

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE VERMICOMPOST EN LAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE UN SUELO SALINO-SÓDICO DEL SEMIÁRIDO VENEZOLANO

José Pastor Mogollón¹, Alicia Martínez² y Duilio Torres³

RESUMEN

Los suelos con degradación química están ampliamente distribuidos en el mundo, y su recuperación puede basarse en la aplicación de enmiendas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de un vermicompost sobre las propiedades biológicas de un suelo salino-sódico en el sector El Cebollal, Coro, Venezuela. Se realizó un experimento para comparar diferentes dosis de vermicompost empleando los siguientes cuatro tratamientos: un testigo sin vermicompost (T1); 1 % de vermicompost (T2); 5 % de vermicompost (T3) y 10 % de vermicompost (T4), los cuales fueron sometidos a incubación por 28 días. Las mediciones se realizaron a los 7, 14, 21, y 28 días y en cada una se evaluaron las variables de carbono orgánico (CO), carbono de la biomasa microbiana (C-BM), actividad ureásica (AU) e índice de carbono disponible (C-BM/CO*100). El CO aumentó en todos los tratamientos con vermicompost, con los valores más altos en el T4 (6,7 g·kg⁻¹) y los más bajos en el testigo (2,5 g·kg⁻¹). Asimismo, el C-BM resultó con incrementos significativos, presentando los mayores valores en el T4 (612,5 µg·g⁻¹) y los menores en el testigo (36,4 µg·g⁻¹). La AU aumentó significativamente con la adición del vermicompost. A los 28 días de incubación se encontraron valores de 67,8 µg NH₄⁺·g⁻¹ para T4, lo cual representa un incremento de seis veces respecto al tratamiento testigo. La adición de vermicompost demostró ser una buena estrategia para la recuperación biológica de suelos salino-sódicos.

Palabras clave adicionales: Actividad enzimática, biomasa microbiana, recuperación de suelo, salinidad

ABSTRACT

Effect of vermicompost on the biological properties of a saline-sodic soil in a semi-arid region of Venezuela

Chemical degradation of soils are widely distributed in the world, and their recovery can be based on application of amendments. The objective of this research was to evaluate the effect of vermicompost on the biological properties of a saline-sodic soil in the locality El Cebollal, in Coro, Venezuela. An experiment was performed to compare different doses of vermicompost using the following four treatments: (T1) a control, without vermicompost; (T2) 1 % vermicompost; (T3) 5 % vermicompost, and (T4) 10 % vermicompost. An incubation period of 28 days was applied, with measurements at 7, 14, 21, and 28 days. In each date the organic carbon (OC), microbial biomass carbon (MBC), urease activity (UA), and the index of available carbon (MBC/OC * 100) were evaluated. The OC increased in all vermicompost treatments, with the highest values in T4 (6.7 g·kg⁻¹) and the lowest in the control (2.5 g·kg⁻¹). Likewise, the MBC resulted in a significant increase, being the highest also in T4 (612.5 µg·g⁻¹) and the lowest in the control (36.4 µg·g⁻¹). The UA increased significantly with the addition of vermicompost. After 28 days of incubation we found values for NH₄⁺ of 67.8 mg·g⁻¹ in T4, which represents a six-fold increase as compared to the control treatment. The addition of vermicompost proved to be a good strategy for biological recovery of saline-sodic soils.

Additional key words: Enzyme activity, microbial biomass, salinity, soil recovery

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la agricultura en los últimos años ha estado condicionado por una producción cada vez más intensa, con el uso indiscriminado de fertilizantes, plaguicidas, además de prácticas

de manejo que han propiciado pérdida de la fertilidad, la erosión y contaminación del suelo (Mogollón et al., 2014). Una de las formas de contaminación dentro del ámbito de los suelos tiene que ver con procesos de empobrecimiento asociados a la salinización y sodificación, lo cual

Recibido: Abril 13, 2015

Aceptado: Noviembre 2, 2015

¹ Dpto. de Ambiente y Tecnología Agrícola, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Coro, Venezuela. e-mail: jmogollon15@gmail.com

² Dpto. de Química, Universidad Politécnica Territorial de Falcón "Alonso Gamero". Coro, Venezuela.

³ Dpto. de Química y Suelos, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto, Venezuela.

consiste en la acumulación de sales en la capa arable del suelo que causan efectos negativos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo (Mogollón et al., 2010). Las áreas de suelo degradadas por problemas de sales y sodio están ampliamente distribuidas en el mundo, pero cobran mayor importancia, las ubicadas en las zonas áridas y semiáridas que se han abierto a la agricultura intensiva. En estos términos, se puede indicar que en la zona semiárida del estado Falcón, viene ocurriendo un proceso de degradación continua de la tierra, debido a la predominancia de sistemas agrícolas inapropiados, lo que ha traído consigo problemas de salinización del suelo.

Una de las zonas agrícolas más afectadas por este tipo de degradación química, es el sector conocido como El Cebollal de Coro, que durante la década de 1970 ubicó a Falcón dentro de los tres principales estados productores de hortalizas de pisos bajos a nivel nacional, con rendimientos superiores al promedio nacional (Rodríguez et al., 2009).

Una de las alternativas para la recuperación de suelos salinizados está basada en la evaluación de enmiendas y abonos orgánicos como remediadores de la salinidad. En suelos agrícolas salinizados, la utilización del vermicompost como una enmienda orgánica podría ayudar a reducir algunos problemas asociados con el uso de fertilizantes inorgánicos tradicionales, tales como las pérdidas excesivas de nutrientes por lavado, además del estrés a las plantas inducido por la salinidad del suelo (Saranraj y Stella, 2012).

La recuperación y mejora en las propiedades químicas y biológicas de los suelos degradados en zonas semiáridas con la aplicación de enmiendas orgánicas como el vermicompost, está relacionada a la regeneración de los ciclos de los nutrientes (Clark et al., 2007). El aumento de la calidad y el valor de la producción agrícola con la aplicación de vermicompost se suele medir en términos de su contribución al suministro de nutrientes y la fertilidad del mismo. Sin embargo, también pueden tener efectos significativos en las propiedades microbiológicas y químicas del suelo, que han sido indirectamente responsables del mejoramiento y del crecimiento de los cultivos (Hernández-Araujo et al., 2013), y de la biorrecuperación de los suelos contaminados

(Park et al., 2011).

El trabajo planteado tuvo como objetivo determinar el efecto de la incorporación de un vermicompost sobre el carbono orgánico, y la actividad biológica del suelo, evaluada a través del carbono de la biomasa microbiana, la actividad ureásica y el índice del carbono potencialmente disponible como sustrato, en un suelo salino-sódico, en condiciones controladas de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio es conocida como “El Cebollal” y comprende una superficie de 5.386 ha. Políticamente se ubica en las parroquias Santa Ana y San Antonio del municipio autónomo Miranda, en el estado Falcón, al Norte de la ciudad de Coro, en Venezuela. El área seleccionada para el estudio presenta las condiciones climáticas propias de las regiones costeras semiáridas del país, incluidas en la formación Monte Espinoso Tropical (Ewel et al., 1976). El clima se caracteriza por presentar temperaturas relativamente altas durante casi todo el año, bajas precipitaciones concentradas en los últimos meses del año y evapotranspiración potencial anual que supera de 4-8 veces la precipitación.

Se seleccionaron suelos pertenecientes a la serie El Jebe, la cual está conformada por aproximadamente 500 ha y clasificada como Typic Haplargids, de textura predominantemente arcillosa y altos contenidos de sales (Rodríguez et al., 2009). Las muestras de suelo fueron tomadas en la finca Los Hurtado, específicamente en las coordenadas 11°21'57" N y 69°46'14" W. Se seleccionó un lote de aproximadamente 1 ha y se realizó un muestreo aleatorizado para tomar 15 muestras alteradas de suelo a una profundidad de 0-20 cm; posteriormente se conformó una muestra compuesta de aproximadamente 50 kg de suelo que fueron transportados al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, en Coro. El suelo fue tamizado por una malla de 2 mm de diámetro y conservado en refrigeración (4 °C) hasta la puesta en marcha de los ensayos de incubación.

El vermicompost evaluado fue elaborado por la lombriz roja californiana utilizando un sustrato consistente de restos de alimentos, broza del café, pseudotallos de plátano y estiércol equino, los

cuales fueron previamente precompostados en una pila durante 20 días, y luego sometidos al vermicompostaje durante 60 días.

Se estableció un diseño completamente aleatorio en el que se evaluaron 4 tratamientos con 12 repeticiones; la unidad experimental constó de un recipiente de plástico de 250 mL de capacidad, que contenía 100 g de la mezcla suelo:vermicompost. Estos recipientes fueron colocados en una incubadora con capacidad de 45 L, a temperatura constante de 28 °C y un nivel de humedad ajustado a 80 % de la capacidad de campo de la mezcla. Para asegurar esta condición, las unidades experimentales fueron pesadas cada cuatro días para reponer el peso perdido a través de la aplicación de agua destilada. Los tratamientos fueron diseñados de acuerdo a lo planteado por Albiach et al. (2000), para lo cual fueron diseñadas tres dosis, más el tratamiento testigo (sin vermicompost). Las dosis evaluadas fueron 1 %, 5 % y 10 % de vermicompost, en peso.

La incubación de los tratamientos se ejecutó por un período de 28 días, realizando durante este tiempo un total de 4 mediciones, las cuales se hicieron a los 7, 14, 21 y 28 días desde el inicio del experimento. En cada fecha de medición fueron extraídas tres unidades experimentales de cada tratamiento para realizar la determinación de cada una de las variables seleccionadas para el estudio.

El carbono orgánico (CO) se analizó por el método de combustión húmeda interna. El carbono de la biomasa microbiana (C-BM) se determinó por el método de la respiración inducida por sustrato (Anderson y Domsch, 1978) que consiste en la estimulación de la respiración de los microorganismos del suelo adicionando a este medio un sustrato fácilmente degradable como la glucosa. El CO₂ producido durante la incubación del suelo con el sustrato en un sistema cerrado se captura en un vial con solución de NaOH, la cual es titulada posteriormente con HCl. La actividad ureásica del suelo (AU) se determinó de acuerdo al método propuesto por Kandeler y Gerber (1988), el cual se basa en la determinación del amonio liberado a partir de una solución de urea por la actividad ureásica del suelo cuando se incuba éste por 2 horas a 37 °C. Se determina por espectrofotometría visible a una longitud de onda de 690 nm. Adicionalmente se calculó el índice

microbiano del suelo que consiste en la relación entre el C-BM y el CO del suelo. La relación C-BM/CO*100 ha sido propuesta como un indicador del carbono potencialmente disponible permitiendo comparar el estado y modificaciones de la materia orgánica del suelo (Bauhus et al., 1998).

Para la comparación de los resultados obtenidos se realizó un análisis de la varianza y prueba de medias de Tukey. Asimismo se realizaron análisis de correlación entre el carbono orgánico y la actividad biológica. Todas las pruebas fueron realizadas utilizando el paquete estadístico Infostat versión 1 (Univ. Córdoba, Argentina).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los valores promedio de las propiedades del vermicompost y del suelo utilizado. El suelo mostró un pH de 8,30 y conductividad eléctrica (CE) de 3,48 dS·m⁻¹, lo cual junto al alto valor del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de 66,2 permiten clasificarlo como un suelo salino-sódico. Según Fuentes (1999), este tipo de suelo presenta valores de CE (en relación suelo:agua 1:2) mayores a 1,6 dS·m⁻¹ y PSI mayor a 15.

Cuadro 1. Caracterización física y química del suelo y del vermicompost utilizado

Parámetros	Suelo	Vermicompost
pH	8,30	6,80
Conductividad eléctrica (dS·m ⁻¹) (1:2)	3,43	0,48
Materia orgánica (g·kg ⁻¹)	3,0	325,0
Carbono orgánico (g·kg ⁻¹)	2,50	188,50
N total (g·kg ⁻¹)	0,20	17,50
Relación C/N	12,50	10,77
Ca ²⁺ (cmol ₊ ·kg ⁻¹)	1,18	62,50
Mg ²⁺ (cmol ₊ ·kg ⁻¹)	0,25	54,25
K ⁺ (cmol ₊ ·kg ⁻¹)	0,28	12,86
Na ⁺ (cmol ₊ ·kg ⁻¹)	3,35	4,50
CIC (cmol ₊ ·kg ⁻¹)	5,06	134,11
Sodio intercambiable (%)	66,21	3,35
Arena (%)	34	-
Arcilla (%)	42	-
Limo (%)	24	-
Densidad aparente	1,56	0,65

Los altos valores de sodicidad encontrados en este suelo pueden estar relacionados al uso predominante de la tierra asociado al cultivo de

melón bajo un manejo convencional (fertilización química, excesiva mecanización y utilización de agua de riego con altos tenores de salinidad), lo cual ha sido indicado por Rodríguez et al. (2009), como la situación que ha propiciado procesos de degradación física (compactación, pérdida de la estructura del suelo, formación de costras y sellos) y química (salinización) en suelos del Cebollal de Coro.

Con respecto al contenido de CO los suelos evaluados presentan valores muy bajos ($2,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), lo cual es típico de suelos bajo condiciones semiáridas; estos valores están por debajo, incluso de suelos de la Península de Paraguaná, en el estado Falcón, para los que Acosta et al. (2008) reportaron valores de $6,40 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de CO. Las causas por las cuales existen valores bajos de carbono en estos suelos se asocian principalmente a que la tasa de mineralización del CO es muy intensa debido a las condiciones climáticas imperantes, y al mismo tiempo, a que los aportes son bajos, debido a la poca cobertura vegetal en estas zonas; como consecuencia, su fijación en formas estables es reducida, provocando el agotamiento de los suelos, y por lo tanto su desertificación, y/o degradación biológica (Martínez et al., 2009).

El contenido de nitrógeno total del suelo estudiado ($0,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) se encuentra entre los valores obtenidos para las regiones semiáridas, los cuales son también bastante bajos. En las regiones áridas y semiáridas, el N y la disponibilidad de agua son los factores más limitantes para la productividad de los suelos (Zhang y Zak, 1998).

Para el caso del vermicompost utilizado como enmienda, los valores de pH (6,80) y CE ($0,48 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) demuestran que se trata de un compuesto orgánico de reacción neutra, y no salino (Cuadro 1). Este valor de pH está documentado como esperado para abonos orgánicos estabilizados y maduros (Durán y Henríquez, 2010). Por otra parte, el bajo valor de CE no representaría riesgo para la salinización del suelo.

En la mayoría de los casos reportados en la literatura se observan valores altos de CE en abonos orgánicos tipo vermicompost (Romaniuk et al., 2011; Arumugam et al., 2013). Sin embargo, algunos autores mencionan que las propiedades químicas, y entre ellas el pH y la CE del vermicompost pueden variar mucho entre sí, y esto se debe a los tipos de desecho utilizados, las

proporciones de cada uno, el estado de descomposición de estos materiales, las condiciones en las cuales se lleva el proceso de vermicompostaje, y las condiciones de almacenamiento (Hidalgo et al., 2009). Es importante destacar que la CE del sustrato que sirve de alimento a las lombrices en el proceso de vermicompostaje podría afectar su metabolismo y, a la vez, se podría traducir en un compost con alto tenor salino (Hernández-Araujo et al., 2011).

El valor de carbono orgánico del vermicompost fue de $188,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, el cual estuvo dentro del rango reportado para carbono orgánico en este tipo de abonos, que se señala entre $144\text{-}416 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Adhikary, 2012; Chattopadhyay, 2012). El vermicompost evaluado, presentó una relación C/N de 10,77, lo cual podría interpretarse como un compost estable y maduro, ya que según algunos autores (Castillo et al., 2010; Acosta et al., 2004) cumple con la premisa de valores de relación C/N cercanos a 15. La relación C/N proporciona una estimación directa de las fracciones biológicamente degradables de C y N en los sustratos orgánicos (Defrieri et al., 2005) y también se utiliza como índice de la velocidad de descomposición del sustrato y la posterior mineralización de sus nutrientes (De la Cruz et al., 2010).

Efecto sobre el carbono orgánico del suelo. En el Cuadro 2 se observan los valores del CO del suelo, luego de la aplicación de los diferentes tratamientos evaluados. Como era de esperar, el CO aumentó con el incremento de la dosis de vermicompost adicionada. Se encontró que no hubo diferencias estadísticamente significativas dentro de cada uno de los tratamientos, en las diferentes fechas de medición. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas ($P\leq 0,05$) entre los diferentes tratamientos en las cuatro fechas de medición. Los valores más altos del CO se encontraron en los suelos tratados con 10 % de vermicompost (T4) a los 28 días de la prueba de incubación, con un valor de $6,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. En este sentido, el porcentaje de CO se incrementó en 168 %, considerando que el valor inicial del carbono orgánico del suelo fue de $2,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Hay que considerar que en los suelos afectados por sales, los niveles de carbono orgánico son generalmente bajos, como resultado del crecimiento pobre de las plantas; además, la descomposición de la materia orgánica del suelo

puede verse afectada negativamente por la salinidad (Setia et al., 2011). Por otra parte, Matson et al. (1997) indican que los valores bajos de CO del suelo en zonas semiáridas, luego de la puesta en cultivo de un suelo natural se debe principalmente al laboreo que rompe macroagregados y expone la materia orgánica a la actividad microbiana, incorpora residuos de cultivo al interior del suelo y aumenta la susceptibilidad del suelo a la erosión. En tal sentido, en otro estudio realizado en la misma zona semiárida del estado Falcón se encontró que

el incremento en los contenidos de materia orgánica producto de los aportes de la vegetación natural ayudaron a prevenir la degradación física del suelo (Reyes, 2014).

En el presente estudio se plantea el desarrollo e implementación de estrategias que permitan incrementar el ingreso de carbono al suelo en zonas semiáridas lo cual podría coadyuvar en los procesos de recuperación de suelos degradados (Joosten, 2015). La utilización de material vermicompostado representa una alternativa para secuestrar carbono en los suelos (Adani et al., 2006).

Cuadro 2. Efecto de la concentración de vermicompost sobre el carbono orgánico del suelo ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Tratamientos de vermicompost	Fechas de medición			
	7 días	14 días	21 días	28 días
T1 (0 %, testigo)	2,1 (0,2) Aa	2,0 (0,1) Aa	1,9 (0,01) Aa	1,9 (0,1) Aa
T2 (1 %)	3,1 (0,1) Ba	3,1 (0,2) Ba	3,3 (0,03) Ba	3,5 (0,1) Ba
T3 (5 %)	4,5 (0,5) Ca	5,2 (0,3) Ca	4,8 (0,08) Ca	5,0 (0,2) Ca
T4 (10 %)	6,9 (0,3) Da	6,6 (0,7) Da	6,5 (0,06) Da	6,7 (0,5) Da

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias entre tratamientos por fecha de medición y letras minúsculas distintas indican diferencias para un mismo tratamiento durante la incubación, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

El vermicompost presenta un tipo de materia orgánica que contiene una fracción estable que favorece la mineralización de la MOS, suministra nutrientes al suelo y permite la acumulación de carbono en el suelo a través de su incorporación en las sustancias húmicas del suelo (Contreras et al., 2014). La adición de enmiendas orgánicas tipo vermicompost demostró ser una buena estrategia para la recuperación, desde el punto de vista de fijar la mayor cantidad posible de carbono en estos suelos con bajos niveles de materia orgánica.

Efecto sobre el carbono de la biomasa microbiana del suelo. En el Cuadro 3 se observan los valores del carbono de la biomasa microbiana. Se encontró un incremento estadísticamente significativo en todos los tratamientos a partir de los 7 días, incluyendo el tratamiento testigo (T1), lo cual indica que hubo un incremento de la biomasa microbiana nativa. Igualmente, para cada fecha de medición se encontraron diferencias estadísticamente significativas, y los incrementos en el carbono de la biomasa microbiana fueron mayores en la medida que la dosis de vermicompost aumentó. A los 28 días de incubación, los valores más bajos se registraron en el tratamiento testigo ($36,43 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) y los más

altos en el tratamiento con 10 % de vermicompost ($612,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) lo cual indica que hubo un incremento de unas 17 veces el C-BM. Similares resultados se han encontrado en otras investigaciones (Matheus et al., 2007), cuyos autores indican el efecto positivo que tiene el vermicompost en el incremento del C-BM del suelo.

Este mayor incremento del C-BM se atribuye principalmente a la alta cantidad de microorganismos que existen en el vermicompost, que generan una mayor tasa de respiración microbiana (partiendo del hecho que el C-BM se determinó en base al método de respiración inducida por sustrato). Algunos autores señalan que el vermicompost tiene una gran cantidad de carbono lábil retenido en las células de los microorganismos, y cuando mueren estos microorganismos, se incrementa la tasa de respiración del suelo, y por lo tanto mejora la fertilidad del suelo (Ngo et al., 2014). Todo esto revela una mayor actividad microbiana en los suelos donde se evidencia una biomasa microbiana más alta. El uso de enmiendas orgánicas constituye una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados. La adición de

vermicompost incrementa la actividad y cantidad de la biomasa microbiana del suelo; en suelos agrícolas este incremento puede ir de 100 a

600 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Tejada et al., 2010), lo cual se corresponde a los valores obtenidos en este trabajo para la dosis más alta evaluada.

Cuadro 3. Efecto de la concentración de vermicompost sobre la biomasa microbiana del suelo ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

Tratamientos de vermicompost	Fechas de medición							
	7 días		14 días		21 días		28 días	
T1 (0 %, testigo)	32,71 (2,24)	Dc	31,93 (1,55)	Dc	34,00 (0,80)	Db	36,43 (0,79)	Da
T2 (1 %)	60,33 (5,00)	Cd	70,83 (5,51)	Cc	86,17 (5,34)	Cb	97,53 (2,39)	Ca
T3 (5 %)	116,17 (3,81)	Bd	239,57(5,61)	Bc	268,30 (15,46)	Bb	437,50 (15,52)	Ba
T4 (10 %)	282,67 (14,64)	Ad	473,33 (26,39)	Ac	573,40 (24,70)	Ab	612,52 (11,56)	Aa

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias entre tratamientos por fecha de medición y letras minúsculas distintas indican diferencias para un mismo tratamiento durante la incubación, según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

Efecto sobre la actividad ureásica del suelo. En el Cuadro 4 se pueden ver los valores de la actividad ureásica (AU) del suelo. Se encontró un incremento estadísticamente significativo en todos los tratamientos a partir de los 7 días, excluyendo el tratamiento testigo (T1). Igualmente, para cada fecha de medición se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, el tratamiento T2 (1 % vermicompost) no se diferenció de T1 sino hasta los 21 días de iniciada la incubación del suelo. Se encontraron los valores más altos de actividad ureasa en el tratamiento T4 al cabo de los 28 días de incubación del suelo con el vermicompost, encontrándose un incremento en la actividad enzimática de aproximadamente seis veces, con respecto a los valores de la AU del suelo sin enmendar.

Se ha reportado en la literatura el efecto de la aplicación de vermicompost sobre la actividad enzimática del suelo (Contreras et al., 2002;

Mogollón et al., 2001), lo cual pone en evidencia el efecto positivo de la incorporación de enmiendas orgánicas sobre la actividad biológica del suelo, particularmente en los suelos de zonas áridas con bajos niveles de materia orgánica. El incremento de la actividad ureásica observado como consecuencia de la adición del vermicompost al suelo se atribuye al aporte de sustrato carbonado fresco, cuyo valor es alto en la enmienda utilizada ($188,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), y a la baja relación C/N (10,7) del mismo, lo que favorece su mineralización. Esta situación ha sido reseñada con anterioridad por Martens et al., (1992). Además, el incremento de la actividad ureásica podría estar relacionado a la proliferación de las poblaciones microbianas, lo cual se corresponde con lo observado en el cuadro anterior (Cuadro 3), donde se observó un incremento de la biomasa microbiana del suelo con la aplicación del vermicompost.

Cuadro 4. Efecto de la concentración de vermicompost sobre la actividad ureásica del suelo ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \text{NH}_4^+$)

Tratamientos de vermicompost	Fechas de medición							
	7 días		14 días		21 días		28 días	
T1 (0 %, testigo)	12,77 (0,02)	Ca	10,58 (0,01)	Ca	10,43 (0,01)	Da	11,33 (0,01)	Da
T2 (1 %)	12,48 (0,01)	Cc	14,93 (0,02)	Cb	17,40 (0,03)	Ca	17,63 (0,01)	Ca
T3 (5 %)	17,40 (0,05)	Bd	27,00 (0,03)	Bc	32,07 (0,08)	Bb	46,43 (0,02)	Ba
T4 (10 %)	28,10 (0,03)	Ad	41,57 (0,07)	Ac	53,63 (0,06)	Ab	67,87 (0,05)	Aa

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias entre tratamientos por fecha de medición y letras minúsculas distintas indican diferencias para un mismo tratamiento durante la incubación, según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

En la Figura 1 se observa que existe una relación estadísticamente significativa, lineal y directa entre la AU y el CO. En la medida que se

incrementa el carbono orgánico producto del aporte del vermicompost, aumenta la actividad de la enzima ureasa del suelo ($P\leq 0,05$; $r^2 = 0,68$).

Evolución del índice C-BM/CO*100 durante el ensayo de incubación. En el Cuadro 5 se observan los valores del índice C-BM/CO. Se encontró un incremento estadísticamente significativo en los tratamientos T3 y T4 a partir de los 7 días, mientras que el tratamiento T2 (1 % de vermicompost) no presentó diferencias significativas durante el periodo de incubación, y mostró el mismo comportamiento que el tratamiento testigo (suelo sin enmendar). En cada fecha de medición se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los valores del índice, y los incrementos en el índice C-BM/CO fueron mayores en la medida que la dosis de vermicompost aumentó. Se encontraron los valores del índice más altos en T4 (9,13 %) y T3 (8,77 %) a los 28 días de incubación.

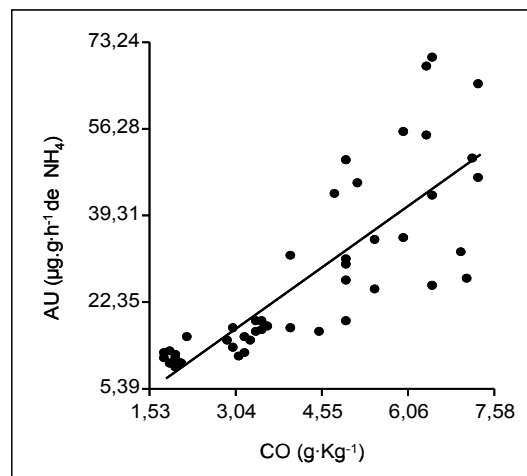


Figura 1. Relación entre la actividad ureásica y el carbono orgánico del suelo ($AU = 6,56 + 7,84 CO$; $r^2 = 0,68$; $P \leq 0,05$)

Cuadro 5. Índice C-BM/CO*100 del suelo durante el ensayo de incubación

Tratamientos de vermicompost	Fechas de medición			
	7 días	14 días	21 días	28 días
T1 (0 %, testigo)	1,59(0,06) Ca	1,57(0,06) Ca	1,97 (0,06) Ca	1,76 (0,07) Ba
T2 (1 %)	1,95(0,23) Ca	2,27(0,95) Ca	2,63 (0,37) Ca	2,79 (0,11) Ba
T3 (5 %)	2,60(0,26) Bd	4,65 (0,34) Bc	5,69 (1,29) Bb	8,77 (0,63) Aa
T4 (10 %)	4,12(0,11) Ac	7,19(0,33) Ab	8,81 (0,55) Aa	9,13 (0,67) Aa

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias entre tratamientos por fecha de medición y letras minúsculas distintas indican diferencias para un mismo tratamiento durante la incubación, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Generalmente, la biomasa microbiana edáfica se incrementa con el aumento de la materia orgánica del suelo, aunque esta relación podría verse afectada por diferentes condiciones climáticas, cambios en la humedad y temperatura del suelo, como así también puede modificarse en función de las rotaciones de cultivos (Anderson y Domsch, 1990).

En el caso de esta investigación, los incrementos encontrados en el índice C-BM/CO*100 estarían relacionados al aporte del carbono orgánico lábil contenido en el vermicompost. La relación C-BM/CO*100 puede contribuir a explicar modificaciones en parámetros químicos y biológicos debido a que es un indicador de la disponibilidad de materia orgánica del suelo para los microorganismos.

Mediciones de un índice simple, como el carbono de la biomasa microbiana en relación al contenido de carbono orgánico del suelo (C-BM/CO) podría utilizarse como un indicador de la

disponibilidad de carbono para los microorganismos, o también podrían expresar la eficiencia de conversión en carbono de la biomasa microbiana, como así también indicar las pérdidas o estabilización del carbono en los suelos (Melero et al., 2006). Algunos estudios realizados (Tremont y Cuevas, 2004) estiman que el carbono de la biomasa microbiana representa de 3-5 % del carbono orgánico del suelo. Comparando esta situación con los suelos evaluados, podemos ver que antes de la aplicación de la enmienda al suelo, éstos presentaron valores del índice C-BM/CO menores al 2 %. Una vez aplicado el vermicompost, en la dosis de 5 % y 10 %, se obtuvieron valores del índice mayores al 5 %. Estos resultados indican que la incorporación del vermicompost a los suelos evaluados, con problemas de degradación, podrían estar propiciando una recuperación de los niveles de fertilidad, al aumentar la disponibilidad de carbono fácilmente mineralizable.

Evolución del índice C-BM/CO*100 durante el ensayo de incubación. En el Cuadro 5 se observan los valores del índice C-BM/CO. Se encontró un incremento estadísticamente significativo en los tratamientos T3 y T4 a partir de los 7 días, mientras que el tratamiento T2 (1 % de vermicompost) no presentó diferencias significativas durante el periodo de incubación, y mostró el mismo comportamiento que el tratamiento testigo (suelo sin enmendar). En cada fecha de medición se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los valores del índice, y los incrementos en el índice C-BM/CO fueron mayores en la medida que la dosis de vermicompost aumentó. Se encontraron los valores del índice más altos en T4 (9,13 %) y T3 (8,77 %) a los 28 días de incubación.

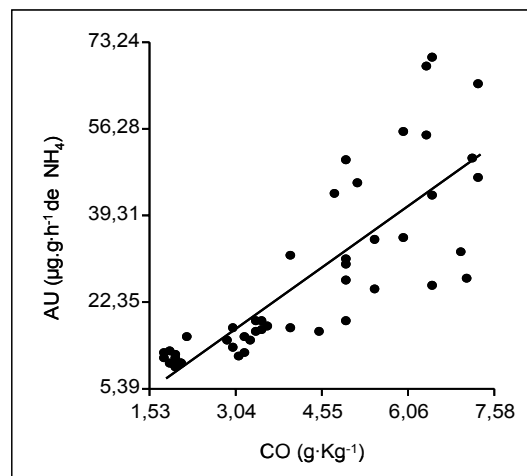


Figura 1. Relación entre la actividad ureásica y el carbono orgánico del suelo ($AU = 6,56 + 7,84 CO$; $r^2 = 0,68$; $P \leq 0,05$)

Cuadro 5. Índice C-BM/CO*100 del suelo durante el ensayo de incubación

Tratamientos de vermicompost	Fechas de medición			
	7 días	14 días	21 días	28 días
T1 (0 %, testigo)	1,59(0,06) Ca	1,57(0,06) Ca	1,97 (0,06) Ca	1,76 (0,07) Ba
T2 (1 %)	1,95(0,23) Ca	2,27(0,95) Ca	2,63 (0,37) Ca	2,79 (0,11) Ba
T3 (5 %)	2,60(0,26) Bd	4,65 (0,34) Bc	5,69 (1,29) Bb	8,77 (0,63) Aa
T4 (10 %)	4,12(0,11) Ac	7,19(0,33) Ab	8,81 (0,55) Aa	9,13 (0,67) Aa

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias entre tratamientos por fecha de medición y letras minúsculas distintas indican diferencias para un mismo tratamiento durante la incubación, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Generalmente, la biomasa microbiana edáfica se incrementa con el aumento de la materia orgánica del suelo, aunque esta relación podría verse afectada por diferentes condiciones climáticas, cambios en la humedad y temperatura del suelo, como así también puede modificarse en función de las rotaciones de cultivos (Anderson y Domsch, 1990).

En el caso de esta investigación, los incrementos encontrados en el índice C-BM/CO*100 estarían relacionados al aporte del carbono orgánico lábil contenido en el vermicompost. La relación C-BM/CO*100 puede contribuir a explicar modificaciones en parámetros químicos y biológicos debido a que es un indicador de la disponibilidad de materia orgánica del suelo para los microorganismos.

Mediciones de un índice simple, como el carbono de la biomasa microbiana en relación al contenido de carbono orgánico del suelo (C-BM/CO) podría utilizarse como un indicador de la

disponibilidad de carbono para los microorganismos, o también podrían expresar la eficiencia de conversión en carbono de la biomasa microbiana, como así también indicar las pérdidas o estabilización del carbono en los suelos (Melero et al., 2006). Algunos estudios realizados (Tremont y Cuevas, 2004) estiman que el carbono de la biomasa microbiana representa de 3-5 % del carbono orgánico del suelo. Comparando esta situación con los suelos evaluados, podemos ver que antes de la aplicación de la enmienda al suelo, éstos presentaron valores del índice C-BM/CO menores al 2 %. Una vez aplicado el vermicompost, en la dosis de 5 % y 10 %, se obtuvieron valores del índice mayores al 5 %. Estos resultados indican que la incorporación del vermicompost a los suelos evaluados, con problemas de degradación, podrían estar propiciando una recuperación de los niveles de fertilidad, al aumentar la disponibilidad de carbono fácilmente mineralizable.

CONCLUSIONES

En general, se observó un aumento del carbono orgánico del suelo en todos los tratamientos evaluados, encontrándose los valores más altos con el tratamiento de 10 % de vermicompost (T4).

Los valores del carbono de la biomasa microbiana y de la actividad ureásica siempre fueron mayores en la medida que la dosis de vermicompost aumentó.

La aplicación de vermicompost en las dosis más altas (5 y 10 %) produjo valores del índice microbiano mayores al 5 %, lo cual indica que la incorporación del vermicompost a los suelos aumentó la disponibilidad de carbono fácilmente mineralizable.

La adición de enmiendas orgánicas tipo vermicompost demostró ser una buena estrategia para la recuperación, desde el punto de vista de fijar la mayor cantidad posible de carbono en estos suelos con bajos niveles de materia orgánica, así como de favorecer el incremento y actividad de las poblaciones microbianas del suelo.

LITERATURA CITADA

- Acosta, Y., J. Paolini y E. Benítez. 2004. Índice de humificación y prueba de fitotoxicidad en residuos orgánicos de uso agrícola potencial. *Rev. Fac. Agron. (UCV)*. 21(4):1-6.
- Acosta, Y., J. Paolini, S. Flores, M. El Zauahre, N. Reyes y H. García. 2008. Fraccionamiento de metales y materia orgánica en un suelo de la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias* 8: 39-47.
- Adani, F., P. Genevini, F. Tambone y E. Montoneri, E. 2006. Compost effect on soil humic acid: a NMR study. *Chemosphere* 65(8): 1414-1418.
- Adhikary, S. 2012. Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences*. 3(7): 905-917.
- Albiach, R., R. Canet, F. Pomares y F. Ingelmo. 2000. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresour. Technol.* 75(1): 43-48.
- Anderson, T.H. y K.H. Domsch. 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.* 22(2): 251-255.
- Anderson, T.H. y K.H. Domsch. 1978. A physiological method for the Quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biol. Biochem.* 10(3): 215-221.
- Arumugam, K., V. Muthunayanan, S. Ganasen, S. Sugumar y S. Vivek. 2013. Dynamics of biological, physical and chemical parameters during vermicomposting of market waste mixed with cow dung. *Int. J. Pl. An. Env. Sci.* 3(4): 187-192.
- Bauhus, J., D. Pare y L. Cote. 1998. Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and activity in a southern boreal forest. *Soil Biol. Biochem.* 30(8-9): 1077-1089.
- Castillo, H., A. Hernández, D. Domínguez y D. Ojeda. 2010. Effect of Californian red worm (*Eisenia foetida*) on the nutrient dynamics of a mixture of semicomposted materials. *Chil. J. Agric. Res.* 70(3): 465-473.
- Chattopadhyay, G.N. 2012. Use of vermicomposting biotechnology for recycling organic wastes in agriculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 1(8): 1-6.
- Clark, G., N. Dodgshun, P. Sale y C. Tang, C. 2007. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. *Soil Biol. Biochem.* 39(11): 2806-2817.
- Contreras, J.L., J. Rojas, I. Acevedo y M. Adams. 2014. Caracterización de las propiedades físicas y bioquímicas del vermicompost de pergamino de café y estiércol de bovino. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 31 (Supl. 1): 489-501.
- Contreras, F., J. Paolini y C. Rivero. 2002. Efecto de la adición de enmiendas orgánicas sobre la actividad de la ureasa en suelos del municipio Rivas Dávila (estado Mérida). *Venesuelos* 10(1): 12-17.
- Defrieri, R., M. Jiménez, D. Effron y M. Palma. 2005. Utilización de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de composteo.

- AgriScientia 22(1): 25-31.
16. De La Cruz, E., R. Osorio, E. Martínez, A. Lozano, A. Gómez y R. Sánchez. 2010. Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia* 35(5): 363-368.
 17. Durán, L. y C. Henríquez. 2010. El Vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agron. Mesoam.* 21(1): 85-93.
 18. Ewel, J., A. Madriz y J. Tosi. 1976. Zonas de Vida de Venezuela. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Caracas. 265 p.
 19. Fuentes, J. 1999. El Suelo y los Fertilizantes. Mundi-Presa. Madrid.
 20. Hernández-Araujo, J., G. Gasco, L. Mármod, J. Bárcenas y V. Polo. 2013. Biorrecuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos. II. Lavado de sales. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 30(4): 481-503.
 21. Hernández-Araujo, J., L. Chacín, J. Ávila, N. El Khatib, I. Chirinos y B. Bracho. 2011. Métodos de manejo de la salinidad del estiércol bovino para el vermicompostaje con la lombriz roja (*Eisenia andrei*). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 28(1): 342-350.
 22. Hidalgo, P., M. Sindoni y C. Marín. 2009. Evaluación de sustratos a base de Vermicompost y enmiendas orgánicas líquidas en la propagación de parchita (*Passiflora edulis* v. *flavicarpa*) en vivero. *Revista UDO Agrícola* 9(1): 126-135.
 23. Joosten, H. 2015. Current soil carbon loss and land degradation globally: Where are the hotspots and why there?. *In: Soil Carbon: Science, Management and Policy for Multiple Benefits.* S. Banwart, E. Noellemeyer y E. Milne (eds.). CAB International. Wallingford. pp. 224-234.
 24. Kandeler, E. y H. Gerber. 1988. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fertil. Soils* 6(1): 68-72.
 25. Martens, D., J. Johanson y W. Frankerberger. 1992. Production and persistence of soil enzyme with repeated addition of organic residues. *Soil Sci.* 153(1):53-61.
 26. Martínez, S., A. Faz-Cano y M. Esteve. 2009. Contenido en carbono orgánico como indicador del proceso de desertificación en suelos desarrollados de material parental volcánico en la Región de Murcia. *In: M. Romero, F. Belmonte, F. Sarria y F. López (eds.). Avances en Estudios sobre Desertificación.* Universidad de Murcia, Murcia. España. pp. 327-330.
 27. Matheus, J., G. Graterol, D. Simancas y O. Fernández. 2007. Efecto de diferentes abonos orgánicos y su correlación con bioensayos para estimar nutrientes disponibles. *Agricultura Andina.* 13(1): 19-25.
 28. Matson, P., W. Parton, A. Power y M. Swift. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277(5325): 504-509.
 29. Melero, S., J. Ruiz, J. Herencia y E. Madejon. 2006. Chemical and biochemical properties in a silty loam soil under conventional and organic management. *Soil Tillage Res.* 90(1-2): 162-170.
 30. Mogollón, J.P., A. Martínez y W. Rivas. 2014. Degradación química de suelos agrícolas en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Suelos Ecuatoriales* 44(1): 23-28.
 31. Mogollón, J., D. Torres y A. Martínez. 2010. Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, Estado Falcón, Venezuela. *Bioagro.* 22(3): 217-222.
 32. Mogollón, J.P., O. Tremont y N. Rodríguez. 2001. Efecto del uso de un vermicompost sobre las propiedades biológicas y químicas de suelos degradados por sales. *Venesuelos* 9(1): 48-56.
 33. Ngo, P., C. Rumpel, T. Thu, T. Henry-des-Tureaux, D. Dang y P. Jouquet. 2014. Use of organic substrates for increasing soil organic matter quality and carbon sequestration of tropical degraded soil: a 3-year mesocosms experiment. *Carbon Management* 5(2): 155-168.
 34. Park, J., D. Lamb, P. Paneerselvam, G. Choppala, N. Bolan y J. Chung. 2011. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils. *J. Hazard Mater.* 185(2-3): 549-574.

35. Reyes, W. 2014. Procesos de compactación en un suelo Vertisol bajo cuatro condiciones de manejo en la Llanura de Coro, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 26(1): 39-48.
36. Rodríguez, N., A. Florentino, D. Torres, H. Yendis y F. Zamora. 2009. Selección de Indicadores de Calidad de Suelo en Tres Tipos de Uso de la Tierra en la Planicie de Coro estado Falcón. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 26(3): 340-361.
37. Romaniuk, R., L. Giuffré y R. Romero. 2011. A soil quality index to evaluate the vermicompost amendments effects on soil properties. *J. Environ. Prot.* 2(5): 502-510.
38. Saranraj, P. y D. Stella. 2012. Vermicomposting and its importance in improvement of soil nutrients and agricultural crops. *Novus Natural Science Research.* 1(1): 14-23.
39. Setia, R., P. Marschner, J. Baldock, D. Chittleborough, P. Smith y J. Smith. 2011. Salinity effects on carbon mineralization in soils of varying texture. *Soil Biol. Biochem.* 43(9): 1908-1916.
40. Tejada, M., I. Gómez, T. Hernández y C. García. 2010. Utilization of vermicomposts in soil restoration: Effects on soil biological properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74(2): 525-532.
41. Tremont, O. y E. Cuevas. 2004. Carbono orgánico, nutrientes y cambios estacionales de la biomasa microbiana en las principales especies de dos tipos de bosques tropicales. *Multiciencias* 4(1): 1-14.
42. Zhang, Q. y J. Zak. 1998. Effects of water and nitrogen amendment on soil microbial biomass and fine root production in a semi-arid environment in West Texas. *Soil Biol. Biochem.* 30(1): 39-45.