicados, que plantean que los suelos agrícolas están recibiendo elevadas cantidades de contaminantes del tipo metales pesados por prácticas agrícolas imprudentes y no adecuadas, provocando desordenes en las funciones del sistema suelo-planta ⁽²⁶⁾. Esta situación debe tomarse en cuenta a la hora de emplear estos suelos para la producción de alimentos de consumo humano, dados los niveles de toxicidad reconocidos en la literatura ⁽²⁷⁾.

En general los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que la biomasa microbiana, la respiración del suelo, el carbono orgánico, las sustancias húmicas solubles y el contenido de cationes de metales pesados, son indicadores sensibles que pueden usarse para monitorear las modificaciones derivadas del manejo agrícola.

CONCLUSIONES

- Se verificó el efecto desfavorable de la intensidad de las prácticas agrícolas empleadas sobre la preservación de la biota edáfica, reflejado en los bajos contenidos de carbono orgánico total y el carbono orgánico soluble en aquellos usos de elevada actividad antrópica.
- El coeficiente óptico E_4/E_6 , el umbral de coagulación y los contenidos de grupos funcionales ácidos en los ácidos húmicos, confirman las modificaciones estructurales desfavorables que se producen en los usos agrícolas con explotación intensiva, que comprometen las funciones directas e indirectas de fracción humificada de la materia orgánica.
- Los contenidos de metales pesados disponibles en los suelos de los usos FRR(C) y FRR(P), registraron los mayores valores para Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} y Zn^{2+} . En el caso del Cd^{2+} se encontró un contenido elevado con riesgo para la seguridad alimentaria.

BIBLIOGRAFÍA

1. Espinoza IDN, Zenteno MDC, Chávez JC, Moreiral VN, Solarte KEA, Intriago FLM. Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas agrarios*. 2018;23(2):177-87.
2. Rivero Herrada M, Remigio Gaibor Fernández R, Mozena Leandro W, Petrônio de Brito Ferreira E, Maris Ferraresi T, Reyes Pérez JJ. Evaluación de atributos biológicos de un suelo latosol bajo producción agroecológica. *Centro Agrícola*. 2016;43(4):14-20.
3. Paolini Gómez JE. Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Terra Latinoamericana*. 2018;36(1):13-22. doi:10.28940/terra.v36i1.257
4. Vásquez JR, Schellekens J, Kaal J. Composición de la materia orgánica en los suelos de seis zonas edafoclimáticas del Magdalena (Colombia). *Spanish Journal of Soil Science*. 2015;5(3):243-58.
5. Moreno C, González MI, Egido JA. Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. *ECUADOR ES CALIDAD: Revista Científica Ecuatoriana*. 2015;2(1):33-40. doi:10.36331/revista.v2i1.8
6. Hernández Jiménez A, Pérez Jiménez JM, Bosch Infante D, Castro Speck N. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)/Instituto de Suelos; 2015. 93 p.
7. Durango W, Uribe L, Henríquez C, Mata R. Respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosque en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía costarricense*. 2015;39(1):37-46.
8. Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS. Microbial biomass measurements in forest soils: the use of the chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 1987;19(6):697-702.
9. Perminova IV, Kulikova NA. From Molecular Understanding to Innovative Applications of Humic Substances Society. En: 14 th International Meeting September. 2008. p. 59-63.
10. Canellas LP, Santos G. *Humosfera: Tratado Premilinar Sobre a Química das Substâncias Húmicas/Luciano Pasqualoto Canellas e Gabriel Araújo Santos. Campos dos Goytacazes: Santos. 2005;*
11. Standardization IO for. Soil quality-Extraction of trace elements soluble in aqua regia. ISO; 1995.
12. Kabata A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton: CRC press; 2011. 534 p.

13. StatPoint. Statgraphics Plus 5.1. StatPoint Rockville, MD; 2000.
14. WingChing-Jones R, Lorío LU. Biomasa y actividad microbiana en suelos de uso ganadero y en regeneración de bosque. *Research Journal of the Costa Rican Distance Education University* (ISSN: 1659-4266). 2016;8(1):107-13.
15. Cabrera-Dávila G de la C, Socarrás-Rivero AA, Hernández-Vigoa G, Ponce de León-Lima D, Menéndez-Rivero YI, Sánchez-Rendón JA. Evaluación de la macrofauna como indicador del estado de salud en siete sistemas de uso de la tierra, en Cuba. *Pastos y Forrajes*. 2017;40(2):118-26.
16. Mesa-Pérez MA, Echemendía-Pérez M, Valdés-Carmenate R, Sánchez-Elías S, Guridi-Izquierdo F. La macrofauna edáfica, indicadora de contaminación por metales pesados en suelos ganaderos de Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 2016;39(3):116-24.
17. 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.
18. Rossi CQ, Pereira MG, García AC, Berbara RLL, Gazolla PR, Perin A, et al. Effects on the composition and structural properties of the humified organic matter of soil in sugarcane strawburning: A chronosequence study in the Brazilian Cerrado of Goiás State. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2016;216:34-43.
19. de MP do N, Robervone S, Ramos ML, de Figueiredo CC, Silva AM, Silva SB, et al. Soil organic matter pools under management systems in Quilombola Territory in Brazilian Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*. 2017;21(4):254-60.
20. Silva JR, Silva DJ, Gava CAT, Oliveira TCT de, Freitas M do SC de, Silva JR, et al. Carbon in Humic Fractions of Organic Matter in Soil Treated with Organic Composts under Mango Cultivation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo [Internet]*. 2016 [citado 21 de noviembre de 2019];40. doi:10.1590/18069657rbcs20150095
21. Páez LEC, Realpe I del SB, Peinado FJM, Flores JCM. Extracción secuencial de metales pesados en dos suelos contaminados (Andisol y Vertisol) enmendados con ácidos húmicos. *Acta Agronómica*. 2016;65(3):232-8.
22. Trinidad SA, Velasco-Velasco J. Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Revista Agroproductividad*. 2016;9(8):52-8.
23. Reyes-Rodríguez R, Guridi-Izquierdo F, Valdés-Carmenate R. El manejo del suelo modifica a sus ácidos húmicos y la disponibilidad de metales pesados. *Cultivos Tropicales*. 2018;39(2):15-20.
24. 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.

25. Delince W, Valdés Carmentate R, López Morgado O, Guridi Izquierdo F, Balbín Arias MI. 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.
26. Sidhu GPS. Heavy metal toxicity in soils: Sources, remediation technologies and challenges. Adv. Plants Agric. Res. 2016;5:00166.
27. Edao HG. Heavy metals pollution of soil; toxicity and phytoremediation techniques. Indian J. Adv. Eng. Res. 2017;1(1):2456-9992.