

Una revisión sobre indicadores integradores para evaluar el impacto de las sustancias húmicas sobre el sistema suelo-agua de lixiviación (I)

A review about the impact of humic substances on lixiviation of water- soil system (I)

M.Sc. Mayra Arteaga Barrueta, Dr.C. Nelson Garcés, Dr.C. Fernando Guridis, M.Sc. José A. Pino

Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN: La revisión bibliográfica está dirigida en la temática del efecto de la aplicación de sustancias húmicas sobre las propiedades físicas, físico-químicas y biológicas del suelo y las aguas de lixiviación. Específicamente tiene como objetivo en lo concerniente a la búsqueda de indicadores integradores que brinden una detección temprana del status del sistema suelo-agua, para evaluar posibles impactos de materiales naturales con alta carga orgánica fundamentalmente de naturaleza húmica en estos a largo plazo en su utilización en los sistemas productivos, específicamente en agroecosistemas con suelo de composición Ferráltica. Se refieren como indicadores más sensitivos en la evaluación del sistema suelo-agua de lixiviación: el contenido y caracterización de materia orgánica del suelo y la disuelta en las aguas y sus fracciones húmicas, contenido de microorganismos y su actividad biológica, la conductividad eléctrica, humedad del suelo, contenido de cationes y aniones, pH, capacidad de cambio de bases, relación de absorción de sodio, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, los cuales pueden ser integrados en un procedimiento multidisciplinario.

Palabras clave: suelo, agua lixiviación, materia orgánica del suelo, sustancias húmicas, materia orgánica disuelta.

ABSTRACT. The literature review is aimed at the subject of the effect of humic substances application on the physical, physico-chemical and biological soil and leachate. It is aimed at, with regard to the search for integrative indicators that provide early detection of the status of soil-water system, evaluating potential impacts of natural materials with high organic humic nature primarily in this long-term use in production systems, specifically in agroecosystems with ferralitic composition floors. The following aspects, are referred as more sensitive indicators in the soil-water leaching evaluation: the content and characterization of soil organic matter and the dissolved in water and humic fractions, content of microorganisms and their biological activity, electrical conductivity, moisture soil cation and anion content, pH, base exchange capacity, sodium absorption ratio, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, dissolved oxygen, all which can be integrated in a multidisciplinary procedure.

Keywords: soil, Leachate water, soil of organic matter, humic substances, dissolver organic matter.

INTRODUCCIÓN

El decrecimiento y destrucción de la MOS en los ecosistemas es preocupante, fundamentalmente en los trópicos. Lo que hace necesario proporcionar información de la evolución de la MOS, la cual comprende transformaciones (mineralización y humificación), ocurridas desde la incorporación de la MO fresca hasta la formación de las fracciones humificadas más estables: MO fresca, MO poco transformada, compuestos fenólicos solubles, moléculas simples y sustancias húmicas, hasta pasar a CO₂, más el C incorporado a la masa microbiana (Hernández *et al.*, 2012).

Las prácticas de manejo orgánico (introducción de compostos orgánicos) y MOD tienen efectos contrastantes en las propiedades del suelo las aguas lixiviadas y en la MOS nativa causados por procesos complejos que ocurren simultáneamente entre los sistemas involucrados, por lo que durante su extensión deben realizarse monitoreos de sus efectos durante su uso continuado (Scelzu *et al.*, 2008).

Aplicaciones de materiales orgánicos producen una rápida liberación de nutrientes que sirven de fuente de energía, como

resultado pueden activar la población microbiana y su actividad biológica, lo cual generaría una transformación acelerada de la materia orgánica, siendo más peligroso en los suelos tropicales y subtropicales donde por lo general la microflora mantiene un nivel de actividad elevada por la existencia de temperaturas y humedad favorables para la mineralización, al llegar al suelo pudiendo tener algún efecto sobre la biota edáfica y las propiedades físico-químicas del suelo y las aguas de lixiviación.

El objetivo de este trabajo está encaminado a realizar una revisión bibliográfica concerniente a los indicadores integradores que brinden una detección temprana del status en el sistema suelo- agua de lixiviación, para evaluar el impacto de estos materiales naturales con alta carga orgánica en su composición, aplicados a largo plazo en los sistemas productivos, específicamente de suelo de composición Ferralítica.

Indicadores de calidad de los suelos

La sostenibilidad del suelo guarda un equilibrio único entre sus factores físicos, químicos y biológicos, la efectividad de diagnosticar la calidad del mismo se debe a las combinaciones de estos factores en indicadores integradores, que reflejen cambios simultáneos en sus propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Orellana *et al.*, 2008). Con este fin, deben ser utilizados en los sistemas de monitoreo de la calidad del suelo en períodos de tiempo cortos y/o a largos plazos.

La calidad del suelo ha sido definida de muchas maneras, como una propiedad dinámica de acuerdo a su uso, y dentro de los límites impuestos por éste y el ecosistema de poder funcionar como la capacidad de los suelos que permite conservar la productividad biológica y la calidad medioambiental; la capacidad de promover las plantas, los animales y la salud humana de manera sostenible a largo plazo (Barrios *et al.*, 2006).

Para los suelos se han propuesto un grupo de ellos (Orellana *et al.*, 2008; Hernández *et al.*, 2012), específicamente para Ferralíticos Rojos (FR) y FR Lixiviados, respectivamente, refiriendo, que estos indicadores pueden variar de acuerdo a las características y condiciones en que se encuentre cada tipo de suelo y el manejo realizado sobre éste. Estos autores propusieron indicadores edáficos e identificaron valores umbrales, a partir de los cuales ocurre una perturbación para medir la sostenibilidad en estos suelos, al evaluar y relacionar distintas variables físicas y químicas de suelo en diversos ecosistemas bajo diferentes manejos. Las variables de materia orgánica, agregados hidroestables, coeficiente de dispersión y coeficiente de infiltración, fueron los indicadores más sensibles a la degradación de suelos FR encontrados por estos autores.

Font (2007), en este sentido realizó un estudio con suelo cubanos: Ferralíticos Rojos Oscuros (Típico y Petroférico), Ferralíticos Rojos (Típicos y Compactados), así como, Pardo Sialítico (Mullido y Vértico), con diferentes manejos. En éste evaluó componentes físicos, químicos y biológicos. Encontró indicadores de variación lenta (dr, Hy, pH, CIC), media (CE, MO, Ca²⁺/Mg²⁺, V) y rápida (da, RB, RIC, NR) con los que pudo evaluar la calidad de los suelos con una visión más integral. De estos resultados obtuvo para todos los tipos de suelos y manejos evaluados, como indicadores de mayor sensibilidad a la CE,

RB y contenido de MO; permanecen más estables el resto de las propiedades físicas y químicas evaluadas.

Microorganismos del suelo

En términos de calidad del suelo, los microorganismos constituyen la cualidad de funcionar dentro de un ecosistema para sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental. Son altamente sensitivos al disturbio del medio ambiente, siendo indicativos de los cambios del mismo, ya que media más del 80-90% de los procesos del suelo y son usados como diagnóstico de las alteraciones de las condiciones del suelo. Juega un papel importante en la regulación de los procesos de descomposición de la materia orgánica y el ciclaje de nutrientes en el suelo. En esta se destacan las bacterias, los hongos y actinomicetos (Asuming *et al.*, 2008).

El comportamiento de la actividad biológica depende de un complejo de interacciones físicas y químicas regidos por la calidad de la MOS (Morales *et al.*, 2008). La identificaron los factores principales que controlen la respiración microbiana del suelo son importantes para reducir las pérdida de carbono del ecosistema terrestre a largo plazo (Postman *et al.*, 2008).

Modificaciones en la magnitud de la respiración del suelo que pueden tener un efecto intensificador en la evolución del CO₂ hacia la atmósfera (Mo *et al.*, 2008).

La Materia Orgánica del Suelo

La dinámica materia orgánica del suelo (MOS), es gobernada por la incorporación de residuos orgánicos de diversa naturaleza y por una transformación continua. El uso antrópico del suelo puede conducir a desequilibrios por las pérdidas de humus en el tiempo, lo que puede ser de gran desventaja sobre todo en las regiones tropicales y subtropicales (Garcés *et al.*, 2009). Tiene un rol esencial en el mantenimiento de la calidad del suelo y la dinámica del ecosistema, siendo un atributo importante para la sostenibilidad del mismo. Este significado particular está dado por su influencia en gran parte de las propiedades como la capacidad de intercambio catiónico, retención de humedad, dada por la absorción de moléculas de agua por el elevado número de grupos funcionales que posee esta. Tiene además efectos en la agregación y coeficiente de dispersión de las partículas, tipo y estabilidad estructural, densidad aparente, porosidad total y de aeración del suelo. Las propiedades redox de la MOS están correlacionadas directamente con la fertilidad del suelo y sus propias características (Marchao *et al.*, 2009).

En los estudios a largo plazo realizados por Stewart *et al.* (2009), de tratamientos de adición de C no mostraron un equilibrio entre los niveles de C adicionados y los encontrados de COS. Encontraron que el contenido de C recibido se satura con respecto a la entrada de C en el equilibrio. Plantearon la existencia de un límite de estabilización del C agregado en el suelo.

Las sustancias húmicas del suelo

El humus es la fracción dominante dentro de la MOS por lo que se considera casi equivalente a ella siendo importante analizar y controlar su dinámica ante cualquier manejo del

suelo. En muy pocos trabajos se consideran a las sustancias húmicas (SH), como un proceso continuo de transformación de diversas formas de carbono en el ambiente, las cuales pasan por un estado de equilibrio relativo durante un tiempo que puede ser prolongado según, Garcés *et al.* (2009). Estos autores plantean que los procesos de humificación y acumulación de la MOS son procesos de gran complejidad que se producen de manera espontánea e irreversibles ($\Delta G < 0$ y $\Delta S > 0$) y se manifiestan los suelos, las aguas y en ecosistemas que reúnan las condiciones apropiadas.

Son numerosos los estudios y revisiones realizados relativo a los efectos de las sustancias húmicas sobre el desarrollo vegetal, específicamente las extraídas del vermicompost (Steinberg *et al.*, 2008; Hargreaves *et al.*, 2008; Marchao *et al.*, 2009; Nardi *et al.*, 2009; Canellas *et al.*, 2010; Trevisan *et al.*, 2010). Donde se plantearon efectos directos que corresponden a la acción de las sustancias húmicas mediante la bioestimulación de los distintos procesos fisiológicos-bioquímicos de distintas especies de plantas, y efectos indirectos que se deben a la acción de las sustancias húmicas sobre el sistema global (planta-suelo), como puede ser el estatus de la MO humificada, específicamente en la calidad de los AH endógenos, la nutrición mineral de la planta, actividad microbiana del suelo, la humedad, y textura del suelo, encontrándose estos dos grupos como una unidad insoluble, pues un efecto conlleva a otro (Campitelli y Ceppi, 2008), además de sus propiedades de actuar como buffer, ante pequeñas modificaciones del pH del suelo.

Birkhofer *et al.* (2008), al utilizar durante tres años seguidos composta de residuos se incrementó la relación de C_{AH}/C_{AF} , lo que incidió en la calidad del humus. Demostraron que las aplicaciones de estos productos deben ser controladas en uso a través del tiempo. Estudiaron que el efecto de la adición de vermicompost de estiércol vacuno en su utilización continuada en las fracciones humificadas de la MOS y los incrementos en las dosis provocaron disminuciones en el contenido de AH y huminas, tornándose susceptibles al ataque microbiano producto de su desestabilización.

Canellas *et al.* (2010), relaciona trabajos realizados por Kirchmann y colaboradores en 2007), los cuales después de la aplicación orgánica de forma continuada durante 18 y 40 años, encontraron alteración en el contenido de C orgánico del suelo indígena que formó parte del C mineralizable que se incrementó con los años de aplicación. Cita trabajos donde la aplicación continuada de compost equivalente a 80 ton/ha promueven un incremento en el contenido del CAF, lo que determina una disminución de la calidad del humus, limitando su utilización a largas escalas. al realizar aplicaciones continuadas a largos intervalos encontraron efectos positivos en las plantas y una residualidad en el suelo más eficiente a partir de los cuatro años que pueden interferir en la calidad de las aguas.

Caracterización de las MOS y las SH

La caracterización de la MOS es muy compleja debido a su alta heterogeneidad estructural, caracterizadas por su baja solubilidad y fuertes interacciones físicas y químicas entre sí y con la fracción mineral, por lo que para el estudio de las SH,

es necesaria su purificación y fraccionamiento (Garcés, *et al.*, 1987). Estos autores describen las mediciones espectroscópicas en las diferentes regiones del espectro electromagnético tienen una amplia aplicación en el estudio de MOS y las SH, siendo lo más atractivo de estos métodos que no son destructivos, requieren de poca cantidad de muestra, experimentalmente sencillos y no requieren de manipulación especial.

Entre las técnicas espectroscópicas más difundidas se encuentra la espectroscopia de absorción Ultravioleta-Visible (UV-Visible) y la Infrarroja (IR), al ser menos costosas. En los métodos de análisis estructural de SH hoy en día son incorporados los estudios basados en técnicas espectroscópicas por ser una herramienta de validez para obtener información de la elucidación estructural de muchas moléculas que permiten la interpretación de sus propiedades, entre las técnicas más utilizadas se hallan la espectroscopia ultravioleta (UVVis) y la infrarroja (IR).

La espectroscopia UV-Visible en el estudio de las SH, ha sido utilizada para poder discriminar diferencias en su reactividad, origen, tamaño molecular, y grado de humificación y los efectos del manejo sobre la calidad de estas. El espectro de absorción obtenido para las SH, independientemente de su origen, se caracteriza por no presentar máximos definidos, de modo que la absorbancia decrece monótonamente con relación a la longitud de onda. Los parámetros más importantes obtenidos en la espectroscopia UV-Visible aplicada al estudio de las SH son: longitud de onda de máxima absorción (λ_{max}) y la absorptividad (E) que se puede obtener mediante la ley de Bouger-Lamber-Beer (Dubbs *et al.*, 2009).

Estos autores plantean que de manera general para el estudio de las SH de diferentes fuentes es común utilizar la relación de los coeficiente ópticos E_4/E_6 que resulta de la relación entre la absorbancia medida a 465 nm y a 665 nm. Esta relación tanto para AH como para AF se ve afectada por el pH, el tamaño de partícula o peso molecular, la concentración de radicales libres, contenido de O, H, $-CO_2H$, acidez total y la concentración de grupos cromóforos y auxocromos, dando información acerca del grado de humidificación relacionados con los parámetros absorptivos

En los AF los valores de la relación E_4/E_6 son relativamente mayores (entre 7 y 12) que en los AH (entre 2 y 6), indicando menor grado de humificación y justificando la coloración menos oscura que en los AH y de mayor reactividad (Garcés *et al.*, 1987). El otro parámetro importante es el máximo de absorción a 280 nm, puesto que cuanto mayor sea el mismo, indica mayor número de grupos aromáticos condensados. Canellas *et al.* (2010), plantean que la absorción entre 260-280 nm es debido a grupos de lignino y quinona, por lo que sus valores altos reflejan un material con mayor grado de aromaticidad y grupos condensados por su parte absorbancias entre 460-480 nm es indicativo de un material con baja humificación, las absorciones a 600-700 nm es indicativo de un material con alto grado de aromaticidad.

Trabajos de monitoreo medio ambiental para valorar la calidad del suelo las técnicas de la Espectroscopia Infrarroja (IR) son muy utilizadas pues soluciona a bajo costo y en corto tiempo

la determinación de propiedades físicas, químicas y biológicas de la MOS además de sus funciones, una rica información es la caracterización química estructural de estas sustancias, no solo acerca de los grupos funcionales presentes en la estructura de las SH, sino también de la disposición específica de los mismos.

Esta técnica brinda información cualitativa de grupos funcionales como R-COOH, OH-R fenólico, OH- alcohólico, OH- enólico, R-C=O, R-NH₂ entre otros, de compuestos estructurales aromáticos y alifáticos. Para obtener información de los procesos ocurridos sobre el material es recomendado la comparación de los espectros obtenidos (calidad dependiente del grado de pureza de la muestra), en los materiales húmicos, pues posibilita además establecer con seguridad las diferencias de dos o más muestras y verificar diferencias naturales a las provocadas por cualquier tipo de manejo (Campitelli y Ceppi, 2008), por lo que los datos obtenidos con el FTIR son considerados como un indicador cuantitativo de la composición (IC) de la MOS entre los más recientes.

Así, se establecen como indicadores de la hidrofobicidad (IH) y condensación de las moléculas de la MO a partir de la relación del contenido de C alifático / C orgánico señales intervalos de bandas 3000-2800/3100-3000 cm⁻¹ índices de hidrofobicidad, y IH= 2929/1050 cm⁻¹, IC= 1660/2929 cm⁻¹, mientras mayores sean sus valores más será su resistencia a la degradación microbiana.

La determinación del contenido de carbono (C) total en la MOS y sus fracciones, según se refiere en la literatura especializada es también muy utilizado para la caracterización de las mismas, por lo que es empleado como un indicador de la calidad del suelo y la sostenibilidad agronómica de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, considerándose el parámetro más importante en estudios a largo plazos. Se utilizan los métodos por combustión por vía seca y húmeda para la determinación de C en la MO y sus fracciones. A partir de los métodos clásicos volumétricos.

Destacan los métodos colorimétricos utilizados en la actualidad por su mayor reproducibilidad. La determinación de relaciones entre el %C en la MO y sus fracciones de SH, AH, AF, Huminas (%C (AH) / %C (AF); (%C (Hum.) / [%C (AH) / %C (AF)]); [%C (AH)+%C (AF)+%C (Hum.)/% C (MOS)]), son indicadores de la calidad de los suelos muy utilizados para determinar el grado de condensación de las estructuras aromáticas (humificación) de la MO soluble y su estabilidad estructural. Señalaron que a medida que los valores de esta relación son más elevados representa un material más evolucionado, lo que permite la validación del grado de humificación de la MOS, utilizados por numerosos especialistas de la materia para su caracterización. Refieren autores como Garcés *et al.*, (1987), para los suelos tropicales de Cuba, donde esta relación mostró tener valores menores que uno, al existir una dominancia de las fracciones fúlvicas sobre las húmicas, característico de los suelos evolucionados, como los suelos Ferralíticos Rojos.

Aguas de lixiviación del suelo

El estudio de las aguas de lixiviación de los suelos es de gran importancia a la hora de evaluar y monitorear el impacto de

sustancias que son adicionadas al suelo durante su manejo, pues a través de ellas ocurre el transporte de estas durante su flujo en el seno del suelo, donde pueden provocar modificación en el medio que pudieran llegar a la contaminación, afectando su calidad.

Schepetkin *et al.* (2008), expusieron la capacidad de la materia orgánica y dentro de estas las sustancias húmicas de diferentes orígenes, de formar complejos órgano-minerales solubles que facilita la movilización de los diversos nutrientes en el suelo y en el agua de drenaje puede en alguna medida alterar el equilibrio natural de estos sistemas, cuya infiltración es considerada como un indicador de la condición de calidad del suelo.

La utilización de los lisímetros para el análisis de la calidad del agua de drenaje de un suelo, a partir de monitorear determinadas prácticas de manejo del suelo, son muy ventajosos para la evaluación de la lixiviación de nutrientes en diferentes suelos, pero escasos por la laboriosidad del método.

En la literatura actual a nivel mundial se evalúa la contaminación de las aguas por la adición de productos al suelo como herbicidas, compost, vermicompost, MO y SH, aguas residuales, estudios de transporte de solutos (Kalbitz *et al.*, 2007). Estos autores refirieron, que los estudios lisimétricos a nivel de campo, se han realizado a una menor escala, por su mayor costo, complejidad y menor control de los parámetros ambientales con respecto a los de laboratorio. A esta escala en la actualidad tiene grandes ventajas el uso de los microlisímetros, los cuales hacen más favorable el trabajo, pero tienen la desventaja de su alto costo en el mercado. Por estas razones se utilizan frecuentemente a nivel de laboratorio para el suministro de informaciones cuantitativas necesarias para un pronóstico sobre la interacción del suelo-agua; lo que garantiza una investigación sistemática sobre las características del proceso de transporte y fraccionamiento de las sustancias con el paso de las aguas de lixiviación. Verificaron una correspondencia entre los resultados obtenidos a nivel de laboratorio y de campo y encontraron divergencias al no tener en cuenta en los estudios de laboratorio las condiciones hidrológicas adecuadas a establecer para su realización.

Plantearon la contaminación orgánica como la principal fuente de variación de la calidad del agua. La materia orgánica en el agua (MOD) sufre un ataque microbiológico que la transforma en compuestos inorgánicos (dióxido de carbono, agua, sales minerales). Esta mineralización de la materia orgánica es llevada a cabo por bacterias, hongos y protistas que utilizan la materia orgánica como alimento, lo que provoca un consumo del oxígeno disuelto en el agua, y determina su disminución para los seres vivos que lo necesitan en ese medio. Además de controlar los niveles de materia orgánica, es necesario velar también por el contenido de nutrientes (N, P, K), pues el exceso de ellos en el agua, puede provocar en su conjunto procesos de eutrofización del medio.

Indicadores de calidad de las aguas de lixiviación

En los estudios de la calidad del agua de lixiviación, se tienen en cuenta indicadores establecidos en las normas de control de la calidad del agua (NC 93-02:85), las cuales contienen datos estandarizados para valorar la calidad de las mismas.

Dentro de los indicadores físicos, químicos y biológicos más comunes establecidos para evaluar la calidad de las aguas se encuentran: temperatura, pH, CE, sólidos en suspensión, turbidez, oxígeno disuelto (OD), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), la demanda química de oxígeno (DQO), contenido de cationes (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, NH₄⁺), contenido de aniones (NO₃⁻, PO₄³⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻) y la relación de adsorción de sodio (RAS), lo que permite establecer la clasificación de las aguas para su uso (NC 93-02.1985).

Kalbitz *et al.* (2007), refieren trabajos Guo y Chorover en 2003 y 2005 a la materia orgánica disuelta (MOD), abarca biomoléculas solubles y sustancias húmicas, siendo un componente común de los sistemas acuáticos donde desempeñan un papel importante de la calidad ambiental y en el movimiento y transporte de agentes contaminantes asociados a ésta y en la biogeoquímica del carbono (secuestro de C), nitrógeno y fósforo y otros nutrientes dentro del ecosistema; en el transporte de compuestos orgánicos y sustancias contaminantes, al ser ésta, la parte más móvil y activa de la MOS. Consideraron un factor controlador y un parámetro importante para evaluar el movimiento de estos, y para dar seguimiento a un gran número de procesos físicos, químicos y biológicos dentro del medio ambiente del suelo y acuático. Refirieron que los residuos vegetales, animales, humus y materiales humificados son fuentes de MOD importantes en los suelos naturales, la utilización de la fertilización con materiales orgánicos pueden originar aportes de contenidos de COD que pueden ser extraíbles con el agua de lixiviación y/o retenidos en el suelo.

El contenido de carbono orgánico disuelto (COD), es uno de los primeros indicadores a evaluar al realizar el estudio y monitoreo de la MOS, se considera como un buen indicador de un sistema de suelo saludable. Determina el equilibrio entre la descomposición, estabilización y las pérdidas por lixiviación de MOD (Kalbitz *et al.*, 2007). Estos autores, mostraron que las concentraciones y flujos de MOD en las soluciones del suelo disminuyen significativamente con la profundidad de la tierra, con análisis isotópicos con ¹³C mostraron que la sorción de la MOD en el suelo contribuye al enriquecimiento de la MOD en los perfiles del suelo. Encontraron además, al realizar estudios con compost en columnas de suelo que la MOD natural, al ser una mezcla heterogénea, tiene diferentes afinidades por los materiales del suelo y que este comportamiento de fraccionamiento natural sugiere que los procesos físicos, incluyendo los efectos hidrofóbicos, tienen un papel predominante en el transporte de la MOD en los suelos.

Señalaron que este transporte activo de MOD en columnas de

suelo implicaría una captación selectiva de las fracciones de moléculas aromáticas de mayor masa con características hidrofóbicas, mientras que las fracciones más pequeñas con compuestos más ácidos drenaron con las aguas de lixiviación. Añaden además, sobre los efectos de este fraccionamiento en el transporte de complejos DOM-metales y de agentes contaminadores orgánicos regidos por las características físico-químicas de la fase sólida y la MOD.

Para la caracterización de MOD en el agua se determina el contenido de COD, a través de métodos similares a los aplicados en los suelos, mediante la utilización de analizadores de carbono o por métodos espectroscópicos como el UV-visible, al determinar la absorptividad a 280 nm y el coeficiente E₂/E₃ (relación de los valores a absorbancia de 250 y 365 nm) que brinda una información más precisa para las SH en agua, son utilizados comúnmente como indicadores que se relacionan con la aromaticidad de la MOD. Así, altos valores de E₂₈₀ y coeficientes E₂/E₃ bajos, son relacionadas a su vez con una baja acidez en la fracción; siendo consideradas de mayor complejidad estructural (fracciones con mayores características hidrofóbicas), las que son retenidas preferentemente por el suelo (Totsché *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

- En la literatura no se presentan criterios universales reflejados en una metodología para evaluar y monitorear el sistema suelo y las aguas de lixiviación a partir de indicadores integradores, precisos, sensibles y operativos específicamente definidos que faciliten su monitoreo a pequeña escala y largo tiempo.
- La materia orgánica del suelo (MOS) y sus fracciones específicamente los ácidos húmicos son definidos como indicadores físico, químico y biológico de los cambios que se producen entre los sistemas, pues interviene en la mayoría de las reacciones que ocurren en el suelo como principio y fuerza que dirige su fertilidad. Las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo pueden ser estudiadas en cuatro niveles diferentes: la MOS, materia orgánica disuelta (MOD) y sus fracciones las poblaciones microbianas, actividad respiratoria microbiana y las propiedades envueltas en la transformación de la MOS y los nutrientes que ciclan, dependientes de ellas la densidad volumétrica del suelo, la conductividad eléctrica y el pH, propiedades que influyen también en la calidad de las aguas de lixiviación de los suelos, pudiendo ser integrados a partir del indicador universal: evaluación de la MOS y MOD en el sistema suelo-agua través de un procedimiento multidisciplinario para evaluar su sostenibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASUMING, S.B.; GANTNER, S.; ADIKI, S.; ARCHER, S.: "Changes in the biodiversity of microbial populations in tropical soil under different follow treatments", *Soil Biology & Biochemistry*, 40: 2811-2818, 2008.
- BARRIOS, E.; DELVE, R.; BEKUNDA, M.: "Indicators of soil quality: A south- south development of a methodological guide for linking local and technical knowledge", *Geoderma*, 135: 248-259, 2006.
- BIRKHOFER, K.; MERXIJN, T.; BLOUN, J.: "Long-term organic farming foster below and aboveground biota: Implications for soil quality biological control and productivity", *Soil Biology & Biochemistry*, 40(9): 2297-2308, 2008.
- CAMPITELLI, P.; CEPPI, S.: "Effects of composting technologies on the chemical and physicochemical properties of humic acids", *Geoderma*, 144: 325-333, 2008.

- CANELLAS, L.; PICCOLO, A.; DOBBSS, L.; SPACINI, R.; ZANDONADI, D.; FACANHA, A.: "Chemical composition and bioactivity propiers of seze-fractions separated from a vermicompost humic acid", *Chemosfere*, 78, 2010.
- DUBBSS, B.; RUMJANECK, M.; VELLOSO, X.; CANELLAS, L.: "Caracterizacao química e espectroscópica de ácidos húmicos e fúlvicos isolados de camada superficial de latossolo brasileiros", *R.Bras. Cien. Solo*, 33(1): 23-31, 2009.
- FONT, L.: *Estimación de la Calidad del Suelo: Criterios Físicos, Químicos y Biológicos*, 100pp., Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas), Instituto de Suelo de Camagüey, Cuba, 2007.
- GARCÉS, N.; HERNÁNDEZ, A.; CARO, I.; ARTEAGA, M.: "El humus de los suelos cubanos en ecosistemas tropicales y conservados", *Terra Latinoamericana*, 27(2): 85-97, 2009.
- HARGREAVES, J.; ADL, M.; WORMAN, P.: "A review of the use of composted waste in agriculture", *Ecosystems and Environment*, 123: 1-14, 2008.
- HERNÁNDEZ, A.; VARGAS, D.; BORGES, Y.; RÍOS, H.; MORALES, M.; FUNES, F.: "Reservas de carbono orgánico en suelos Ferralíticos Rojos", ed. H Ríos, D Vargas, y F.M Funes, *Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático*, ISBN-978-959-7023-52-4, pp. 45-54, Ed. INCA, Mayabeque, Cuba, 2012.
- KALBITZ, K.; SOLINGER, S.; PARK, J.: "Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review", *Soil Issues, Soil Science*, 164(4): 277-304, 2007.
- MARCHAO, R.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L.: "Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey oxisol 13-year effects of integrated crop-livestock management systems", *Soil & tillage Research*, 103: 442-450, 2009.
- MO, J.; ZHANG, W.; ZHU, W.; GUNDERSEN, P.; FANG, Y.: "Nitrogen addition reduces soil respiration in a mature tropical forest in souther chene", *Global change Biology*, 14: 403-412, 2008.
- MORALES, M.; HERNÁNDEZ, A.; MARENTES, F.; FUNES, F.; BORGES, Y.; VARGAS, D.: "Nuevos aportes sobre el efecto de materia orgánica en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados", *Agrotecnia de Cuba*, 32(1): 57-64, 2008.
- NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; MUSCOLO, A.: "Biological activities of humic substances", *Biophysico-chemical. Processes Invovi Natural nono living organic matter in Environmental systems*, pp. 305-340, Ed. Seni&Xing & Huang, Wiley y Sons, New York, UE, 2009.
- NC 93-02:85.: *Agua potable. Requisitos Sanitarios y Muestreo*, Vig. 2001.
- ORELLANA, R.; MORENO, J.M.; FEBLES, J.M.; VEGA, M.: "Propuesta de indicadores edáficos para medir la sostenibilidad de los suelos Ferralíticos rojos de la provincia de La Habana, Cuba", *Agrotecnia de Cuba*, ISSN-0568-3114, 32(1): 50-56, 2008.
- POSTMAN, J.; SCHILER, M.; BLOEM, J.; LECUWEN-HAEGSMA, K.: "Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in organic famers systems", *Soil Biology & Biochemistry*, 40(9): 2394-2406, 2008.
- SCELZU, R.; RAO, M.; GIANFREDA, L.: "Response of an Agriculction soil to PCP contamination the addition of compost of MOD", *Soil Biology and Biochemistry*, 40(9): 2162-2169, 2008.
- SCHEPETKIN, A.; XIE, G.; QUINN, M.: "Complement-fixing activity of fúlvica acid from shilajit and Natural Source", *InterScience. Phytother. Res*, 2008.
- STEINBERG, C.; MEINEL, T.; TIMOFEYEV, M.; BITTNER, M.; MENZEL, R.: "Humic Substances (review series). II- Interactions with organisms", *Env. Sc. Poll. Res.*, 15(2): 128-135, 2008.
- STEWART, C.; PAUSTION, K.; CONNOT, R.; PLANT, A.; SIX, J.: "Soil Carbon saturation. Implications measurable carbon pool dynamic in long term incubation", *Soil Bioogy & biochemistry*, 41: 357-366, 2009.
- TOTSCHÉ, K.; HENSEL, D.; STEFFEN, J.: "Lysimeter and columns experiments as tolos to monitor the transport of contaminats in the context of MNA", *J. Environ. Qual.*, 26: 1090-1100, 2007.
- TREVISAN, S.; FRANCIOSO, O.; QUAGGIOTTI, S.; ARDI, S.: "Humic substances biological activity at the plant-soil interface. Environmental aspects to molecular factors", *Plant Signaling & Behavior*, 5(6): 635-643, 2010.

Recibido: 23 de mayo de 2013.

Aprobado: 20 de marzo de 2014.

Mayra Arteaga Barrueta, Prof. e Inv. Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP: 32700, Correo electrónico: mayra@unah.edu.cu