

Evaluación de la estabilidad química de enmiendas orgánicas a través de la mineralización de carbono

Evaluation of the chemical stability of organic amendment through the mineralization of carbon

A. Zambrano^{1*}, C. Rivero², J. Paolini³ y F. Contreras¹

¹Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Química. Laboratorio de Investigación en Análisis Químico, Industrial y Agropecuario (LIAQIA), Mérida Estado Mérida, Venezuela. Apartado postal 5101.

²Universidad de Central de Venezuela, Instituto de Edafología, Maracay Estado Aragua, Venezuela.

³Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Altos de Pipe, Centro de Ecología, Laboratorio de Ecología de Suelos, Estado Miranda, Venezuela.

Resumen

La necesidad de recuperación de suelos degradados o con deficiencia de materia orgánica, se ha incrementado en las últimas décadas, siendo las enmiendas orgánicas una alternativa económica, eficiente y moderadamente rápida para este fin. En Venezuela se han realizado pocos estudios de caracterización de enmiendas orgánicas. La mayoría de las investigaciones han estado orientadas en caracterizar la materia orgánica del suelo y evaluar las propiedades fisicoquímicas y biológicas de éste después de aplicar enmiendas orgánicas. Los estudios de calidad de las enmiendas orgánicas implican la evaluación de sus propiedades fisicoquímicas y bioquímicas, la cual depende de los procesos a los cuales se someten las enmiendas para su humificación. En esta investigación, se determinó las propiedades y características fisicoquímicas y bioquímicas de las enmiendas orgánicas más utilizadas en el país, con el fin de evaluar su calidad, estabilidad y madurez e inferir sobre sus posibilidades de uso. Se evaluó la mineralización del carbono, a través de la producción de CO₂, de gallinaza, cachaza, lodo de planta depuradora, estiércol de vacuno y caprino y de vermicompost de diferentes orígenes. Se realizó el fraccionamiento de la materia orgánica, mediante su solubilidad en ácidos y álcalis, a fin de obtener los parámetros de humificación, índice, grado y relación de humificación. Se obtuvo que los vermicompost Zea y ULA son las enmiendas orgánicas más estables, mientras que los estiércoles de vacuno y ca-

prino, la gallinaza Lara y Mérida, son las menos estables, resultados que se corresponden con los valores del índice de humificación.

Palabras clave: Mineralización del carbono, índice de humificación, CO₂, estabilidad, compost, vermicompost, índice de humificación.

Abstract

The recovery necessity of degraded soils or with deficiency of organic matter has increased in the last decades, becoming the organic amendment an efficient and fast economic alternative for such purpose. In Venezuela, few researches have been carried out about the characterization of organic amendments. Most of the researches are oriented towards characterizing the organic matter of the soil, and to evaluate the physic/chemical and biological properties of it, after applying organic amendment. The quality researches of the organic amendments imply the evaluation of their physic/chemical and biochemical properties, which depend on the processes to which the amendments are submitted for their humification. In this research were determined the properties and physic/chemical and biochemical characteristics of the most used organic amendments in the country with the aim of evaluating their quality, stability and ripening and infer about their properties of usage. The mineralization of carbon was evaluated, through the production of CO₂, of poultry manure, sludge, mud of the treatment plant, beef cattle and goat dung and vermicompost with different origins. The fractioning of the organic matter was done by its solubility in acids and alkalis, with the aim of obtaining the parameters of humidification, index, degree and relation of humification. It was obtained that vermicompost Zea and U1a are more steady organic amendments, while, beef cattle and goat dung, and poultry manure Lara and Mérida are less steady; results that correspond to the values of the humidification indexes.

Key words: mineralization of carbon, humification index, CO₂, stability, compost, vermicompost, humification index.

Introducción

Estabilidad y madurez de las enmiendas orgánicas son términos que suelen emplearse indistintamente y generalmente no son catalogados como índices de calificación. La primera se refiere a una etapa específica de descomposición del material orgánico (durante el compostaje), la cual está relacionada con los tipos de compuestos orgánicos residuales y la actividad bio-

Introduction

Stability and ripening of organic amendments are terms normally employed indistinctively, and are generally catalogued as qualification indexes. The first refers to a specific decomposition phase of the organic matter (during the compost), which is related to the types of residual organic compounds and the resulting biological activity, which can be measured with

lógica resultante que se puede medir por ejemplo con la tasa de respiración (Tognetti *et al.*, 2007). Mientras que madurez está relacionada con su idoneidad en el uso final y el crecimiento de los cultivos, aunque algunos autores también la relacionan con la humificación (Tomati *et al.*, 2000). No obstante, si el compostaje se ha controlado adecuadamente el producto final será estable, pero, podría implicar ciertos problemas de fitotoxicidad para los cultivos debido a una alta conductividad eléctrica del material. De aquí que se pueda distinguir estabilidad como criterio del material y madurez como la calidad. Parece difícil distinguir claramente entre ambos términos. Del mismo modo, es poco probable que un solo parámetro pueda evaluar definitivamente la estabilidad o madurez, principalmente debido a la amplia variedad de materias orgánicas, el proceso de compostaje y el uso final del material (López *et al.*, 2010).

Recientemente, se ha incrementado el interés por evaluar la estabilidad y la actividad biológica de los materiales orgánicos, estableciéndose la respiración basal o microbiana como una de las herramientas más adecuadas para tal fin (Wagland *et al.*, 2009). La cual se define como el consumo de O_2 o producción de CO_2 por microorganismos y que incluye el intercambio de gases por el metabolismo aerobio y anaerobio (Anderson, 1982). En tal sentido, la liberación de CO_2 se ha empleado para estimar la biomasa microbiana del material orgánico y/o suelo. Frecuentemente, esta característica se usa para evaluar los efectos sobre el suelo de enmiendas orgánicas y sustancias químicas, ta-

the breathing rate (Tognetti *et al.*, 2007). Meanwhile, ripening is related to its suitability in the final use and the growth of the cultures, even though, some authors also relate it to the humidification (Tomati *et al.* 2000). Nevertheless, if the compost has been controlled adequately, the final product will be steady, but, it may imply some phytotoxicity problems for the crops, due to a high electrical conductivity of the material. For this reason, stability can be distinguished as criteria of the material, and ripening as quality. It seems difficult to distinguish clearly between both terms; likewise, is not too probable that one parameter only could definitely evaluate the stability or ripening, mainly due to the wide variety of organic matter, the compost process and the final usage of the material (López *et al.*, 2010).

Recently, the interest to evaluate the stability and the biological activity of the organic materials has increased, establishing the basal or microbial breathing as one of the most adequate tools for this objective (Wagland *et al.*, 2009); which is defined as the consumption of O_2 or production of CO_2 by microorganisms, including the exchange of gases by the aerobic and anaerobic metabolism (Anderson, 1982). In this sense, the liberation of CO_2 has been employed to estimate the microbial biomass of the organic and/or soil material. This characteristic is frequently used to evaluate the effects on the soil of organic amendments and chemical substances, such as biocides and heavy metals (Anderson, 1984). According to this, the determination of the production of CO_2 is also useful

les como biocidas y metales pesados (Anderson, 1984). De acuerdo a esto la determinación de la producción de CO_2 , también es útil para conocer el efecto de determinadas variables sobre la oxidación de la materia orgánica in situ, aun cuando no sea posible indicar en ningún momento qué sustrato orgánico en particular está siendo catabolizado (García *et al.*, 2000). Pascual (1996) define la mineralización como un proceso de reducción del contenido de materia orgánica en la que al mismo tiempo, aumentan los nutrientes asimilables, previamente inmovilizados en formas orgánicas, es decir, es un proceso opuesto a la humificación, la acción de ambos procesos es simultánea, de tal manera que el estado de la materia orgánica global dependerá el balance entre dichos procesos.

La determinación del CO_2 producido por las enmiendas orgánicas ha sido usada como un parámetro de estabilidad de las mismas por muchos autores (Kirchmann y Bernal, 1997; Tiunov y Scheu, 2000; Wu y Ma, 2002; Benito *et al.*, 2003). En todos los casos se observa una reducción progresiva de la producción de CO_2 en función del tiempo de incubación, hasta permanecer relativamente constante, donde el CO_2 acumulado se incrementa y se caracteriza por una fase inicial acelerada para finalmente permanecer constante. En estudios similares Delphin (1988) utilizó sucesivamente una ecuación exponencial de primer orden, correspondiente al modelo doble exponencial, para describir las curvas de mineralización de carbono en el suelo. Este modelo asume que la materia orgánica puede ser dividida en dos

to know the effect of determinate variables on the oxidation of organic matter in situ, even when is not possible to indicate at any moment which organic substrate in particular is being catabolized (García *et al.*, 2000). Pascual (1996) defines the mineralization as a reduction process of the organic matter, where at the same time increase the assimilable nutrients, which were previously immobilized organically, that is, it is a process opposite to the humification, the action of both processes is simultaneous, in a way that the global organic matter will depend on the balance of such processes.

The determination of CO_2 produced by the organic amendments has been used as a stability parameter of these by many authors (Kirchmann and Bernal, 1997; Tiunov and Scheu, 2000; Wu and Ma, 2002; Benito *et al.*, 2003). In all cases, is observed a progressive reduction of the production of CO_2 in function of the incubation time, until remaining relatively constant, where the accumulated CO_2 increases and is characterized by an accelerate initial phase until remaining constant. In similar researches, Delphin (1988) used a first-order exponential equation, corresponding to the double exponential model, to describe the mineralization curves of carbon in the soil. This model assumes that the organic matter can be divided into two components, a labile fraction (C_1) and a recalcitrant (C_2), each with a constant decomposition, designed as k and h , respectively. Likewise, Álvarez and Álvarez (2000) when applying the exponential model describe the

componentes, una fracción lábil (C_1) y una más recalcitrante (C_2), cada cual con una constante de descomposición, designadas como k y h , respectivamente. De igual forma, Álvarez y Álvarez (2000) al aplicar el modelo exponencial describen la mineralización del carbono en un amplio rango de prácticas agrícolas. Los autores señalan que la fracción lábil o fácilmente mineralizable está fuertemente relacionada con la biomasa microbiana y su actividad. Además, consiguen que el “pool” de carbono del suelo, está estrechamente relacionado con el carbono mineralizado durante el período de incubación.

Sin embargo, la respiración microbiana no es suficiente para determinar simultáneamente la estabilidad y madurez de las enmiendas orgánicas, se requiere de otros parámetros para comprender e interpretar los cambios ocurridos durante el tratamiento biológico (López *et al.*, 2010). En este sentido, la relación C/N, juega un papel importante al momento de determinar la disposición final de estos materiales. Enmiendas orgánicas con una relación C/N baja favorecen la mineralización neta del nitrógeno, mientras que los materiales con una relación C/N alta favorecen su inmovilización. Sin embargo, en la relación C/N no se conoce ni el tipo de materia orgánica ni su biodegradabilidad.

No obstante, los parámetros de humificación aportan, probablemente, información sobre el potencial de mineralización del carbono. En este sentido, se tiene que la humificación es el paso final de la degradación de la materia orgánica, la cual consiste en

mineralization of carbon in a wide range of agriculture practices. The authors mention that the labile fraction or easily mineralized is strongly related to the microbial biomass and its activity. Also, they find that the carbon pool of the soil is widely related to the mineralized carbon during the incubation period.

However, the microbial breathing is not enough to determine simultaneously the stability and ripening of the organic amendments, other parameters are required to understand and interpret the changes occurred during the biologic treatment (López *et al.*, 2010). In this sense, the C/N relation has an important role at the moment of determining the final disposition of these materials. Organic amendments with a low C/N relation favor the net mineralization of the nitrogen, while the materials with a high C/N relation favor the immobilization. However, in the C/N relation is not known the type of organic matter or its biodegradability.

Nevertheless, the humification parameters probably provide information about the potential of the carbon mineralization. In this sense, the humification is the final step of the degradation of the organic matter, which consists on the cycling of high-weight-molecular molecules to amorphous colloid complexes that contain phenolic groups. To evaluate the stability and ripening of the organic amendments, Sequi *et al.* (1986) and Ciavatta *et al.* (1990) proposed the characterization of soils and compost through humification parameters. The authors include the index, degree and humification relation besides the

el ciclaje de moléculas de alto peso molecular a complejos coloides amorfos que contienen grupos fenólicos. Para evaluar la estabilidad y madurez de las enmiendas orgánicas, Sequi *et al.* (1986) y Ciavatta *et al.* (1990) propusieron la caracterización de suelos y compost a través de los parámetros de humificación. Los autores incluyen el índice, el grado y la relación de humificación además de la evaluación de las relaciones existentes entre las diferentes fracciones de carbono separadas. El índice de humificación (IH) ha sido determinado para una gran variedad de suelos y enmiendas orgánicas con diferentes grados de humificación (Sequi *et al.*, 1986). En el caso de suelos el IH es siempre menor que uno o se aproxima a cero y esto se corresponde con materiales bien humificados como la materia orgánica del suelo. Para enmiendas orgánicas maduras o bien compostadas, el índice es menor a uno; siendo mayor a uno para enmiendas orgánicas crudas y parcialmente maduras. El IH decrece durante el proceso de compostaje y es menor que uno, cuando la materia orgánica se estabiliza (Ciavatta *et al.*, 1990).

Además, el grado de humificación (GH), representa la proporción de los compuestos humificados, ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF) con respecto al carbono total extraíble y se han señalado valores superiores al 60% en materiales humificados del suelo y algunas enmiendas orgánicas y cercanos a 100% en leonarditas (sustancias fósiles humificadas). Muestras con menor grado de humificación como estiércoles y lodos, suelen tener un GH menor

evaluation of the existent relations among the different fractions of separated carbon. The humification index (IH) has been determined for a great variety of soils and organic amendments with different humification degrees (Sequi *et al.*, 1986). In the case of soils, IH is always lower than one or approximates to zero, and this corresponds to well-humified soils as the organic matter of the soil. For ripened or well compost organic amendments, the index is lower than one; being higher than one for raw and partially ripened organic amendments. IH decreases during the compost process, and is lower than one, when the organic matter stabilizes (Ciavatta *et al.*, 1990).

Besides, the humification degree (GH) represents the proportion of the humified compounds, humic acids (AH) and fulvic acid (AF) in relation to the removable total carbon, and values superior to 60% have been evidenced in humified materials of the soil and some organic amendments and close to 100% in leonardite (humified fossil substances). Samples with lower humification degree as dung and mud normally have a GH lower than 60%. Because of this, the GH can be used to monitor the evolution of the organic matter after being applied in the soil (Ciavatta *et al.*, 1990).

Another relevant parameter at the moment of evaluating the ripening of an organic amendment is the humification relation (RH), which represents the percentage of humified compounds respect to the total carbon content in the studied material. In strongly humified materials, such as leonardite, RH is higher than 80% and

a 60%. En virtud de esto, el GH puede ser usado para monitorear la evolución de la materia orgánica después de aplicarla al suelo (Ciavatta *et al.*, 1990).

Otro parámetro relevante al momento de evaluar la madurez de una enmienda orgánica es la relación de humificación (RH), la cual representa el porcentaje de compuestos humificados, respecto al contenido total de carbono en el material estudiado. En materiales fuertemente humificados como la leonardita, la RH es mayor al 80% y en la mayoría de los suelos y ciertas enmiendas orgánicas este valor es bajo (Ciavatta *et al.*, 1990). Del mismo modo, también se valoran las concentraciones de carbono de las fracciones húmicas y no húmicas, asociada al estado de degradación y madurez de un material orgánico. La misma se determina como la relación de las concentraciones de carbono de AH y AF, la cual se expresa como C_{AH}/C_{AF} , esta relación se considera como una buena medida del estado de degradación y madurez de un compost (Senesi, 1989) donde un elevado valor indicaría una mayor madurez.

El uso de C_{AH}/C_{AF} y el IH junto con RH, son los índices más sensibles para el seguimiento de los procesos de humificación (Hernández *et al.*, 2010). Estos índices o parámetros están directamente relacionados con la medición del contenido (o la ausencia) de materia orgánica fácilmente degradable en el enmiendas orgánicas y se puede utilizar para evaluar la estabilidad biológica, donde un alto contenido de la fracción degradable significa estabilidad biológica baja (Baffi *et al.*, 2007).

La calidad de las enmiendas orgánicas o su estabilidad biológica, debe

in most of the soils and some organic amendments this value is low (Ciavatta *et al.*, 1990). Likewise, the concentrations of carbon of humic and non-humic concentrations are also valued, associated to the degradation and ripening phase of the organic matter. This, is determined as the relation of the carbon concentrations of AH and AF, which is expressed as C_{AH}/C_{AF} , this relation is considered as a good measure of the degradation and ripening phase of a compost (Senesi, 1989) where an elevated value would indicate a faster ripening phase.

The usage of C_{AH}/C_{AF} and IH along to RH, are the most sensitive indexes for following the humification processes (Hernández *et al.*, 2010). These indexes or parameters are directly related to the measurement of the content (or absence) of the easily degradable organic matter in organic amendments, and can be used to evaluate the biological stability, where a high content of the degradable fraction means a low biologic stability (Baffi *et al.*, 2007).

The quality of organic amendments or their biologic stability must be evaluated accurately. There is not any parameter that describe accurately such quality, on the contrary, a couple of indexes are required to establish biologic stability measures of organic matter in any development phase, to which more researches are needed before these indexes are used as routine tests in laboratories.

Nowadays, the demand to recover degraded soils or with deficiency or organic matter has increases, in this sense, the use of organic amendments

ser evaluada con precisión. No existe un solo parámetro que describa con precisión dicha calidad, por el contrario se requiere de una serie de índices que permitan establecer medidas de la estabilidad biológica de los materiales orgánicos en cualquier estado de desarrollo, para lo cual se precisa más investigación en profundidad antes de que éstos índices se pueden usar como pruebas de rutina en los laboratorios.

Actualmente, se ha incrementado la demanda por recuperar suelos degradados o con deficiencia de materia orgánica, en este contexto el uso de enmiendas orgánicas es una de las mejores alternativas a utilizar. Por otra parte, se debe mantener y reponer el contenido de materia orgánica en los suelos bajo actividad agrícola, además de brindar un posible uso a los residuos generados por las actividades agroindustriales y municipales. En Venezuela se han realizado pocos estudios de caracterización de ácidos húmicos de enmiendas orgánicas, la mayoría de éstos se han centrado en caracterizar la materia orgánica del suelo y evaluar las propiedades fisicoquímicas y biológicas de éste después de la incorporación de dichos materiales. En este sentido, en la presente investigación, se establece como objetivo determinar las propiedades y características fisicoquímicas y bioquímicas de las enmiendas orgánicas más utilizadas en el país, con el fin de evaluar su calidad, estabilidad y madurez e inferir sobre sus posibles usos y aplicaciones.

Materiales y métodos

Selección de las enmiendas orgánicas utilizadas: Las muestras utilizadas fueron muestras comercia-

is one of the best alternative to use. On the other hand, the organic matter content must be kept and replaced in soils with low agriculture activity, also, must be sought the possible use of residues generated by the agro-industry and municipal activities. In Venezuela, few researches about the characterization of humic acids or organic amendments have been carried out; most of these have focused in characterizing the organic matter of the soil and evaluate the physicochemical and biological properties of it after the incorporation of such materials. In this sense, this research established as main objective to determine the properties and physicochemical and biochemical characteristics of the most common organic amendments in the country, with the aim of evaluating their quality, stability, ripening and inferring about their possible uses and applications.

Materials and methods

Selection of the organic amendments used: the sampled used were commercial samples, selected according to their origin, fabrication and use in the region of the Venezuelan Andes and the country: raw cattle beef dung (EV) and raw goat dung (CH), vermicompost ULA (VU), which is used a vegetal residue substrate, vermicompost Zea (VZ), elaborated from a mix of cattle beef dung and waste of the coffee plant, sludge (C), rod compost of sugar cane, manure Lara (GL), fermentation products of chicken and hen excrements, un-pellet coming from Lara state, manure

les, seleccionadas según su origen, fabricación y uso en la región de los Andes Venezolanos y el país: estiércol de vacuno crudo (EV) y estiércol de caprino crudo (CH), vermicompost ULA (VU), el cual usa como sustrato residuos vegetales, vermicompost Zea (VZ); elaborado de una mezcla de estiércol de vacuno y desechos de la planta de beneficio de café, cachaza (C) compost de vástago de caña de azúcar, gallinaza Lara (GL), producto de fermentación de los excrementos de pollos de engorde y gallinas, no peletizado proveniente del estado Lara, gallinaza Mérida (GM), obtenido a base de concha de arroz o aserrín, o mezcla de éstos, de forma peletizado procesada en el estado Mérida y lodo de una planta depuradora de aguas servidas (L).

En todos los casos se tomó cinco muestras, en presentaciones de 3 kg. Las mismas, se secaron al aire y tamizadas a 2 mm. En todos los análisis, se siguió el mismo tratamiento para las ocho muestras estudiadas, tomando cuatro repeticiones en cada enmienda.

Análisis químicos y bioquímicos

Producción de dióxido de carbono (CO_2): se determinó por el método de incubaciones estáticas propuesto por Stotzky (1965), el cual consiste en incubar 10 g de enmienda orgánica humedecida al 50% de su capacidad de retención de humedad, en frascos de 500 mL de capacidad cerrados herméticamente. Dentro de dichos envases se colocó un vial en suspensión con 15 mL de NaOH 0,1 M, el álcali fue cambiado periódicamente de acuerdo a la programación del muestreo. Los enva-

Mérida (GM) obtained from rice or sawdust, or a mix of these, pelletized and processed in Mérida state, and a mud from a water treatment plant (L)

In all the cases, five samples were taken, in presentations of 3 kg. These were dried and sift at 2 mm. In all the analyses, the same treatment was followed for the eight studied samples, with four replications in each amendment.

Chemical and biochemical analysis

Production of carbon dioxide (CO_2): was determined by the statistical incubation method proposed by Stotzky (1965), which consists on incubating 10 g of the wet organic amendment at 50% of its humidity retention capacity, in jars of 500 mL of capacity and close hermetically. In this jars, a suspension vial was put with 15 mL of NaOH 0.1 M, the alkali was periodically changed according to the sampling program. The jars are let in standby in a fresh place at environment temperature. The CO_2 produced was indirectly determined by the valuation of the excess of NaOH with a standard solution of HCl 0.1 M, carbons with BaCl_2 were previously precipitated with phenolphthalein as indicator. The mineralization kinetic of carbon was done using the non lineal analysis program Graph Pad Prism Version 2.0 (1994). In the case, the R^2 coefficient is used to compare the adjustment of the experimental data to the different mathematical models using a non-lineal regression analysis; which allows evaluating the detachment of carbon in function of the incubation time.

The organic carbon was determined according to the method of

ses se dejan en reposo en un lugar fresco a temperatura ambiente. El CO₂ producido se determinó indirectamente por medio de la valoración del exceso de NaOH con una solución estándar de HCl 0,1 M, previamente se precipitaron los carbonatos con BaCl₂, con fenolftaleína como indicador. La cinética de mineralización del carbono, se realizó a través del programa de análisis de regresión no lineal Graph Pad Prism Versión 2.0 (1994). En este caso el coeficiente R² se utiliza para comparar el ajuste de los datos experimentales con los diferentes modelos matemáticos usando un análisis de regresión no-lineal.

El cual permite evaluar el desprendimiento de carbono en función del tiempo de incubación.

El carbono orgánico se determinó de acuerdo al método de Walkley y Black (1934) modificado por Simms y Haby, 1971 y Anderson e Ingram, 1993.

El nitrógeno total: se determinó de acuerdo al método de Kjeldahl modificado de acuerdo a Axmann *et al.* (1990), que usa KMnO₄ para evitar la pérdida de NO₂⁻ y la oxidación de la materia orgánica, posteriormente se usó hierro reducido para reducir los NO₃⁻ a NH₄⁺.

Los parámetros de humificación se calcularon de acuerdo a la metodología propuesta por Ciavatta *et al.* (1990), a través de la determinación de carbono antes señalada:

·Índice de Humificación (IH): $IH = NH/(AF + AH)$

·Grado de Humificación (GH): $GH = [(AF + AH)/CE] \times 100$

·Relación de Humificación (RH): $RH = [(AF + AH)/COT] \times 100$

Walkley and Black (1934) method, modified by Simms and Haby, 1971 and Anderson and Ingram, 1993.

Total nitrogen: was determined according to the modified Kjeldahl method, according to Axmann *et al.*, (1990), that uses KMnO₄ to avoid the lost of NO₂⁻ and the oxidation of the organic matter, subsequently, reduced iron was used to reduce NO₃⁻ a NH₄⁺.

The humification parameters were calculated according to the methodology proposed by Ciavatta *et al.* (1990), using the carbon determination mentioned before:

Humification index (IH): $IH = NH/(AF + AH)$

Humification degree (GH): $GH = [(AF + AH)/CE] \times 100$

Humification relation (RH): $RH = [(AF + AH)/COT] \times 100$

Where:

NH is the carbon of the non-humic substances AF is the carbon of fulvic acids

AH is the carbon of humic acids CE the extracted carbon and

COT The total organic carbon

Results and discussion

The total nitrogen content and organic carbon were determined (table 1) as routine parameters to infer the possible agriculture use of the studied amendments.

The results showed that GL and L present the highest contents of total N, 3.38 and 3.0 respectively, while that sludge compost does not exceed 0.5%, which corresponds to the origin of the material and the ripening phase, specially for sludge (Larrahondo, 2009 and Quiroz, 2010). Nevertheless,

donde:

NH es el carbono de las sustancias no húmicas AF es el carbono de los ácidos fúlvicos

AH es el carbono de los ácidos húmicos CE el carbono extraído y

COT el carbono orgánico total.

Resultados y discusión

Como parámetros de rutina para inferir, en primera instancia, el posible uso agrícola las enmiendas estudiadas, se determinó contenido de nitrógeno total y carbono orgánico (cuadro 1).

Los resultados mostraron que la GL y el L presentan los mayores contenidos de N total, 3,38 y 3,0%, respectivamente, mientras que el compost de cachaza no supera el 0,5%, lo que se corresponde de acuerdo con el origen del material y el estado de madurez del mismo, especialmente para la cachaza (Larrahondo, 2009 y Quiroz, 2010). No obstante, Zérega y Adams (1991) y Venegas *et al.* (2005) consi-

Zérega and Adams (1991) and Venegas *et al.*, (2005) obtained contents of total N significantly higher in sludge with different origin that the one used in this research.

In other researches (Muñoz, 2009) have found that materials coming from cane residues with a C/N relation higher than 30 have a slow decomposition and might induce a temporal deficiency of N. In the evaluated C, the C/N relation is 47.67, therefore is thought that it is a steady material with little microbial activity, as observed in the content of detached CO₂, also, there is probably an immobilization effect of N, due to the observed value.

The studied manures have high contents of total N, where their main difference relies on the origin and treatment of these (Pérez *et al.*, 2008). In other researches, in amendments such as manure, mud or goat dung, similar results have been found (Rivero and Carracedo, 1999; Acosta *et al.*, 2003 and Contreras, *et al.*, 2004).

Cuadro 1. Contenido de Nitrógeno total (N total), Carbono y relación C/N de las enmiendas orgánicas evaluadas.

Table 1. Total nitrogen content (N total), carbon and C/N relation of the evaluated organic amendments.

Enmienda	N Total (%)	Carbono (%)	C/N
Estiércol de Vacuno	1,05	18,28	17,41
Estiércol de Caprino	2,07	25,11	12,13
Gallinaza Lara	3,38	22,23	6,58
Gallinaza Mérida	2,57	16,66	6,48
Vermicompost ULA	2,75	20,45	7,44
Vermicompost Zea	2,07	26,54	12,82
Cachaza	0,42	20,02	47,67
Lodo	3,00	19,25	6,42

guen contenidos de N total significativamente mayores en una cachaza de diferente origen a la utilizada en esta investigación.

En otras investigaciones (Muñoz, 2009), se ha conseguido que materiales provenientes de residuos de caña con una relación C/N mayores a 30, tiene una descomposición lenta y pueden inducir deficiencia temporal de N. En la C evaluada la relación C/N es de 47,67 por lo que se cree que sea un material bastante estable con poca actividad microbiana, tal como se observa más adelante con el contenido de CO₂ desprendido, además, probablemente, existe un efecto inmovilizador del N, debido al alto valor observado.

Se ha conseguido que las gallinazas estudiadas tienen altos contenidos de N total, donde su diferencia fundamental se debe al origen y tratamiento de éstas (Pérez *et al.*, 2008). En otros trabajos, en enmiendas como gallinaza, lodo y estiércol de caprino se han conseguido resultados similares (Rivero y Carracedo, 1999; Acosta *et al.*, 2003 y Contreras, *et al.*, 2004). Tognetti *et al.* (2007) consigue valores similares a los obtenidos en esta investigación para N total en vermicompost. En este caso, de acuerdo a los criterios de calidad establecidos por el Comité Técnico de Normalización Nacional de Productos Agrícolas y Pecuarios (CTNNPAP, 2007) en México (N total entre 1 y 4%), se considera que los VU y VZ son ricos en nitrógeno y de interés agrícola.

Por otra parte, Rivero y Carracedo (1999) y Añez (1979) consiguieron valores de 16,23 y 18,45% de carbono orgánico respectivamente, en gallinaza, concentración similar a la

Tognetti *et al.*, (2007) obtained similar values to the ones extracted in this research for total N in vermicompost. In this sense, according to the quality criteria established by the Technical Committee of National Norms of Agriculture and Livestock Products (CTNNPAP, 2007) in Mexico (total N from 1 to 4%) is considered that VU and VZ are rich in nitrogen and with agriculture interest.

On the other hand, Rivero and Carracedo (1999) and Añez (1979) obtained values from 16.23 to 18.45 % of organic carbon respectively in sludge, similar concentration to the one obtained in this research for GM, meanwhile, for mud Acosta *et al.*, (2003) obtained 25.33% by the oxidation method, similar result to the one extracted in the evaluated mud. Subsequently, Contreras *et al.*, (2005) mention that sludge and goat manure have 25.8 and 26.1% of carbon, analog results to the ones obtained in this research using the oxidation method.

The results emphasize the important role of the origin of the organic amendments at the moment of studying the physic/chemical and biological characteristics of the organic substrates. Likewise, the treatment of these will also influence in the contents of carbon and nitrogen, In general, is observed that amendments of animal origin have higher content of these elements.

Evaluation of the carbon detachment: the production of CO₂ was determined with the aim of evaluating the mineralization kinetic of carbon and the microbial activity. In table 2 are presented the quantities carbon (mg of CO₂) accumulated during 136

obtenida en este trabajo para la GM, mientras que para el lodo, Acosta *et al.* (2003) consiguen un 25,33% por el método de oxidación, resultado similar al obtenido en el lodo evaluado. Posteriormente, Contreras *et al.* (2005) señala que la gallinaza y el estiércol de caprino tienen un 25,8 y 26,1% de carbono, resultados análogos a los obtenidos en este trabajo bajo el método de oxidación.

Los resultados destacan el papel decisivo del origen de las enmiendas orgánicas al momento de estudiar las características fisicoquímicas y biológicas de los sustratos orgánicos. Del mismo modo, el tratamiento que puedan sufrir éstas también influirá en los contenidos de carbono y nitrógeno. En general se observa que las enmiendas de origen animal tienen mayor contenido de estos elementos.

Evaluación del desprendimiento de carbono: Con el fin de evaluar la cinética de mineralización del carbono y la actividad microbiana, se determinó la producción de CO_2 . En el cuadro 2 se presentan las cantidades de carbono (mg de CO_2) acumuladas durante 136 días de incubación, se observa que la mayor actividad se produjo en el EV (crudo) seguido de la GM, CH y GL, mientras que los vermicompost y la cachaza resultaron ser las enmiendas más estables. El desprendimiento de CO_2 fue utilizado por Fernández *et al.* (1997) como índice de actividad microbiológica en suelos quemados, aun cuando también ha sido considerado como un índice general de fertilidad (Tazabekov, 1986).

La respiración microbiana medida como la producción de C- CO_2 acumulado/100 g muestra acumulada,

days of incubation, is observed that the highest activity was produced in EV (raw) followed by GM, CH and GL, meanwhile, vermicompost and the sludge resulted to be the steadier amendments. The detachment of CO_2 was used by Fernández *et al.* (1997) as an index of microbiologic activity in burned soils, even when it has also been considered as a general fertility index (Tazabekov, 1986).

The microbial breathing measured as the production of C- CO_2 /100 g accumulated sample during 136 days, was used as mineralization index of the organic matter. The quantity of accumulated C- CO_2 /100 g produced in all the studied amendments, resulted dependent the type of material. It is observed that the freshest materials present better microbial activity, meanwhile, the most evolution produce less CO_2 , making them less stable.

Mineralization kinetic of carbon: in this research was selected the double exponential model that describe the carbon mineralization supposing a first order kinetic. This model allows inferring about the decomposition velocity and/or recalcitrance of the organic amendments. The results for the mineralization kinetic of the different evaluated amendments are shown in table 3. According to these results, the mud and GM resulted to be the steadier amendments; on the other hand, it was observed that most of the studied amendments (L, GL, VZ, C and EV) are easily degradable in t/2 lower to 10 days. In this case, the R^2 coefficient is used to compare the adjustment of the experimental data with the different mathematical

Cuadro 2. Carbono total producido (CO₂) por las enmiendas orgánicas evaluadas durante 136 días de incubación.**Table 2. Total carbon produced (CO₂) by the organic amendments evaluated during 136 days of incubation.**

Enmienda	mg C-CO ₂ acumulado/100 g muestra
Estiércol de Vacuno	230,50
Estiércol de Caprino	165,00
Gallinaza Lara	135,63
Gallinaza Mérida	193,92
Vermicompost ULA	31,00
Vermicompost Zea	20,70
Cachaza	20,10
Lodo	123,67

durante 136 días, se utilizó como índice de la mineralización de la materia orgánica. La cantidad de C-CO₂ acumulado/100 g muestra producido, en todas las enmiendas estudiadas, resultó dependiente del tipo de material. Se observa que los materiales más frescos presentan mayor actividad microbiana mientras que los más evolucionados, producen menos CO₂, lo que los hace más estables.

Cinética de mineralización del carbono: En esta investigación, se seleccionó el modelo de la doble exponencial que describe la mineralización de carbono suponiendo una cinética de primer orden. Este modelo permite inferir acerca de la velocidad de descomposición y/o la recalcitrancia de las enmiendas orgánicas. Los resultados para la cinética de mineralización de las distintas enmiendas evaluadas se muestran el cuadro 3. De acuerdo a estos resultados el lodo y la GM, resultan ser las enmiendas más estables, por otra parte, se observó que la mayoría de las

models, using the program Graph Pad Prism, version 2.0 (1994), using a non-linear regression analysis.

Figure 1 illustrates the mineralization variation of carbon in each organic amendment, is seen that L, C and the vermicomposts are steadier materials, while EVIa, GM and GL are less steady amendments, since present little detachment of CO₂ and the curves tend to stabilize faster; which occurs from days 30 and 40 for L, CH and GM, while, for vermicomposts and sludge, the stabilization occurs between the first and second incubation week. On the other hand, it can be mentioned that EV and GL are the amendments that take longer to stabilize (after 50 to 75 incubation days, respectively).

At the time the incubation passes, the amendments go through a stabilization phase, where the easily degradable material, such as free sugars, simple fatty acids and free amino acids (Dell'Abate *et al.*, 2000), start running out, reducing the

Cuadro 3. Estimación de las fracciones de carbono presentes en las enmiendas orgánicas estudiadas a través del modelo Doble Exponencial.

Table 3. Estimation of the carbon fractions present in the studied organic amendments using the double exponential model.

Enmienda	C_1 max	C_2 max	k_1	k_2	$t_1/2$ (c)	$t_2/2$ (d)	R^2
Estiércol de Vacuno	89,25	173,6	0,07315	0,01331	9,476	52,07	0,9972
Estiércol de Caprino	144	540	0,02891	$3,683E^{-4}$	23,97	1882	0,9986
Gallinaza Lara	99,01	109,5	0,1015	0,01598	6,827	43,39	0,9976
Gallinaza Mérida	131,8	445,1	0,02479	$1,639E^{-4}$	27,96	4229	0,9987
Vermicompost ULA	2040	57,4	0,3336	0,00523	2078	1325	0,9987
Vermicompost Zea	1,29	218,7	0,1171	$6,714E^{-4}$	5,917	1032	0,9955
Cachaza	3,344	87,59	0,1711	0,00156	4,051	444,9	0,9961
Lodo	88,92	67,64	0,07255	0,00546	9,553	127	0,999

t: tiempo (días) desde el comienzo de la incubación, cuando $t = 0$ (variable independiente).

C_{1max} : Carbono fácilmente mineralizable ($mg\ C\ 100\ g^{-1}\ suelo$).

C_{2max} : Carbono lentamente mineralizable ($mg\ C\ 100\ g^{-1}\ suelo$).

k, h, m: constantes de descomposición ($días^{-1}$).

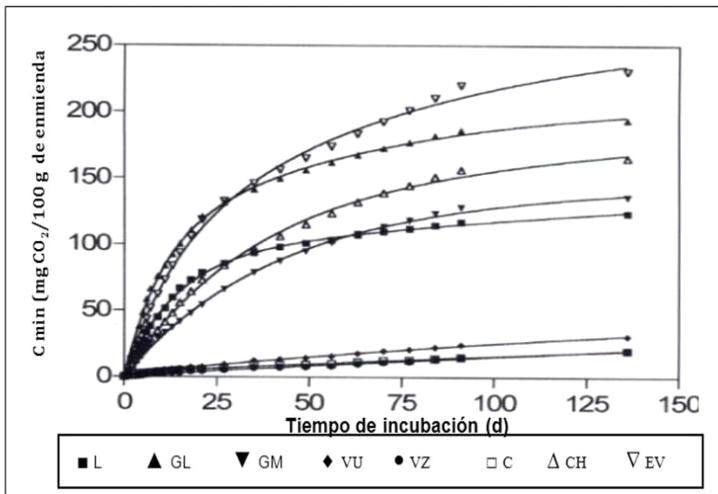
enmiendas estudiadas (L, GL, VZ, C y EV), son fácilmente degradables en un t/2 menor a 10 días. En este caso el coeficiente R² se utiliza para comparar el ajuste de los datos experimentales con los diferentes modelos matemáticos, a través del programa Graph Pad Prism, versión 2.0 (1994) usando un análisis de regresión no-lineal.

La figura 1, ilustra la variación de la mineralización del carbono en cada enmienda orgánica, se aprecia que el L, C y los vermicomposts son los materiales más estables, mientras que el EV la GM y GL las enmiendas menos estables, ya que presentan poco desprendimiento de CO₂ y las curvas se tienden a estabilizarse rápidamente. Lo cual ocurre entre los 30 y 40

number of microorganisms and therefore, the production of CO₂.

The differences found in the production of CO₂ in this research, can be marked by the chemical and physical characteristics, which affect directly the biologic activity developed in the interior of the particles. This behavior, in the studied amendments, indicates that the carbon mineralization is done into two basic phases: the first is due to the increment in the biologic activity, and the degradation by hands of the microorganisms of the easily metabolized products.

The second, is described by the reduction in the production of CO₂ derived from the absence of substrate



L: lodo, GL: gallinaza Lara, GM: gallinaza Mérida, VU: vermicompost ULA, VZ: vermicompost Zea, C: cachaza, CH: estiércol de caprino fresco, EV: estiércol de vacuno fresco.

Figura 1. Dinámica del carbono acumulado como CO₂ de las diferentes enmiendas estudiadas durante la incubación por 136 días.

Figure 1, Dynamic of the carbon accumulated as CO₂ of the different studied amendments during incubation for 136 days.

días para el L, CH y GM, mientras que para los vermicomposts y la cachaza, la estabilización ocurre entre la primera y segunda semana de incubación. Por otra parte, se tiene que el EV y la GL son las enmiendas que más tardan para estabilizarse (después de 50 y 75 días de incubación, respectivamente).

En la medida que transcurre la incubación, las enmiendas pasan a una etapa de estabilización, donde el material fácilmente degradable tales como azúcares libres, ácidos grasos simples y aminoácidos libres (Dell'Abate *et al.*, 2000), empieza a agotarse, por lo que disminuye el número de microorganismos y por tanto se reduce la producción de CO₂.

Las diferencias encontradas en la producción de CO₂ en este trabajo, pueden estar marcadas por sus características químicas y físicas las cuales afectan directamente la actividad biológica desarrollada en el interior de las partículas. Este comportamiento en las enmiendas estudiadas, indica que la mineralización de carbono, se realiza en dos etapas básicas: la primera se debe al incremento en la actividad biológica y a la degradación por parte de los microorganismos de los productos fácilmente metabolizables.

La segunda está descrita por la reducción en la producción de CO₂ derivada de la ausencia de sustrato para la actividad biológica, fundamentalmente a partir del día 25 de incubación, por tanto, un alto contenido de una fracción fácilmente degradable significa baja estabilidad biológica y viceversa (Adani *et al.*, 2004). En esta investigación todos los coeficientes de determinación (R²) obtenidos en el modelo uti-

for the biologic activity, mainly after day 25 of incubation, therefore, a high content of easily degradable fraction means low biological stability and so for (Adani *et al.*, 2004). In this research, all the determination coefficients (R²) obtained in the model used were superior to 0.995 for all the studied amendments, thus, the adjustment of such model can be considered appropriate in the mineralization process of carbon of the evaluated materials.

Evaluation of the humification parameters: IH is a parameter that estimates the quality of the organic matters, indicating the quantity of the non-humified carbon in relation to the humified carbon (Acosta *et al.*, 2004). In table 4 are presented the fractioning results of the organic matter extracted from the studied amendments, according to the method proposed by Ciavatta *et al.*, (1990). As regards the obtained results, it can be seen that vermicompost and GL present the highest percentages of carbon of humic acids.

In this matter, is obtained that the analyzed vermicompost, EV and C present a high humification (steadier), while GL, GM and L, have more mineralized carbon than humified, similar results were mentioned by Ciavata *et al.*, (1990) and Govi *et al.*, (1995) when evaluating the ripening of a compost of dung. The differences in IH, RH and CAH/CAF are due to the origin of the parental materials, which indicates that GM and L, have less decomposition in the time. Acosta *et al.*, (2004) say that the increment in IH might indicate an increment in the structural complexity of the

lizado fueron superiores a 0,995 para todas las enmiendas estudiadas, por lo que el ajuste de dicho modelo se puede considerar apropiado en el proceso de mineralización del carbono de los materiales evaluados.

Evaluación de los parámetros de humificación: El IH es un parámetro que estima la calidad de los materiales orgánicos, indicando la cantidad del carbono no humificado en relación al carbono humificado (Acosta *et al.*, 2004). En el cuadro 4 se presentan los resultados del fraccionamiento de la materia orgánica extraída de las enmiendas estudiadas de acuerdo al método propuesto por Ciavatta *et al.* (1990). De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede apreciar que los vermicompost y GL presentan los porcentajes más altos de carbono de los ácidos húmicos.

En este sentido, se tiene que los vermicompost, EV y C analizados presentan una alta humificación (más estables), mientras que la GL, GM y L, tienen más carbono mineralizable que el humificado, resultados similares consiguen Ciavatta *et al.* (1990) y Govi *et al.* (1995) al evaluar la madurez de un compost de estiércoles. Las diferencias en los IH, RH y CAH/CAF se deben al origen de materiales parentales, lo que indica que GM y L, son de menor descomposición en el tiempo. Acosta *et al.* (2004) señalan que el incremento en IH puede indicar un aumento en la complejidad estructural de las moléculas, mostrando por ende características húmicas más acentuadas.

Aunque la gallinaza Lara presentó la mayor concentración de CAH, al mismo tiempo, presentó una modera-

mente marcada características.

Even when manure Lara presented the highest concentration of CAH, at the same time it presented a moderate concentration of CAF and the highest level of CSNH, thus, presenting a GH of only 50.52%, which indicates that the ripening process of it has not finished yet (Ciavatta *et al.*, 1990 and Ciavatta and Govi, 1993). Mud has similar characteristics, which contains similar quantities of CAH and CAF, requiring the degradation of a big part of CSNH to form steady organic compounds and to increase the GH, consequently reducing the IH, Baffi *et al.* (2007) obtain similar results evaluating the compost of different nature and elaboration processes.

On the other hand, VU presents the lowest quantity of CAF and CSNH, as well as an important concentration of CAH, typical trait of ripened amendments (Goyi *et al.*, 1993), which is related to a the high GH. A similar behavior was presented by VZ, followed by EV, CH and GM.

Also, sludge has similar levels between CAF, CAH and CSNH and a GH of 68.55%, since there is a significant quantity of compounds difficult to oxidize, which is proved with a low RH (Ciavatta *et al.*, 1991 and Ciavatta and Govi, 1993).

The IH value obtained for cattle beef dung is congruent to IH with 0.32 established by Sequi *et al.*, (1986) for this type of materials; as well as with the results mentioned by Ciavatta *et al.*, (1990), who indicated a IH for ripened cattle beef dung of 0.32; GH of 76% and RH equal to 8%. This allows

Cuadro 4. Valores del fraccionamiento del carbono orgánico de las enmiendas estudiadas.

Table 4. Fractioning values of organic matter of the studied amendments.

Enmienda	CAH ¹ (%)	CAF (%)	CSNH (%)	IH	GH (%)	RH (%)	CAH/CAF
Estiércol de Vacuno	0,88	0,14	0,31	0,31	76,56	5,60	6,30
Estiércol de Caprino	0,43	0,10	0,19	0,36	73,54	2,08	4,30
Gallinaza Lara	2,93	0,22	3,08	0,98	50,52	14,17	13,57
Gallinaza Mérida	0,23	0,34	0,22	0,38	72,20	3,42	0,70
Vermicompost ULA	1,23	0,05	0,13	0,10	91,11	6,28	24,60
Vermicompost Zea	1,66	0,25	0,28	0,15	87,33	7,30	6,60
Cachaza	0,27	0,21	0,22	0,46	68,55	2,37	1,30
Lodo	0,22	0,25	0,32	0,68	59,75	2,47	1,90

¹CAH= carbono en ácidos húmicos, CAF= carbono en ácidos fúlvicos, CSNH= carbono en sustancias no húmicas, IH= índice de humificación, GH= grado de humificación, RH= relación de humificación.

da concentración de CAF y el mayor nivel de CSNH, por lo que presenta un GH de sólo 50,52%, lo que indica que el proceso de maduración de ésta aun no ha finalizado (Ciavatta *et al.*, 1990 y Ciavatta y Govi, 1993). Características similares presenta el lodo, el cual contiene cantidades similares de CAH y CAF, por lo que requiere que se degraden buena parte del CSNH para formar compuestos orgánicos estables y así aumentar el GH y por consiguiente reducir el IH, resultados similares obtienen Baffi *et al.* (2007) al evaluar compost de diferente naturaleza y procesos de elaboración.

Por otra parte, el VU presenta la menor cantidad de CAF y CSNH, así como también una concentración importante de CAH, particularidad típica de enmiendas maduras (Govi *et al.*, 1993), lo que se relaciona con el alto GH. Un comportamiento semejante presentó el VZ seguido del EV, el CH y la GM.

Además, la cachaza presenta niveles similares entre sí de CAF, CAH y CSNH y un GH de 68,55%, debido a que existe una cantidad significativa de compuestos difícilmente oxidables, lo que se demuestra con una RH baja (Ciavatta *et al.*, 1991 y Ciavatta y Govi, 1993).

El valor de IH obtenido para el estiércol de ganado vacuno es congruente con el IH de 0,32 establecido por Sequi *et al.* (1986) para este tipo de materiales. Del mismo modo, con los resultados señalados por Ciavatta *et al.* (1990) quienes indicaron un IH para estiércol de ganado maduro de 0,32; GH de 76% y RH igual a 8%. Esto permite inferir que el EV analizado presenta las características de un

inferir que el analizado EV presenta las características de un ripened organic material.

Therefore, the indexes or parameters directly related to the measurement of the content (or absence) of organic matter easily degradable in the studied amendments, can be used to evaluate the biologic stability.

Based on the researches carried out by Ciavatta *et al.*, (1993), the results obtained mention that the less steady amendments in crescent order are: GL<L<C, while the steadiest are VU and VZ, EV and CH and GM, these results agree with those mentioned before for the production of CO₂. Thus, the chemical methods of the analysis previously used, can be useful to measure the biologic stability of the organic amendments, as long as the results are employed correctly.

Conclusions

Considering the mineralization process of carbon, vermicompost ZEA and ULA are steadier than sludge, and this at the same time presents higher stability than mud. On the other side, the less steady organic amendments are cattle beef dung, by its raw material, followed by manure Lara, goat dung and manure Mérida (higher in detachment of C-CO₂, due to its high content in C, easily degradable); results that agree to those obtained in the fractioning of the organic matter, as indicates its humification degree. The most recalcitrant amendments are manure Mérida, maybe due to its high content of rice peel, and vermicompost Zea and sludge.

material orgánico maduro.

Por lo tanto, los índices o parámetros directamente relacionados con la medición del contenido (o ausencia) de materia orgánica fácilmente degradable en las enmiendas estudiadas se pueden utilizar para evaluar su estabilidad biológica.

Afianzados en las investigaciones trabajos de Ciavatta *et al.* (1993) los resultados obtenidos se plantea que las enmiendas más inestables en orden creciente son: $GL < L < C$, mientras que las más estables son: los VU y VZ, los EV y CH y GM, estos resultados coinciden además con los expuestos anteriormente para la producción de CO_2 . De aquí que los métodos químicos de análisis antes utilizados, pueden ser útiles para medir la estabilidad biológica de las enmiendas orgánicas, siempre que los resultados se empleen correctamente.

Conclusiones

Considerando el proceso de mineralización del carbono, los vermicompost Zea y ULA son más estables que la cachaza y ésta a su vez presenta mayor estabilidad que el lodo. Por otra parte, las enmiendas orgánicas menos estables son el estiércol de vacuno por su carácter de material crudo seguido de la gallinaza Lara, el estiércol de caprino y la gallinaza Mérida (mayor desprendimiento de $C-CO_2$, debido a su alto contenido en C fácilmente degradable). Resultados que coinciden con los obtenidos en el fraccionamiento de la materia orgánica, como indica su grado de humificación. Las enmiendas más recalcitrantes son la gallinaza Mérida

The differences in ripening and stability of the studied amendments, especially in similar materials, are due to the type of alimentation and handle in the case of sludge and in a lower proportion, in vermicompost, which affect the chemical characteristics of the product obtained.

Sludge might be used in soils with low C/N relation, while, vermicompost ULA and ZEA can be incorporated in soils with agriculture purposes, without any prior treatment. Beef cattle and goat dung, manures Mérida and Lara, and mud, require finishing their stabilization process before incorporating them to the soil.

The combination of the microbial breathing with the humification parameters, allow determining the biological stability and ripening of the organic amendments. It is not possible that one parameter only describes the behavior of the labile fraction of the organic amendments. It is required to continue carrying out the necessary researches that allow including some variables that could be used as routine tests in quality-controlled laboratories with high accuracy and exactness.

End of english version

posiblemente por su alto contenido de concha de arroz, el vermicompost Zea y la cachaza.

Las diferencias en la madurez y estabilidad de las enmiendas estudiadas, especialmente en materiales similares se deben al tipo de alimentación y manejo en el caso de las gallinazas y en menor proporción en los

vermicompost, lo que afecta las características químicas del producto obtenido.

La cachaza podría ser usada en suelos con baja relación C/N, mientras que los vermicompost ULA y Zea, pueden incorporarse en suelos con fines agrícolas sin tratamiento previo. Tanto los estiércoles de caprino y vacuno, las gallinazas Mérida y Lara y el lodo, requieren finalizar su proceso de estabilización antes de ser incorporados al suelo.

La combinación de la respiración microbiana con los parámetros de humificación, permiten determinar la estabilidad biológica y la madurez de las enmiendas orgánicas. No es posible que un solo parámetro describa el comportamiento de la fracción lábil de las enmiendas orgánicas. Se requiere continuar con las investigaciones necesarias que permitan incluir ciertas variables que pueden ser utilizadas como pruebas de rutina en laboratorios de control de calidad con alta precisión y exactitud.

Literatura citada

Acosta, Y., J. Paolini, S. Flores, Z. Benzo, M. ElZauahre, L. Toyo y A. Senior. 2003. Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza. *Multiciencias*. 3(1): 51-60.

Acosta, Y., J. Paolini, y E. Benites. 2004. Índice de humificación y prueba de toxicidad en residuos orgánicos de uso agrícola potencial. *Rev. Fac. Agron.* 21(4): 185-194.

Adani, F., R. Confalonieri y F. Tambone. 2004. Dynamic respiration index as descriptor of the biological stability of organic wastes. *Journal of Environmental Quality*, 33: 1866-1876.

Álvarez, R. y C.R. Álvarez. 2000. Soil organic matter pools and their associations with carbon mineralization kinetics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 184-189.

Anderson, J. 1982. Soil respiration. p. 831-871. En: Miller, R. y Kenny, D. (Eds.). Second edition. *Methods and soil analysis. Chemicals and microbiological properties. Part 2.* Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy Madison, Wisconsin, USA.

Anderson, J. 1984. Herbicide degradation in soil: influence of microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 16: 483-489.

Anderson, J.M. y J.S.I. Ingram. 1993. *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods.* Second Edition. CAB International. Wallingford, UK. 62 p.

Añez, R.B. 1979. El uso del estiércol en Los Andes. Monografía. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (I.I.A.P.). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 14 p.

Axmann, H., A. Sebastianelli y J.L. Arrillaga. 1990. Sample preparation techniques of biological materials for isotopes analysis. p 51-59. En: G. Hardarson (Ed.). *Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationships.* International Atomic Energy Agency (OIEA). Viena, Austria.

Baffi, C., M.T. Dell'Abate, A. Nassisi, S. Silva, A. Benedetti, P.L. Genevini y F. Adani. 2007. Determination of biological stability in compost: A comparison of methodologies. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(6): 1284-1293.

Benito, M., A. Masaguer, A. Moliner, N. Arrigo y R.M. Palma. 2003. Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biol. Fertil. Soils* 37: 184-189

Ciavatta, C., M. Govi, A.L. Vittori y P. Sequi. 1990. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polivinylpyrrolidone. *J. Chromatography* 509: 141-146.

- Ciavatta, C., A.L. Vittori y P. Sequi. 1991. En: Allard, B., Boren, H. y Grimval, A. (Eds.). Humic substances in the aquatic and terrestrial environment. Humification parameters of organic materials applied of soil. Lectures notes in Earth Sciences. Springer Verlag, Berlin. 514 p.
- Ciavatta, C. y M. Govi. 1993. Use of insoluble polyvinylpyrrolidone and isoelectric focusing in the study of humic substances in soils and organic waste. *J. Chromatography* 643: 261-270.
- Ciavatta, C., M. Govi, L. Pasotti y P. Sequi. 1993. Changes in organic matter during stabilization of compost from municipal solid wastes. *Bioresource Technology* 43: 141-145.
- Contreras, F., J. Paolini y C. Rivero. 2004. El uso de enmiendas orgánicas y su efecto sobre la actividad de deshidrogenasa y mineralización del carbono en suelos. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 30: 95-107.
- Contreras, F., J. Paolini y C. Rivero. 2005. Efecto de la adición de enmiendas orgánicas sobre la actividad de las enzimas de la fosfomonoesterasa ácida y arilsulfatasa en suelos del municipio Rivas Dávila (estado Mérida). *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 31:53-66.
- Comité Técnico de Normalización Nacional de Productos Agrícolas y Pecuarios, (CTNNPAP). 2007. Vermicompost (worm casting) Specifications and Test Methods. NMX-FF-109-SCFI-2007. http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/info/comp/it/normas/noti/PROY_NMX_HUMUS_24072007_DGN.pdf
- Dell'Abate, M.T., A. Benedetti y P. Sequi. 2000. Thermal methods of organic matter maturation monitoring during a composting process. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 61, 389-396.
- Delphin, J. 1988. Utilisation de cinétique du premier ordre en vue de caractériser la mineralisation de quelques sols agricoles. *Agronomie*. 8: 289-294.
- Fernández, I., A. Cabaneiro y T. Carballas. 1997. Organic matter changes immediately after a wild fire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory and soil heating. *Soil Biol. Biochem.* 29(1): 1-11.
- García, C., T. Hernández, J. A. Pascual, J.L. Moreno y M. Ros. 2000. Actividad microbiana en suelos del sureste español sometidos a procesos de degradación y desertificación. Estrategias para su rehabilitación. p. 43-143. En: C. García y M. T. Hernández. (Eds.). Investigación y perspectivas de la enzimología de suelos en España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura.
- Goví, M., C. Ciavatta y C. Gessa. 1993. Evolution of organic matter in sewage sludge: a study based on the use of humification parameters and analytical electrofocusing. *Bioresource Technology* 44: 175-180.
- Goví, M. C. Ciavatta, L. Sitti y C. Gessa. 1995. Evaluation of the stabilization level of pig organic waste: influence of humic-like compounds. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26 (3 y 4): 425-439.
- Graph Pad Prism. 1994. Versión 2.0 Software Inc. Todos los derechos reservados.
- Hernández, J., L. Mármol, F. Guerrero, E. Salas, J. Bárcenas, V. Polo y C. Colmenares. 2010. Caracterización química, según granulometría, de dos vermicompost derivados de estiércol bovino puro y mezclado con residuos de fruto de la palma aceitera. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 27(4): 491-520
- Kirchmann, H. y M.P. Bernal. 1997. Organic waste treatment and C stabilization efficiency. *Soil Biol. Biochem.* 29 (11/12): 1747-1753.
- Larrahondo, A.J.E. 2009. Fuentes orgánicas de nutrimentos. La cachaza. Caracterización y producción. En: Tecnicaña, Memorias Seminario Internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar. Convenio Especial de Cooperación Sena – Asocaña Cali, Colombia, 55-68.
- López, M., O. Huerta-Pujol, FX. Martínez-Farré y M. Soliva. 2010. Approaching compost stability from Klason lignin modified method: Chemical Stability

- Degree for OM and N quality assessment. Resources, Conservation and Recycling, 55: 171-181.
- Muñoz, A.F. 2009. Los residuos de la caña de azúcar. En: Tecnicaña, Memorias Seminario Internacional de Fertilización y Nutrición de la Caña de Azúcar. Convenio Especial de Cooperación Sena – Asocaña Cali, Colombia, 19-20.
- Pascual, J. 1996. Efectividad de los residuos orgánicos en la mejora de la calidad de los suelos áridos: Aspectos biológicos y bioquímicos. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. España. 428 p.
- Pérez, A., C. Céspedes y P. Núñez. 2008. Caracterización física-química y biológica de Enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. J. Soil Sc. Plant Nutr. 8(4): 10-29.
- Quiroz, G.I. 2010. Percepción y actitud de productores cañeros sobre el uso de la composta de cachaza y vinaza en la zona de Abasto del Ingenio La Gloria, Veracruz, México. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Colegio de postgraduados. Tesis de Maestría. Veracruz, México. 114 p.
- Rivero, C. y C. Carracedo. 1999. Efecto del uso de gallinaza sobre algunos parámetros de fertilidad química de dos suelos de pH contrastante. Rev. Fac. Agron. (Maracay) 25: 83-93.
- Senesi, N. 1989. Composted materials as organic fertilizers. Sci. Tot. Environ. 81-82: 521-542.
- Sequi, P., M. De Nobili, L. Leita y G. Cercinani. 1986A new index of humification. Agrochimica 30 (1-2): 175-179.
- Simms, J.R. y V.A. Haby. 1971. Simplified colorimetric determination of carbon soil organic matter. Soil Sci. 112: 137-141.
- Stotzky, G. 1965. Microbial respiration. p. 1550-1572. En: Black, C. A., D. D. Evans, J.L. White, I.E. Ensminger, y F.E. Clark, (Eds.). Part 2. Methods of Soil Analysis. Agronomy 9. American Society of Agronomy, Madison.
- Tazabekov, T., N. Rubinsthey y T. Tazabekova. 1986. Biological activity of soils in the Trans-Ili Alatau. Sov. Soil Sci. 13 (3): 45-51.
- Tiunov, A.V. y S. Scheu. 2000. Microbial biomass, biovolume and respiration in *Lumbricusterrestris* L. cast material of different age. Soil Biol. Biochem. 32: 265-275.
- Tognetti, C., M.J. Mazzarino y F. Laos. 2007. Improving the quality of municipal organic waste compost. Bioresource Technol, 98:1067-1076.
- Tomati, U., E. Madejon y E. Galli. 2000. Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability. Compost Sci Util, 8:108-115.
- Venegas, G.J., C.J. Lenom, S.A. Trinidad, R.F. Gavi, y G.P. Sánchez. 2005. Análisis químico de compost y efecto de su adición sobre la producción de biomasa en zarzamora. TERRA Latinoamericana. 23(3): 285-292.
- Wagland, S.T., S.F. Tyrrel, A.R. Godley y R. Smith. 2009. Test methods to aid in the evaluation of the diversion of biodegradable municipal waste (BMW) from landfill. Waste Manage, 29:1218-1226.
- Walkley, A. y Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil. Sci. 37: 29-38.
- Wu, L. y L.Q. Ma. 2002. Relationship between compost stability and extractable organic carbon. J. Environ. Qual. 31: 1323-1328.
- Zérega, L. y M. Adams. 1991. Efectos de la cachaza y el azufre sobre un suelo salino-sódico del estado Carabobo bajo condiciones de invernadero. Rev. Caña de Azúcar 9 (2): 110-126.