

Uso agrícola y disponibilidad de metales pesados en agroecosistemas de Mayabeque

Agricultural use and availability of heavy metals in agroecosystems of Mayabeque

Reinaldo Reyes Rodríguez

Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana, Cuba.

reinaldoreyes@unah.edu.cu

Fernando Guridi Izquierdo

Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana, Cuba.

Ramiro Valdés Carmenate

Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana, Cuba.

RESUMEN: El uso agrícola y el procedimiento tecnológico empleado sobre los suelos son fundamentales en la productividad y la seguridad alimentaria. Los objetivos de esta investigación fueron evaluar el efecto de siete usos agrícolas: FRRt (PNCP) (pastos naturales), FRAI (Pastizal), FRRh (Fm), FRRt (Cv) (cultivos varios), FRRh(C) (caña), FRRh (Cp) (cultivo de papa) y FRAI (R) en suelos Ferralíticos sobre las propiedades físicas: textura (método Bouyoucos), estabilidad estructural (Yoder), pH (potenciometría), propiedades químicas (Ca^{+2} y Mg^{2+}) (volumetría) y (Na^{+1} y K^{+1}) (Fotometría de llama), las propiedades biológicas: respiración basal (método respirométrico), masa microbiana (método fumigación-extracción) y el cociente metabólico, así como cuantificar el carbono orgánico (colorimétricamente), coeficiente óptico E_4/E_6 (Espectroscopía UV-Vis), umbral de coagulación y el contenido de grupos funcionales ácidos en los ácidos húmicos extraídos de esos suelos (potenciometría), y determinar el contenido pseudototal de cationes de metales pesados (absorción atómica). Los resultados obtenidos demostraron el efecto desfavorable del uso agrícola utilizado en los indicadores evaluados en usos de alta actividad antrópica. Ello implica que se vean afectadas las funciones que ejercen estos en el sistema suelo-planta. Los contenidos de metales pesados presentaron diferencias entre los siete sistemas estudiados y los usos (caña) y papa (Cp) presentaron valores elevados para Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} y Zn^{2+} en el caso del Cd^{2+} se apreció un contenido superior al referido como máximo permisible en varios países, y también para suelos de Cuba. Se concluye que los usos intensivos modifican de manera perjudicial las propiedades evaluadas, por lo que existe la posibilidad de que ocurran fenómenos de Agrocontaminación que influirían en la inocuidad de los cultivos y la seguridad alimentaria.

Palabras clave: Contaminación, indicadores de fertilidad, prácticas agrícolas, Mayabeque.

ABSTRACT: Agricultural use and the technological procedure used on soils are fundamental in productivity and food security. The objectives of this research were to evaluate the effect of seven agricultural uses: FRRt (PNCP) (natural pastures), FRAI (Grassland), FRRh (Fm), FRRt (Cv) (various crops), FRRh(C) (cane), FRRh (Cp) (potato cultivation) and FRAI (R) in Ferralitic soils on physical properties: texture (Bouyoucos method), structural stability (Yoder), pH (potentiometry), chemical properties (Ca^{+2} and Mg^{2+}) (volumetry) and (Na^{+1} and K^{+1}) (Flame Photometry), the biological properties: basal respiration (spirometric method), microbial mass (fumigation-extraction method) and the metabolic quotient, as well as quantifying the organic carbon (colorimetrically), optical coefficient E_4/E_6 (UV-Vis Spectroscopy), coagulation threshold and the content of acidic functional groups in humic acids extracted from these

Recibido: 05/06/2022

Aceptado: 17/06/2022



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



soils (potentiometry), and determine the pseudototal content of heavy metal cations (atomic absorption). The results obtained demonstrated the unfavorable effect of the agricultural use used on the indicators evaluated in uses of high anthropogenic activity. This implies that the functions they perform in the soil-plant system are affected. The contents of heavy metals presented differences between the seven systems studied and the uses (cane) and potato (Cp) presented high values for Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} and Zn^{2+} in the case of Cd^{2+} a content higher than that referred to as the maximum allowable in several countries, and also for Cuban soils. It is concluded that intensive uses detrimentally modify the evaluated properties, so there is the possibility of Agrocontamination phenomena occurring that would influence crop safety and food security.

Keywords: Pollution, fertility indicators, agricultural practices, Mayabeque.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las propiedades del suelo y su relación con el contenido disponible de metales pesados se han convertido en buenos indicadores de las alteraciones que ocurren producto 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 y degradación (Paolini, 2018).

La degradación y contaminación de los suelos, así como el descenso de la eficiencia de los sistemas de producción son aspectos importantes en la sostenibilidad agrícola, donde los usos y prácticas agrícolas juegan un rol importante (Vázquez et al., 2015).

En Cuba, todavía no es suficiente el conocimiento obtenido acerca del efecto de los diferentes usos agrícolas sobre las propiedades del suelo, el proceso de humificación del carbono y las concentraciones de cationes de metales pesados. Por ello, disponer de esa información actualizada constituye una inestimable herramienta para la toma de decisiones a la hora de definir un uso eficiente de los agroecosistemas en nuestro país, y aportar a la Tarea Vida, plan del estado cubano frente a la degradación de los suelos y en aras del enfrentamiento al cambio climático.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de siete usos agrícolas diferentes (Pastos naturales, pastizal, frutales, cultivos varios, caña de azúcar, cultivo de la papa y un sistema de rotación de cultivos en suelos Ferralítico Rojo sobre sus propiedades físicas, químicas, biológicas, los contenidos y propiedades estructurales de las sustancias húmicas y la disponibilidad de cationes de metales pesados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron seleccionadas siete áreas experimentales con suelo Ferralítico Rojo (FRR) de la provincia Mayabeque, Cuba (Hernández et al., 2015), con usos agrícolas de desigual intensidad de cultivo. Se eligió un primer sitio de coordenadas (N 22°05' 62.8'' y WO 82°20' 42.7'') ubicado en las alturas de Nazareno, en el municipio San José de las Lajas, (sistema naturalizado de Pasto Estrella y de Hierba de Guinea por más de 40 años en pastoreo (FRRt (PNCP)). El segundo sitio se ubicó en los terrenos de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH) (Municipio San José de las Lajas), bajo un pastizal (FRAI (Past), con coordenadas (WO 82° 09' 0,8'' y N 22°59' 59,1''). El tercero, con coordenadas (N23°00' 21,3'' y WO 82° 09' 2,3''), se ubicó en los terrenos del INCA (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas) "El Mangal" (Municipio San José de las Lajas), cultivado con plantas de mango (*Mangifera indica*) por más de 40 años. El cuarto sitio de coordenadas (N 22°46' 46,0'' y WO 81°55' 15,0''), dedicado a cultivos varios (*Phaseolus vulgaris*, *Ipomea batata* y *Zea mays* L.), antes (*Saccharum officinarum* L.) FRRt (Cv). El quinto sitio con coordenadas (N 22° 45' 50,08'' y WO 81° 55' 30,2'') se localizó 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 FRRh(C). El sexto sitio experimental de coordenadas (N 22° 46' 04,7'' y WO 81° 55' 57,4'') estuvo situado en la Finca # 1 de la Unidad Básica de Producción (UBP) Manuel Enrique Hernández Pena (Municipio San Nicolás), cultivado con

papa (*Solanum tuberosum* L), en los últimos quince años FRRh(Cp). La séptima área de coordenadas (N 22° 98' 71,30'' y WO 82°15' 24,32'') estuvo dedicada a la rotación de los cultivos (*Gladiolus communis*- *Phaseolus vulgaris* y *Zea mays* L.) (FRAI (Rotación) y se localizó en la Finca "El Mamey", perteneciente a la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS), "Manuel Fajardo", del municipio San José de las Lajas.

En cada sitio, se colectó 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, con el propósito de evaluar en ellas el contenido de arcilla, 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 se determinó por el método de Paneque *et al.* (2010). La determinación del pH por potenciometría. El contenido de los cationes K¹⁺ y Na¹⁺ se determinaron por Fotometría de Llama. Los cationes Ca²⁺ y Mg²⁺ se determinaron mediante volumetría de formación de complejos (Paneque *et al.*, 2010). La respiración basal, por el método respirométrico (Durango *et al.*, 2015) y la masa microbiana por el método de Fumigación-Extracción (Vance *et al.*, 1987). Los cocientes metabólico (qCO₂) (Ross, 1994) y microbiano (qmic) (Sparling, 1992). El contenido de carbono orgánico total (COT) en las muestras de suelo se determinó por colorimetría (Walkley Black, 1934). 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 (IHSS, 2008). La determinación del coeficiente óptico E₄/E₆ de los AH y el valor del umbral de coagulación (Canellas y Santos, 2005). La acidez total y los grupos funcionales de los ácidos húmicos fueron determinados mediante valoración potenciométrica.

El contenido pseudototal de los cationes de metales pesados en el suelo se evaluó con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Rayleigh WFX-210) del laboratorio de Fisiología del Instituto de Ciencia Animal (ICA), digestión de los suelos con agua regia (ISO, 1995). Los valores obtenidos fueron comparados con lo informado para suelos y plantas como permisibles por (Kabata-Pendias, 2011). Se empleó un diseño aleatorizado en los siete usos agrícolas estudiados y todos los datos obtenidos fueron analizados con el programa estadístico STATGRAPHICS Plus para Windows 5.1 (Statistical Graphics Crop, 2000). La comparación de medias fue realizada mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey para p < 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores del porcentaje de arcilla, arena y limo evaluados manifestaron diferencias significativas para los siete usos estudiados (Figura 1).

El mayor porcentaje fue para la arcilla, seguido por arena, y después el limo, o sea % arcilla > % arena > % limo. Por lo que al interpretar estos datos empleando el triángulo Textural (Soil Survey Manual, 2014), se concluyó que estos suelos se clasifican como arcillosos. Por pertenecer al agrupamiento Ferralítico (Hernández *et al.*, 2015), la caolinita es la arcilla predominante en estos suelos.

Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas entre los porcentajes de arcillas para cada sitio agrícola estudiado. Se observó que los porcentajes de arcilla más altos fueron encontrados en los suelos de los usos agrícolas FRAI (Pastizal) y los más bajos en el sistema de cultivo de la caña y el cultivo de la papa.

En los casos de los usos agrícolas FRRh(C) y el cultivo de la papa FRRh (Cp), los sistemas de cultivo intensivo empleados por largo tiempo con elevada actividad antrópica son aspectos a considerar por favorecer la susceptibilidad de ellos a la degradación y como indican (Sarmiento *et al.* (2018), se puede fomentar la aparición de fenómenos como la erosión, la salinidad, la compactación edáfica y la contaminación ambiental, con la correspondiente disminución de la fertilidad y el rendimiento productivo de estos suelos.

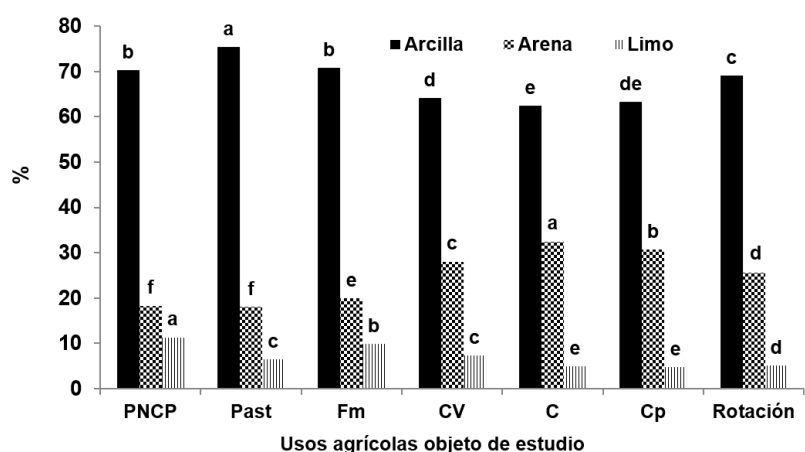


Figura 1. Porcentaje de arcilla, arena y limo en los sitios estudiados FRRt (PNCP), FRAI (Pastizal), FRRh (Fm), FRRt (Cv) (cultivos varios), FRRh(C) (caña), FRRh (Cp) (cultivo de papa) y FRAI (R). Medias de diez repeticiones. E.E. en Arcilla = 0,53*, E.E. en Arena= 0,6* y E.E. en Limo= 0,3*. Letras distintas indican diferencia estadística significativa

Con respecto a la determinación de la Estabilidad Estructural: Estabilidad en seco y húmedo y el índice de Agregación de los suelos objeto de estudio se registró una afectación considerable en FRR(C) y FRR (Cp) en relación con el resto de los usos agrícolas estudiados (Figura 2).

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

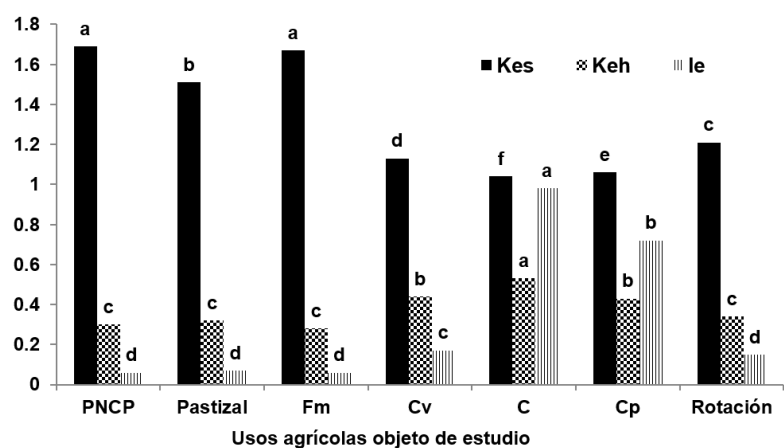


Figura 2. Valores de Kes, Keh e Ie en los distintos usos agrícolas. Medias de diez repeticiones. E.E. en Kes = 0,03*, E.E. en Keh = 0,01* y E.E. Ie= 0,04*. Letras distintas indican diferencia estadística significativa según Tukey para $p < 0,05$.

Los estudios estadísticos mostraron diferencias significativas. En cuanto a los valores de Kes se puede observar que los valores más elevados se presentan en los usos agrícolas con menor actividad antrópica, FRRh (Fm) y FRRt (PNCP). Para el coeficiente de estabilidad en húmedo (Keh), en esas prácticas agrícolas se registraron los valores inferiores, al igual que en Índice de estabilidad estructural (en este indicador se manifestó la secuencia FRAI (pastizal) (PNCP) < FRRt (PNCP) < FRRh (Fm) FRAI (Rotación) < FRRt (Cv) < FRRh(C) ≈ FRRh (Cp).

La información obtenida indica que los usos agrícolas intensivos aplicados durante muchos años han incidido negativamente en la estabilidad estructural de los suelos estudiados.

Las diferencias significativas encontradas en el I_e entre los manejos agrícolas estudiados, responde al tipo de prácticas agrícolas empleadas en cada sitio. Al mismo tiempo, los bajos valores del I_e encontrado en el FRRh (Cp) y en FRRh(C) indican que la estructura del suelo ha presentado modificaciones desfavorables debido a la explotación intensiva a que se han sometido durante años. Ello revela un alto riesgo de degradación o suelos estructuralmente degradados. Dichos aspectos deben ser tenidos en cuenta a la hora de implementar acciones de conservación del suelo.

El autor concuerda con [Fernández \(2014\)](#) quien opina que los suelos inestables estructuralmente poseen un alto riesgo a la degradación física, limitan el desarrollo agrícola sostenible y la estabilidad de la estructura influye directa e indirectamente SOBRE otras propiedades físicas y químicas del suelo y puede ser usada como un indicador de la degradación de estos, lo que también incluye a la disponibilidad de metales pesados. Asimismo, dichos sistemas son los que poseen mayores modificaciones en el contenido de carbono orgánico, por lo que se reafirma lo expresado por varios autores como ([Iglesias et al., 2018](#)), quienes reportan que los sistemas de cultivo modifican la cantidad y distribución del carbono, influyendo sobre el tamaño de los agregados y la estabilidad estructural de los suelos.

Propiedades químicas evaluadas en los manejos objeto de estudio

Los resultados obtenidos en la determinación de las propiedades químicas y físico-químicas evaluadas en los manejos de suelos objeto de estudio se muestran en la

Tabla 1. Propiedades químicas y físico-químicas evaluadas en los suelos

	Manejo	pH		Bases cambiables (cmol kg ⁻¹)				Relación Ca/Mg
		H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
1	(PNCP)	7,7 b	6,7 b	10,6 f	4,51 b	0,30 ef	0,32 cd	2,37 c
2	(Pastizal)	7,6 c	6,0 c	7,8 g	3,4 d	0,3 f	0,30 de	2,32 c
3	(Fm)	7,7 b	6,8 b	12,3 e	5,0 a	0,32 de	0,34 c	2,46 c
4	(Cv)	8,2 a	7,2 a	13,7 b	3,5 d	0,32 d	0,28 e	3,9 a
5	(C)	8,1 a	7,1 a	11,8 c	3,45 d	0,46 c	0,24 f	3,42 b
6	(Cp)	8,2 a	7,1 a	16,5 a	3,95 c	0,7 a	0,6 a	4,2 a
7	(Rotación)	7,6 c	6,1 c	11,2 d	4,29 bc	0,6 b	0,5 b	2,64 c
	E. E.	0,04	0,05	0,03	0,08	0,02	0,01	0,09

E.E.= Error estándar. Las letras distintas indican una diferencia significativa entre los manejos (Tukey $p < 0,05$).

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al pH en agua y el pH en KCl entre los distintos usos agrícolas estudiados. Se detectó que los sistemas agrícolas FRAI (pastizal) y FRAI (Rotación) presentaron los valores más bajos en cuanto al pH en agua, seguidos de los manejos FRRh (Fm) y FRRt (PNCP) en los suelos Ferralítico Rojo hidratado y Ferralítico Rojo típico, respectivamente. Usos agrícolas que se consideran dentro de los manejos con poca actividad antrópica presentaron valores entre 6 y 7, mientras que, en el resto, que ha estado bajo cultivo intensivo por largo tiempo (Agrogénicos), se presentaron valores por encima de 8, lo que refleja una tendencia a la alcalinidad.

Estos resultados reafirman los estudios reportados por [Cánepa et al. \(2015\)](#), quienes plantearon que al superar el umbral de pH de 7,5 en los suelos, ello deviene en una limitante para que la producción agrícola pueda alcanzar altos rendimientos en las cosechas.

El contenido de Na¹⁺ presentó valores de 0.3 y 0,7 cmol (+) kg⁻¹ para los sitios FRAI (pastizal) y FRRh (Cp). Atendiendo a los valores encontrados para este catión es notable que el uso agrícola (Cp) duplique los valores en cuanto a los contenidos de Na⁺ y K⁺ al de los usos agrícolas de baja actividad antrópica, presentando una marcada diferencia para el caso del sodio. También llama la atención que

el valor de este catión en el uso agrícola caña es relativamente alto. Pérez et al. (2012) reportaron valores muy semejantes para suelos FRRh (Fm) y FRRt (PNCP) en suelos con baja actividad antrópica.

Según los criterios de interpretación de Martín (2010) el valor encontrado para el sodio en el manejo FRRh (Cp) puede clasificarse de alto. Por lo que es probable que esté influyendo en las modificaciones descritas en la estabilidad estructural para este manejo. A este aspecto debe prestársele atención dado el carácter fitotóxico de los tenores de sodio por encima de 0,5 cmol kg⁻¹ y lo perjudicial del fenómeno de salinización de los suelos.

Los valores de la biomasa microbiana (BMS), respiración basal (RBS) y los cocientes metabólico (qCO₂) y microbiano (qMic) de los suelos objeto de estudio se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de la biomasa microbiana, la respiración basal, cociente metabólico y el cociente microbiano en los manejos objeto de estudio.

Manejos	BMS mg.kg ⁻¹	RBS mgCO ₂ / kg*h	qCO ₂ mgCO ₂ /Kg.h	qMic (%)
1 (PNCP)	57,65 b	41,84 b	0,73 ef	81,67
2 (Fm)	51,04 c	33,63 c	0,66 g	69,18
3 (Past)	60,11 a	46,29 a	0,76 e	86,26
4 (Cv)	27,61 d	30,98 d	1,12 c	53,76
5 (C)	12,68 f	16,54 f	1,30 b	37,67
6 (Cp)	6,44 g	12,14 g	1,89 a	25,03
7 (Rotación)	22,08 e	20,97 e	0,95 d	54,67
E.E.	2,56	1,82	0,04	

(***p<0,05). Las letras distintas indican diferencias significativas entre los diferentes manejos (Medias de 10 repeticiones).

En general, se evidenció que en todos los usos agrícolas valorados existen diferencias estadísticas significativas en los tres indicadores biológicos atendidos. En lo que respecta a la biomasa microbiana y a la respiración basal del suelo, los usos agrícolas FRAI (Past) y FRRt (PNCP) presentaron los mayores valores. Esto se encuentra asociado al contenido superior de carbono que poseen, lo que hace una marcada presencia de la etapa de humificación sobre la mineralización respecto de los otros usos agrícolas estudiados. Ello favorece la vida edáfica en este sistema agrícola, lo que reafirma que los sistemas de uso agrícola y de preparación del suelo afectan la micro y macrofauna edáfica, siendo el sistema pasto uno de los que más propicia el aumento, abundancia y riqueza de la biota (Durango et al., 2015).

En el caso de los sistemas agrícolas FRRh (C) y del cultivo de la papa FRRh (Cp), sus bajos índices de BMS y de RBS están dados por la quema de la caña realizada durante muchos años. A esto se unen las respectivas afectaciones a la fauna y microflora edáfica, lo cual es reafirmado por (Murillo-Cuevas et al. 2019). Dichos autores indican que la quema de caña de azúcar afecta las propiedades microbiológicas del suelo y la fertilidad. Otros plantean que la afectación de la biota (micro y macrofauna edáfica) es un indicador de degradación y contaminación de los agroecosistemas (Huauya y Huamaní, 2014).

Los valores elevados del (qCO₂), de los sistemas de cultivo intensivo FRRh (Cp), FRRh(C), FRRt (Cv) son indicativos de la ocurrencia en ellos de estrés edáfico. La falta de biota edáfica es el resultado de un mal uso agrícola de estos suelos, los cuales presentan un alto grado de envenenamiento, debido al sistema de cultivo intensivo al que han sido sometidos durante años. Dichos suelos han recibido una persistente adición de cationes de MP, agroquímicos y xenobióticos sobre los microorganismos que los habitan como consecuencia del exceso de fertilización mineral que implica el proceso tecnológico para estos cultivos (Durán y Acosta, 2018).

Determinación del carbono orgánico total (COT) y del carbono orgánico soluble (COS) en los sitios estudiados con diferentes usos agrícolas

La **Figura 3** muestra los contenidos de carbono orgánico total (COT) y de carbono orgánico soluble (COS) en los sitios estudiados con diferentes usos.

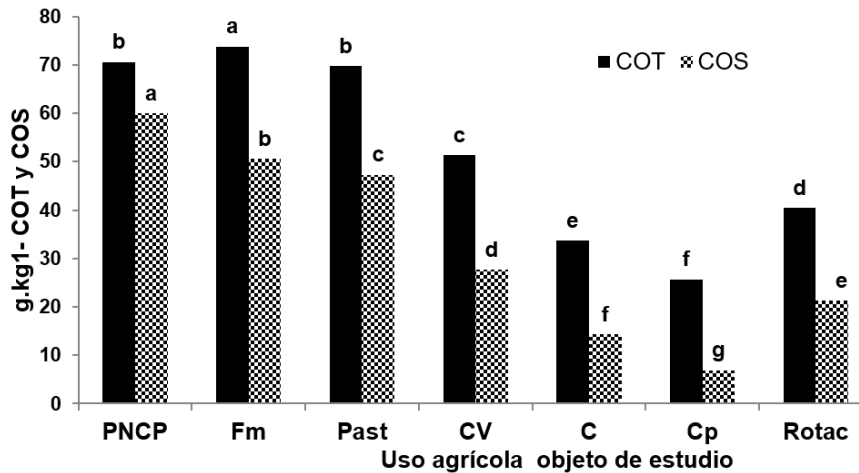


Figura 3. Contenido de carbono orgánico total (COT) en g kg⁻¹ y carbono orgánico soluble (COS) en g kg⁻¹ en suelos con diferentes manejos. Medias de diez repeticiones. E.E. en COT= 2,18*, E.E. en COS= 2,33*. Letras distintas indican diferencia estadística significativa según Tukey para p < 0,05.

Se encontró que en los valores del COT y COS existen marcadas diferencias, siendo la disminución más notable la correspondiente al sistema de cultivo de la papa (Cp), aunque todos los usos agrícolas de elevada actividad antrópica reflejan una disminución considerable del carbono orgánico del suelo.

Con estos resultados se reafirma lo planteado por [Dos Santos et al. \(2018\)](#), quienes aseguran que los usos y procesos tecnológicos de la tierra y el tipo de sistema de cultivo usado tienen una influencia en el COT y en los agregados del suelo.

Los resultados obtenidos en los manejos FRRh (C) y FRRh (Cp) confirman la sensible disminución que provocan los sistemas intensivos de cultivo en cuanto a la conservación del carbono. Ello se continúa reportando en la literatura científica reciente en suelos agrícolas de otras regiones geográficas ([Nascimento et al., 2017](#)).

Es justo destacar cómo el sistema de cultivo (rotación) con (flores-frijol y maíz), disminuye el contenido de COT pero ello no ocurre de manera tan drástica como lo hace en los sistemas anteriormente señalados, ya que este uso agrícola es menos agresivo y mantiene las propiedades del suelo, si se emplea una agrotecnia adecuada.

En la **figura 4** se muestran los resultados en la determinación del carbono, en forma de AF (CAF) y en forma de AH (CAH) en los sitios estudiados con diferentes usos agrícolas.

En cuanto a los contenidos del carbono como ácido húmico (CAH) y el carbono como ácido fúlvico (CAF), se observan diferencias significativas entre los diferentes usos agrícolas evaluados, al existir un incremento en los usos agrícolas de (PNCP), (Fm) y (Pastizal). Los sistemas de uso agrícola de elevada actividad antrópica (cultivo intensivo), (Cp) y cultivo de la caña mostraron las relaciones CAH/CAF más bajas con valores menores de 0,5. Ello indica una evolución limitada de la MOS para estos suelos agrícolas.

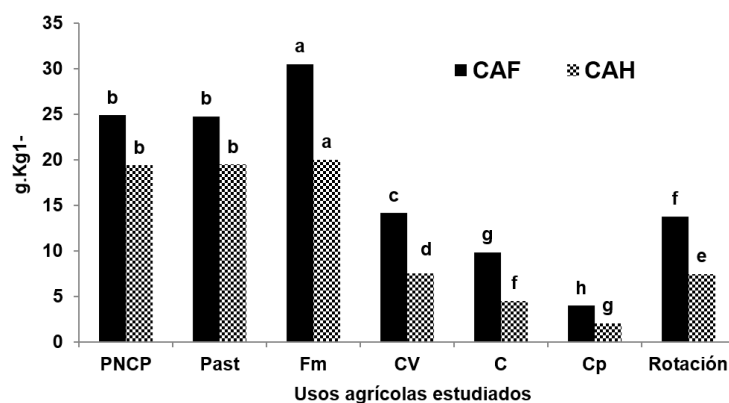


Figura 4. Contenido de carbono, en forma de AH (CAH) en g kg⁻¹ y en forma de AF (CAF) en g kg⁻¹ en suelos con diferentes usos agrícolas estudiados. Medias de diez repeticiones. E.E. en CAH = 1,03* y E.E. en CAF =1,03*. Letras distintas indican diferencia estadística significativa según Tukey para p < 0,05

Si efectuáramos la comparación del COT, COS, CAF y CAH de los manejos objeto de estudio, bajo condiciones naturales con suelos homólogos sometidos a elevada intensidad de cultivo, veríamos que presentan una reducción considerable. Esto coincide con los estudios efectuados por (Reyes *et al.*, 2018), en los que se puede comprobar que las formas del carbono orgánico evaluadas se han reducido a la mitad en el COT y en tres veces el COS. Igualmente, ha ocurrido una disminución considerable en los valores del CAH y el CAF obtenidos.

Determinación del contenido de las relaciones del carbono orgánico COS/COT, CAH/COS, CAF/COS y CAF/CAH de los usos agrícolas objeto de estudio (g.kg-1)

Tabla 3. Contenido de las relaciones del carbono orgánico en las distintas formas evaluadas en los suelos Ferralíticos rojos bajo diferentes sistemas de uso agrícola

Uso Agrícola	g de C kg ⁻¹ de suelo				
	COS/COT	CAH/COS	CAF/COS	CAH/CAF	CAF/CAH
1 (PNCP)	0,8 a	0,44 a	0,56 d	0,78 a	1,28 e
2 (Pastizal)	0,69 b	0,44 a	0,56 d	0,75 a	1,27 e
3 (Fm)	0,68 b	0,40 b	0,6 c	0,66 b	1,53 d
4 (Cv)	0,42 d	0,35 c	0,65 b	0,53 c	1,89 c
5 (C)	0,43 d	0,31 e	0,69 a	0,46 d	2,19 a
6 (Cp)	0,27 e	0,32 d	0,66 b	0,49 d	2,04 b
7 (Rotación)	0,53 c	0,35 c	0,65 b	0,54 c	1,85 c
E.E.	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04

Medias de 10 repeticiones. Letras distintas indican diferencia significativa según Tukey para p<0,05.

Como se refleja en la **Tabla 3**, los valores del carbono orgánico en las distintas formas evaluadas presentan diferencias significativas entre los usos agrícolas estudiados. Ello manifiesta su dependencia según el sistema de uso empleado y es un factor a tener presente, ya que su conocimiento es esencial en el mantenimiento de la calidad de los agroecosistemas y en la definición de estrategias eficientes de administración en suelos agrícolas (Mehraj *et al.*, 2014).

Los sistemas de uso agrícola en cultivos varios (Cv), caña (C) y el cultivo de la papa (Cp) muestran los resultados más bajos de estos indicadores lo que pudiera estar asociado a la elevada intensidad de las labores agrícolas empleadas en estos manejos, ya que se inducen drásticas afectaciones en la conservación del carbono orgánico, con énfasis en la disminución de la acumulación de sus formas más estables (la fracción humificada).

En cuanto a las relaciones CAH vs CAF y CAF/CAH, estas fueron disminuyendo y en aumento respectivamente, en la medida en se elevaba la actividad antrópica y la intensidad del cultivo. Ello se

justifica por el incremento en la mineralización del carbono en detrimento de los procesos de humificación y captura del carbono. Lo dicho constituye una alerta, ya que las formas en que se encuentren los AH, los AF y el COT del suelo y sus proporciones cuantitativas entre estos componentes de la (MOS), puede considerarse como indicador del manejo agrícola empleado e indicador de degradación y calidad de los agroecosistemas (Horwath, 2015).

(Santos *et al.*, 2008) plantean el papel trascendental que desempeña la fracción humificada de la materia orgánica en el mantenimiento de las propiedades y funcionabilidad del suelo como la (CIC), la estructura, capacidad reguladora del pH y la retención de sustancias orgánicas y minerales, así como sus características coloidales.

Igualmente, se demuestra lo expresado por Hernández *et al.*, (2017), quienes reportan cómo el cambio de uso de la tierra, sobre todo el de tierras forestales (bosques) a tierras cultivadas, es una de las prácticas que mayor impacto ha tenido en la degradación de los suelos en el mundo y que ha provocado la pérdida de carbono, en gran parte por la emisión de CO₂ a la atmósfera.

En lo que respecta a la relación CAF/CAH, esta fue en aumento a medida que se elevaba la actividad antrópica y la intensidad del cultivo, con valores superiores a 1(>1). Ello indica que está evolucionando la materia orgánica del suelo y se incrementa el proceso de mineralización del carbono en detrimento de los procesos de humificación, conservación y captura de este. De acuerdo con lo anteriormente planteado, se hace necesario incentivar los programas de conservación de suelos *in situ*, que incorporen carbono a través de la promoción de agroecosistemas adaptados a las diversas condiciones territoriales y el impulso al desarrollo de prácticas agrícolas de conservación de suelos que hagan eficiente y sustentable su uso.

Autores como Armado *et al.* (2018) plantean que la biomasa microbiana y su actividad microbiológica correlacionan específicamente con indicadores como el grado de humificación, el carbono orgánico total, la respiración basal y la relación con la fracción humificada soluble. Todo ello se confirma en este trabajo.

Coeficiente óptico E₄/E₆ y umbral de coagulación (mmol Ca²⁺ kg⁻¹ AH) en los AH extraídos

Como se demuestra en la Tabla 4, ocurre un aumento de la relación E₄/E₆ en los suelos de los sistemas de uso agrícola con alta actividad antrópica, lo cual se asocia a efectos negativos en la estructura de estos, ya que el incremento en este indicador se corresponde con una afectación en evolución de la humificación, comprometiendo su capacidad productiva. Esto demuestra una superioridad de las estructuras fúlvicas, las cuales presentan una mayor proporción de grupos funcionales ácidos y menores dimensiones moleculares (Spaccini & Piccolo 2009).

Tabla 4. Coeficiente óptico E₄/E₆ y umbral de coagulación (mmol Ca²⁺ kg⁻¹ AH) de los ácidos húmicos de los suelos con diferentes usos agrícolas

	Uso Agrícola	E ₄ /E ₆	Umbral de Coagulación
1	(PNCP)	4,27 e	25,4 a
2	(Pastizal)	4,82 d	23,0 b
3	(Fm)	4,43 e	20,7 c
4	(Cv)	6,20 c	15,8 e
5	(C)	6,95 b	13,5 f
6	(Cp)	7,7 a	9,04 g
7	(Rotación)	6,38 c	18,1 d
	E.E.	0,13	0,66

(***p<0,05). Medias con letras desiguales difieren significativamente entre los diferentes usos agrícolas por la prueba de Tukey (Medias de diez repeticiones).

Otra consideración emanada de lo anterior es que los AH de los manejos de alta actividad antrópica (Cv), (C) y (Cp) poseerían una susceptibilidad mayor a la coagulación cuando en el suelo se aumente el contenido de sales disueltas por excesos de fertilizantes, salinización u otras labores agrícolas dentro de estos usos. De suceder ese fenómeno, los AH perderían funcionalidad aun cuando estén presentes en el sistema suelo-planta.

Todo lo anteriormente detectado reafirma la capacidad que posee la materia orgánica humificada del suelo para fijar fuertemente cationes metálicos como el cadmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), hierro (Fe) y otros metales en las formas disponibles, a través de la elevada presencia de los grupos OH, C=O y CO-OH de los ácidos húmicos y fúlvicos se incide en la formación de complejos organo-metálicos estables, que disminuyen las concentraciones totales de los MP (Martínez et al., 2017).

En tal sentido, Reyes et al. (2018) indican que al ocurrir una disminución de la fracción humificada del suelo y, de manera general, de las sustancias húmicas presentes en el sistema suelo-planta, se afecta la acción reguladora que estas sustancias pudieran tener sobre la biodisponibilidad de los cationes de metales pesados, fundamentalmente por la disminución de la posibilidad de formación de compuestos de coordinación estables con ellos, lo que traería como consecuencia que estén más fácilmente al alcance de las raíces de las plantas y se eleve su fitotoxicidad al introducirse en la cadena trófica.

En cuanto a la determinación de grupos funcionales ácidos en los AH extraídos del suelo bajo diferentes usos agrícolas, esta reflejó diferencias estructurales entre los ácidos húmicos, especialmente en cuanto al contenido de grupos funcionales carboxílicos, fenólicos y, en consecuencia, de la acidez total. Para los suelos Ferralíticos estudiados se confirmó que su acidez estructural es fundamentalmente carboxílica y, en todos los casos, se detectó un decrecimiento en la cantidad de grupos funcionales ácidos, como consecuencia del sistema de uso. En los sistemas de alta actividad antrópica el contenido total (AC. TOTAL) se redujo en más de tres veces en los sistemas de alta actividad antrópica, lo que fue todavía más drástico para el caso de los grupos fenólicos (FENOL.). El hecho de que los AH de los usos agrícolas FRRt (PNCP), FRRh (Fm) y FRAI (pastizal) presenten una mayor cantidad de grupos fenólicos y acidez total se encuentra en correspondencia con el resultado mostrado del umbral de coagulación y al valor obtenido para el coeficiente óptico E_4/E_6 , siendo un reflejo del tipo de uso, el cual conserva la materia orgánica del suelo y le ofrece estabilidad al ecosistema, a diferencia de los sometidos a cultivo intensivo (Wing Ching y Uribe, 2016).

En cuanto a los grupos (Fenol) este indicador se ve más afectado en el sistema correspondiente al cultivo de la papa (Cp) y el uso agrícola FRRh(C), de manera general.

Además, estos grupos funcionales ionizables juegan un papel relevante en la estabilización del pH del suelo, en la absorción de nutrientes catiónicos, así como en la regulación de la concentración de cationes metálicos tóxicos (Portuondo et al., 2017).

Evaluación de los contenidos pseudototales de los cationes Cd^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} y Zn^{2+} en los usos agrícolas evaluados

En la Tabla 5 se indican los valores encontrados de los contenidos pseudototales de los cationes de metales pesados evaluados.

En la tabla 5 se reflejan los contenidos pseudototales evaluados. En ella se puede observar que existen diferencias significativas marcadas para los contenidos de los cationes metálicos pseudototales entre los diferentes usos agrícolas evaluados.

En lo que respecta a los pseudototales evaluados para el caso del catión cadmio (Cd) ($8,23 \text{ mg.kg}^{-1}$) determinado para el sistema de cultivo de la papa (Cp), presentó el valor más elevado. Dicho resultado es de sumo interés ya que, según He et al., (2015), se encuentra por encima del intervalo del límite permisible de lo reportado por la literatura especializada, también se encuentra

con un contenido muy superior al establecido por la norma cubana NC-2015 para alimentos. Con el aumento de la concentración de Cd en el suelo, también puede ocurrir un aumento de la absorción de este metal por las plantas, que resulta tóxico para los animales y los humanos (Delince *et al.* 2015). También este valor está próximo a los valores de intervención empleados en Brasil (Fadigas *et al.*, 2006), los cuales todos son determinados a partir de los contenidos pseudototales, como ocurrió en nuestro caso.

Tabla 5. Contenido de metales pesados pseudototales encontrados en los manejos objeto de estudio

No.	Uso agrícola	Cationes de MP pseudototal (mg. kg ⁻¹)				
		Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
1	(PNCP)	3,61 c	13,2 a	46,5 b	16,52 bc	31,45 d
2	(pastizal)	3,33 c	8,01 c	28,75 c	16,07 cd	35,03 b
3	(Fm)	2,31 d	10,45 b	21,08 d	15,71 d	23,01
4	(Cv)	3,75 cd	14,74 a	47,23 b	16,98 b	33,8 c
5	(C)	3,93 c	13,7 a	66,94 a	18,14 a	30,28 d
6	(Cp)	8,23 a	10,05 bc	51,73 b	16,9 b	37,20 a
7	(Rotación)	7,25 b	10,4 b	47,5 b	17,5 b	34,1 c
E.E		0,24	0,3	2,02	0,11	0,6

(Medias de diez repeticiones). Letras distintas indican diferencias significativas entre los suelos con diferentes manejos según Tukey $p < 0,05$).

Comparando el manejo FRRt (PNCP) con estudios semejantes realizados en este sitio experimental por Febles *et al.*, (2014), se observa que hay un aumento en los niveles de concentración en casi la mayoría de los cationes evaluados, y comparado con los límites permisibles de otros países.

Los resultados de los valores de los metales evaluados para el sistema caña (C) y el cultivo de la papa (Cp) inducen a pensar en la necesidad de implementar medidas de conservación y fitorremediación que permitan recuperar el estado adecuado de estos agroecosistemas. Igualmente, los resultados obtenidos de los contenidos pseudototales de MP en los suelos estudiados nos permiten sugerir la necesidad del empleo de sustancias húmicas en los suelos de elevada actividad antrópica, que permitan disminuir el contenido de cadmio, plomo y otros MP biológicamente disponibles para las plantas (Reyes *et al.*, 2019).

Por ello se coincide con lo expresado por Munive *et al.*, (2020), quienes plantean que es importante tener en cuenta que suelos agrícolas contaminados con altos contenidos de metales pesados constituyen un peligro para los cultivos agrícolas ya que existen evidencias de translocación hacia las partes comestibles. De ahí la necesidad de vigilar la presencia en la cadena alimentaria de los cationes de MP tales como cadmio, cobre, plomo y otros.

Se hace necesaria la realización de mediciones sistemáticas y continuas bajo estándares de calidad, que permitan construir los mapas de contaminación, degradación y de efectos provocados por el uso agrícola, necesarios para trazar las estrategias de mitigación, remediación y de enfrentamiento a la degradación de estos agroecosistemas.

CONCLUSIONES

- Se confirmó el resultado desfavorable de la intensidad de las prácticas agrícolas empleadas sobre la mayoría de las propiedades físicas, físico-químicas, químicas y biológicas evaluadas. Los sistemas de cultivos que indujeron los indicadores más perjudiciales fueron los sometidos al cultivo de la caña FRRh (C) y el que está bajo cultivo de la papa FRRh (Cp). Estos son aspectos a considerar por su rol en la sostenibilidad de la productividad agrícola.
- Los contenidos de carbono orgánico total y el de COS son significativamente inferiores en los sistemas de manejos FRRh (C) y FRRh (Cp) lo cual afecta la funcionalidad y sustentabilidad,

a largo plazo, de los cultivos. Se demostraron alteraciones perjudiciales en las propiedades de los AH que afectan las funciones que estos componentes de la fracción humificada deben realizar para lograr una adecuada productividad biológica y agrícola de los cultivos.

- Los contenidos de metales pesados pseudotales presentaron diferencias entre los siete usos estudiados, demostrando que los suelos FRRh(C) y FRRh (Cp) registraron los mayores valores para Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} y Zn^{2+} , así como en el caso del Cd^{2+} , su contenido es superior al referido como máximo permisible en varios países y para los suelos de Cuba. Ello debe constituir una alerta por la posibilidad de ocurrir el fenómeno de la Agrocontaminación por MP e influir en la inocuidad de los cultivos agrícolas y en la seguridad alimentaria del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armado-Matute, A.J.; Pérez-Guerrero, J.A.; Durán, D.; Reyes, D.; Medina, M.E. y Valbuena-Vílchez, O.E. 2018. Efectos sobre parámetros bioquímicos y biológicos bacterianos en suelos que contienen concentraciones permisibles de metales. Rev. Int. Contam. Ambie. 34 (3) 441-451, 2018 https://doi.org/10.20937/COSTA_RICA.2018.34.03.07
- Bouyoucos G.J 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agro. J. 54:464.
- Cánepa, Y.; Trémols, A.J.; González, A.; Hernández, A. 2015. Situación actual de los suelos tabacaleros de la empresa "Lázaro Peña" de la Provincia Artemisa. Rev. Cultivos Tropicales, vol. 36, núm. 1, enero-marzo, 2015, pp. 80-85. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba.
- Delince, W.; Valdés, R.; López, O.; Guridi, F; Balbín, A. 2015. Riesgo Agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de *Oryza sativa* L y *Solanum tuberosum* L. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN -1010-2760, RNPS-0111, Vol. 24, No. 1 (enero, febrero, marzo, pp. 44-50), La Habana. Cuba.
- Dos Santos, L.E.; Loss, A.; Canton, L.; dos Santos, J.E.; Kurtz, C.; Brunetto, G.; Comin, J.J. 2018. Efecto del contenido de carbono en sustancias húmicas en suelo en un cultivo de cebolla. Revista IDESIA, Volumen 36, Nº 1, pp.15-25.
- Durán, S.L. y Acosta, R. 2018. Suelos, degradación, recuperación y manejo en el trópico. Editorial Científica Técnica. La Habana 2018. ISBN 978-959-05-1028-1. Instituto Cubano del Libro.
- Durango, W. Uribe, L.; Henríquez, E.; Mata, R. 2015. Respiración, biomasa microbiana y actividad fosfatasa del suelo en dos agroecosistemas y un bosque en Turrialba, Costa Rica. Revista Agronomía Costarricense 39(1): 37-46. ISSN: 0377-9424 / 2015.
- Fadigas, F. S.; Amaral, S. N. B.; Mazur, N.; Anjos, L. H. C.; Freixo, A. A. 2006. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 10 (3): 699-705.
- Febles, J.M.; Sobrinho, N.A.; López, Y.; Zoffoli, J.H.; Lima, M.O. 2014. Relation among the processes of erosion-sedimentation-pollution in soils from the Distrito Pecuário "Alturas de Nazareno", Cuba. Cuban Journal of Agricultural Science, 48(2), 173.
- Fernández De Andrade, L. 2014. Aplicación del índice de estabilidad estructural de Pieri (1995) a suelos montañosos de Venezuela. Revista Terra Nueva Etapa, Vol (30), No (48), 2014, pp. 143-153. Universidad Central de Venezuela Caracas, Venezuela
- He, Z.; Shentu, J.; Yang, X.; Baligar, V.C.; Zhang, T., Stoffella, P.J. 2015. Heavy Metal Contamination of Soils: Sources, Indicators, and Assessment. Journal of Environmental Indicators, 9:17-18, 2015
- Hernández A, Pérez JM, Bosch D, Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba. Ediciones INCA, Cuba, 2015. ISBN: 978-959-7023-77-7.
- Hernández, A.; Vera, L.; Naveda, C.A.; Guzmán, A.M.; Vivar, M.; Zambrano, T.; Ormanza, K.; León, R.V.; López, G.A. 2017. Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de

- la tierra, en las partes media y baja de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *Revista Cultivos Tropicales*, 2017, vol. 38, no. 1, pp. 50-56
- Horwath W. 2015. Carbon cycling: the dynamics and formation of organic matter. In: Paul EA, editor. *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. 4th ed. New York: Academic Press; 2015. P.339-82.
- Huauya, M. y Huamaní, H. 2014. Edaphic macrofauna and heavy metals in the cacao crop, *Theobroma cacao* L. (Malvaceae). *Revista. The Biologist (Lima)*. Vol. 12, Nº1, jan-jun 2014
- Iglesias J.O., J.A. Galantini y A. Vallejos. 2018. Cambios en la estabilidad de agregados de suelos con diferente labranza. En: *Siembra directa en el SO Bonaerense* (Ed. J.A. Galantini) págs. 61-67. ISBN 978-987-778-272-1
- International Humic Substances Society: 2009. From Molecular Understanding to Innovative Applications of Humic Substances Proceeding of 14th International Meeting. September 14-19, Moscow-Saint Petersburg, Russia. Elsevier. Science Direct Volume II p 59-63, 2009.
- ISO 11466 INTERNATIONAL STANDARD: Soil quality -Extraction of trace elements soluble in aqua regia, 03-01, 1995.
- IUSS working group WRB. 2014: World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO, Rome, 181p.
- Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton: CRC Press. p534
- Martín, N. J. 2010. *Tabla de interpretación de análisis de suelo*. La Habana, Cuba: UNAH.
- Martínez, Z.; González, M.S.; Paternina, J.; Cantero, M. 2017. Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera El Alacrán, Córdoba-Colombia. *Revista Temas Agrarios*, Vol. 22, No (2), pp.20-32) julio - diciembre 2017.
- Mehraj I; Mir A, Bhat G. 2014. 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):500-504.
- Munive, R.; Gamarra, G.; Munive, Y.; Puertas, F.; Valdiviezo, L.; Cabello, R. 2020. Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado y remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria* 11(2): 177-186.
- Murillo-Cuevas, F.D.; Adame-García, J.; Cabrera-Mireles, H.; Fernández-Viveros, J.A. 2019. Fauna y microflora edáfica asociada a diferentes usos de suelo. *Revista Ecosist. Recur. Agropec.* 6 (16):23-33,2019
- Nascimento, R. S.; Ramos, M. L. G.; Figueiredo, C. C.;1, Silva, A. M. M.; Silva, S. B.; Batistella, G. 2017. Soil organic matter pools under management systems in Quilombola Territory in Brazilian Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.21, n.4, pp.254-260, 2017.
- NC. 2015. NORMA CUBANA OBLIGATORIA. Contaminantes metálicos en alimentos-regulaciones sanitarias. ICS-67020 3ra Edición, marzo 2015
- Paneque, V.M.; Calaña, J.M.; Calderón, M.; Borges, Y. 2010. Manual de Técnicas Analíticas para el análisis de las aguas residuales. INCA. Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas. La Habana. Cuba. ISBN: 978-959-7023-50-0
- Paolini, J.E. 2018. Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Revista Terra Latinoamericana Volumen 36 Número 1*, 2018.
- Pérez, Y.; Amaral N.M.; Balbin, M.I. Valdes, R.; Magalhães, M.O. 2012. Contenido de elementos metálicos en suelos característicos del municipio San José de las Lajas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 21, No.2
- Portuondo, L.; Martínez, D.; Guridi, F.; Calderín, A.; Torres, J.P.M. 2017. Structural and Functional Evaluation of Humic Acids in Interaction with Toxic Metals in a Cultivar of Agricultural Interest. *Rev. C. T. Agrop*, Vol. 26. No. 3 (July-August September, pp. 39-46, 2017
- Reyes-Rodríguez, R.; Guridi-Izquierdo, F.; Valdés-Carmenate, R.; Cartaya-Rubio, O. 2019. Propiedades biológicas, ácidos húmicos y metales pesados biodisponibles en suelo Ferralítico

- bajo diferentes usos agrícolas. Revista Cultivos Tropicales, 2019, vol. 40, no. 3, e02 <http://ediciones.inca.edu.cu> julio-septiembre ISSN impreso: 0258-5936 Ministerio de Educación Superior. Cuba ISSN digital: 1819-4087 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Reyes, R.; Guridi, F.; Valdés, R. 2018. El manejo del suelo modifica a sus ácidos húmicos y la disponibilidad de metales pesados. Revista Cultivos Tropicales, 2018, vol. 39, no. 2, pp. 15-20
- Sarmiento, E.; Fandino, S.; Gómez, L. 2018. Índices de calidad del suelo. Una revisión sistemática. Revista científica de ecología y medio ambiente. Ecosistemas Vol (27), No (3): pp.130-139. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1598>. ISSN 1697-2473 / Open Access
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th ed. USDA, Natural Resources Conservation Service, Washington D.C., USA.
- Spaccini, R. y Piccolo, A. 2009. Molecular characteristic of humic acids extracted from compost at increasing maturity stages. Elsevier. Soil Biology and Biochemistry, p 1-9.
- Sparling GP. 1992. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. Rev. Aust J Soil Res. 1992; 30: 195-207. <https://doi.org/10.1071/SR9920195>
- Vance, E.D.; Brookes, P.C. y Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem, 19:703-707.
- Valdés, R.; Cruz, O.; Balbín, M.I.; Guridi, F.; Guzman, A.R.; Mesa, A.A.; Milanés, F.; Kaemmerer, M.; Sánchez, J.M. 2017. Fitogestión (FITOG-MP®): Tecnología para recuperar áreas contaminadas con metales pesados. Monografía. Anuario de ciencia UNAH ISBN 978-959-16-4157-1, Vol. 15, No 1, 2017. CERTIFICADO DE REGISTRO: 3589-11-2018, titular Universidad Agraria de La Habana, Centro Nacional de Derecho de Autor, CENDA, Cuba.
- Valera, Pérez, M.A.; Ríos, Posada, A.; Coyotl, Tzompa, A; Linares, Fleites, G.1María Guadalupe Tenorio, Arvide, M.G.; María Laura Sampedro, Rosas, M.L. 2015. El suelo como almacén de carbono: criterios para calidad de carbono secuestrado en suelos. Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias 6 (11): 44-55 2015
- Vallejo, V.E.; Afanador, L.N.; Hernández, M.A.; Parra, D.C. 2018. Efecto de la implementación de diferentes sistemas agrícolas sobre la calidad del suelo en el municipio de Cachipay, Cundinamarca, Colombia. Revista Bioagro, Vol.30, No (1). Barquisimeto, Colombia, 2018
- Vásquez, J. R.; Schellekens J.; Kaal J. 2015. Composición de la materia orgánica en los suelos de seis zonas edafoclimáticas del Magdalena (Colombia). Sjs. Spanish journal of soil science year 2015 volume 5 issue 3. <https://doi.org/10.3232/sjss.2015.v5.n3.05>
- Yoder, R.E. 1936. A direct Method of aggregates analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. Journal of the American Society of Agronomy, 28: pp 337-351
- Walkley, A. y Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Wing-Ching, R. y Uribe, L. 2016. Biomasa y actividad microbiana en suelos de uso ganadero y en regeneración de bosque. Revista. Cuadernos de Investigación UNED (ISSN: 1659-4266) Vol. 8(1): 107-113, junio, 2016 107