

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

Dinámica de carbono y nitrógeno en suelos tratados con residuos orgánicos

Carbon and nitrogen dynamics in soils treated with organic waste

Yudith Acosta

yacosta@gmail.com

Universidad del Zulia. Núcleo Punto Fijo, Falcón
Venezuela

Ana Prieto

grupodeinvestigaciongik@fundacionkoinonia.com.ve

Universidad del Zulia. Núcleo Punto Fijo, Falcón
Venezuela

Yajaira Rosales

grupodeinvestigaciongik@fundacionkoinonia.com.ve

Universidad del Zulia. Núcleo Punto Fijo, Falcón
Venezuela

Recibido: 23 de abril de 2019

Aprobado: 24 de mayo 2019

RESÚMEN

El objetivo del estudio consistió en evaluar la dinámica de C y N al adicionar a un suelo (S) de la población de Santa Ana, Península de Paraguaná, tres residuos orgánicos: lodo residual proveniente de la laguna de estabilización aeróbica ubicada en la misma población (L), un compost obtenido a partir de lodo residual proveniente del tratamiento de aguas servidas municipales y estiércol caprino (R) y otro compost derivado de residuos de alimentos vegetales y estiércol caprino (A), a dosis de 2%. Los tratamientos evaluados, al momento de la adición y al término de 30 días, fueron: SL, SR y SA a dosis de 2%; incluyendo S (0%) como control. Los resultados indicaron, en todos los tratamientos, un incremento significativo inicial del contenido total de C y N en el suelo control (%C=1,009; %N=0,423) obteniéndose para %C: SL=1,968; SR=1,938; SA=1,966 y para %N: SL=0,862; SR=0,564; SA=0,643, registrándose a los 30 días una disminución de estos valores debido a la mineralización de la materia orgánica. Estas características convierten a estos materiales orgánicos en una fuente de materia orgánica alternativa para el acondicionamiento de este tipo de suelo típico de las zonas semiáridas de Venezuela.

Palabras clave: carbono, Nitrógeno, suelos, zona semiárida, residuos orgánicos.

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

ABSTRACT

The aim of the study consisted of evaluating the dynamics of C and N on having added to a soil (S) of the population of Santa Ana, Paraguana's Peninsula, three organic residues: sewage sludge from the lagoon of aerobic stabilization located in the same population (L), a compost obtained of sewage sludge from the treatment of served municipal waters and goat manure (R) and another compost derived from residues of vegetable food and goat manure (A), to dose of 2%. The evaluated treatments, to the moment of the addition and at the conclusion of 30 days, were: SL, SR and SA; including S (0%) as control. The results indicated, in all the treatments, an initial increase of the total content of C and N with relation to the control (%C=1,009;%N=0,423) getting for %C: SL=1,968; SR=1,938; SA=1,966 and for %N: SL=0,862; SR=0,564; SA=0,643, by registering a decrease to 30 days in both parameters, due to the process of mineralization of the organic matter. These characteristics convert to these organic materials into a source of organic alternative matter for the conditioning of this type of typical soil of the semiarid zones of Venezuela.

Keywords: carbon, nitrogen, soils, semiarid zone, organic residues.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de los residuos orgánicos al suelo es practicada en muchos países en la actualidad, debido al incremento de los costos de energía y del reconocimiento cada vez más convincente entre los agrónomos del valor de estos residuos como complemento de los fertilizantes inorgánicos en los diferentes cultivos; interés motivado principalmente a la pérdida progresiva de la fertilidad de los suelos debido al uso en gran escala de los fertilizantes minerales, lo que trajo consigo la aparición de graves problemas de contaminación, como por ejemplo, la presencia de nitratos en las aguas subterráneas y la contaminación de las aguas superficiales con fósforo con la escorrentía; lo que las convierten en inadecuadas para el consumo humano. Asimismo, está la motivación ecológica de reciclar en los suelos agrícolas la materia orgánica y los elementos fertilizantes contenidos en los residuos orgánicos, especialmente en aquellos que pueden ser potencialmente contaminantes como son los residuos sólidos urbanos (RSU) y los lodos residuales producto del tratamiento de aguas (domésticas e industriales) (Abad,1998a). El valor fertilizante de los residuos orgánicos, especialmente

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

los compost de lodos residuales ha sido bien estudiado (Canet et al., 1998). En ensayos comparativos del uso de lodos residuales y fertilizantes químicos, Amundson y Jarrel (1983); Day et al., (1983); Fosther y Southgate (1984) y Andrade et al. (1985) obtuvieron resultados satisfactorios al emplear los lodos como bioabonos y evaluar el rendimiento de los cultivos.

La aplicación de residuos orgánicos al suelo no es una práctica novedosa, y al respecto existe una buena base de resultados experimentales en suelos de las regiones templadas. Sin embargo, esta información es escasa para los suelos tropicales, los cuales por las particulares condiciones climáticas, son muy meteorizados, bien desarrollados, con buena estructura, pero de baja fertilidad (Casanova, 1996). En estos suelos, sobre todo en aquellos afectados por las condiciones edafoclimáticas adversas, como son los de las regiones áridas y semiáridas; las altas tasas de mineralización de la materia orgánica dan como resultado muy bajos niveles de la misma, razón por la cual el mantenimiento de esta fuente natural de nutrientes y de estabilidad del suelo surge como un criterio de importancia cuando se procede a su preparación agrícola o bien a su recuperación. Los suelos en las zonas áridas y semiáridas, típicamente, presentan un contenido bajo de materia orgánica (García et al., 1997; 1998). En Venezuela estas zonas están ubicadas principalmente en los estados Anzoátegui, Lara, Sucre y Falcón (MARNR, 1980).

Existe poca información respecto a la aplicación de residuos orgánicos sobre suelos de las regiones semiáridas en general, y en particular en el estado Falcón, por lo cual se desarrolló el presente estudio a fin de evaluar a corto plazo los efectos de la aplicación de algunos residuos orgánicos a un suelo de la población de Santa Ana en la península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela, sobre la dinámica de C y N. Al efecto, se aplicaron a este suelo tres residuos orgánicos de diferente naturaleza: lodo residual proveniente de la laguna de estabilización aeróbica para el tratamiento de aguas servidas, ubicada en la misma localidad de Santa Ana (L), un compost obtenido a partir de lodo residual proveniente del tratamiento de aguas servidas municipales recolectado en la planta de tratamiento ubicada en el Complejo de Refinación Paraguaná (PDVSA)

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

Cardón y estiércol caprino (R) y otro compost derivado de residuos de alimentos vegetales y estiércol caprino (A).

MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo utilizado en este estudio fue colectado en la Población de Santa Ana, península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. Se realizó un muestreo al azar a 20 cm de profundidad y se tomaron varias sub muestras, las cuales fueron tamizadas y mezcladas uniformemente para obtener una mezcla compuesta.

Las mezclas del suelo con los residuos orgánicos a dosis de 2% se prepararon, en condiciones de invernadero, en recipientes plásticos a una humedad de 60%, aproximadamente, utilizando 5 repeticiones por cada tratamiento. Los tratamientos fueron: Suelo+ Lodo residual proveniente de la laguna de estabilización (SL), Suelo+Compost de lodo residual proveniente de la planta de tratamiento y estiércol de chivo (SR) y Suelo+Compost de residuos de alimentos vegetales y estiércol de chivo (SA); incluyendo el Suelo solo (S) como control.

Para la determinación del C y N, las muestras fueron tomadas al inicio (0 días) y al final (30 días) del tratamiento y éstas fueron analizadas en el laboratorio. Inicialmente, se efectuó la caracterización del suelo y de los residuos orgánicos aplicados al mismo; para lo cual se determinaron: pH, Conductividad Eléctrica (CE), Carbono Orgánico Total (COT), Nitrógeno Total (NT), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb), los cuales son metales pesados considerados potencialmente tóxicos para las plantas. Finalmente, se calcularon el porcentaje de materia orgánica (%MO) y la relación C/N (como parámetros indirectos derivados de la determinación de C y N) en el suelo control y en las mezclas del suelo con los residuos orgánicos. La tabla 1 muestra en resumen los métodos y técnicas empleados en la determinación de los parámetros fisicoquímicos en el suelo, los residuos orgánicos y los diferentes tratamientos.

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

Cuadro 1

Métodos y técnicas empleados en la determinación de los parámetros fisicoquímicos en el suelo, los residuos orgánicos empleados en el estudio y los diferentes tratamientos.

PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	REFERENCIA
pH	Potenciométrico con electrodo de vidrio combinado (10 g muestra en 25 mL H ₂ O destilada)	Lectura en un pH-metro	FONAIAP (1990)
CE (mScm ⁻¹)	Conductimétrico (10 g de muestra en 25 ml de H ₂ O destilada)	Lectura en un Conductímetro	FONAIAP (1990)
COT (%)	Combustión húmeda Walkley-Black modificado	Espectrofotometría Visible $\lambda=600$ nm	UCV (1993)
NT (%)	Kjeldahl	Destilación/ alcalimetría	FONAIAP (1990)
Cd y Pb (mgkg ⁻¹)	Digestión: 0,05 a 0,2 g de muestra +12 mL HNO ₃ concentrado (180 °C / 2 h) + 5 mL HClO ₄	Espectrofotometría de Emisión de Plasma	Díaz-Burgos, (1993) EPA (1992)

CE: conductividad eléctrica. **COT:** carbono orgánico total. **NT:** nitrógeno total.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización físicoquímica del suelo y los residuos orgánicos

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en la caracterización físicoquímica de los materiales empleados en el estudio y los rangos de valores para estos parámetros que han sido considerados internacionalmente para los composts.

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

Cuadro 2

Valores promedios (\pm desviación estándar, n=5) obtenidos para los parámetros fisicoquímicos y metales pesados (Cd y Pb) en las muestras de suelo (S), lodo (L) y Composts (R y A).

PARÁMETRO (Unidad)	MATERIALES				Rangos considerados para compost (***)		
	S	L	R (*)	A (**)	Bajo	Medio	Alto
pH	7,46 \pm	6,20 \pm	7,97 \pm	8,22 \pm	-	-	-
	0,010	0,020	0,320	0,03			
CE (mS cm ⁻¹)	0,134 \pm	0,916 \pm	2,873 \pm	2,09 \pm	0-1	1-2	>2
	0,003	0,004	0,05	0,127			
COT (%)	1,01 \pm	45,78 \pm	23,737 \pm	31,39 \pm	20-29	29-38	38-49
	0,240	0,760	1,334	0,746			
MO (%)	1,67	78,40	41,30	54,61	35-50	50-65	65-80
NT (%)	0,42 \pm	1,65 \pm	1,35 \pm	2,48 \pm	0,5-1,5	1,5-3	>3
	0,011	0,098	0,300	0,087			
C/N	2,46	27,81	17,58	12,65	13-16	16-19	19-40
Cd (mg kg ⁻¹)	<0,05	2,22 \pm	4,10 \pm	3,70 \pm	1-15	15-35	>35
		0,039	0,220	0,992			
Pb (mg kg ⁻¹)	<0,05	42,7 \pm	76,1 \pm	39,30 \pm	100-	400-	>1000
		7,251	4,390	8,102	400	1000	

CE: conductividad eléctrica. **COT:** carbono orgánico total. **NT:** nitrógeno total.

Fuente: Adaptado de (*) (Acosta et al., 2012a); (**) (Acosta et al., 2012b); (***) (Costa et al., 1991).

En general, los resultados obtenidos para la mayoría de los parámetros evaluados en el suelo, el cual fue clasificado texturalmente como franco arenoso, típico de la región semiárida de Venezuela, confirman la necesidad de mejorar las condiciones del mismo, lo que se ha estimado puede lograrse mediante la adición de los residuos orgánicos indicados. Esto, considerando los beneficios que la incorporación de materia orgánica puede aportar al suelo, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes: a. mejora la agregación y estabilidad de los agregados del suelo reduciendo la susceptibilidad a la escorrentía y erosión (Rivero y Paolini, 1994), b. aumenta la capacidad de retención de humedad, reteniendo hasta 20 veces su peso en agua (Stevenson, 1994), particularmente en estos suelos de textura arenosa, c. incrementa la capacidad de

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

intercambio catiónico, en vista de que este parámetro en la materia orgánica es seis veces mayor que en las arcillas (Drake y Motto, 1982), d. libera cantidades apreciables de nitrógeno, azufre, fósforo y algunos micronutrientes esenciales para el crecimiento y producción de las plantas, siendo esta liberación relativamente lenta, evitando fuertes pérdidas de los nutrientes por lavado (Rivero, 1999) y e. algunos óxidos amorfos en el suelo pueden formar complejos con la materia orgánica disminuyendo la fijación del fósforo hacia formas no aprovechables por las plantas (Casanova, 1996).

En general, las características que presenta los residuos orgánicos empleados para el tratamiento del suelo manifiestan ser adecuadas en lo que se refiere a pH, COT y NT, con respecto a los valores encontrados para estos mismos parámetros en las muestras del suelo; lo cual se estima debe favorecer las condiciones ambientales en este suelo para la proliferación de los microorganismos encargados de la mineralización de la materia orgánica para la liberación de nutrientes, tales como el N (Acosta et al., 2016).

Se ha indicado un contenido de COT de 25,33% para un lodo residual municipal recolectado en los lechos de secado de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas del Centro de Refinación Paraguaná de PDVSA, ubicada en Punta Cardón (Acosta et al., 2003; Acosta y Paolini, 2005), mostrando ser eficiente en suelos de otro sector de la península de Paraguaná. El valor del COT en lodo de la laguna de estabilización empleado en el presente es de 45,478%, un valor mayor; de modo que es posible recomendar este último lodo como abono orgánico para ser aplicado a suelos de esta región semiárida del estado Falcón a objeto de incrementar el contenido de COT en el suelo, como efectivamente ocurre y contribuir a mejorar su fertilidad y por ende su productividad.

El contenido de Cd y Pb en todos los residuos estuvieron en los niveles más bajos de los rangos considerados para composts (Costa et al., 1991), no sobrepasando los límites establecidos internacionalmente para ser aplicados en suelos con $\text{pH} > 7$: Cd= 40 mg kg^{-1} y Pb= 1200 mg kg^{-1} (Abad, 1998b); lo cual los hace aptos para su aplicación en el suelo, cuyo pH es mayor que 7.

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

Carbono Orgánico Total (COT) y Nitrógeno Total (NT) en el suelo control y en las mezclas de suelo y residuos orgánicos al inicio (0 días) y final (30 días) del tratamiento.

El Gráfico 1 muestra los cambios ocurridos en el suelo de la Población de Santa Ana, Península de Paraguaná, estado Falcón, en relación al contenido de COT (a) y NT (b) al inicio y al final del tratamiento del mismo con los residuos orgánicos, a dosis de 2%.

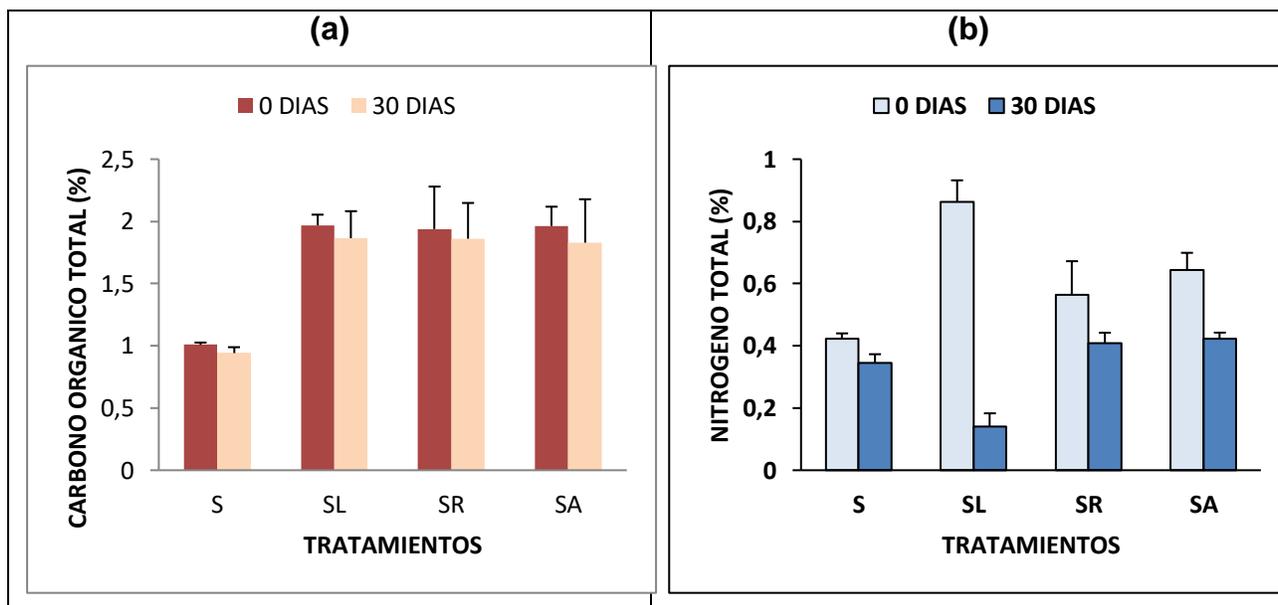


Gráfico 1. Carbono Orgánico Total (COT) (a) y Nitrógeno Total (b) en el suelo (S) control y en las mezclas de suelo y residuos orgánicos: SL, SR y SA; al inicio (0 días) y final (30 días) del tratamiento (las barras de error representan \pm la desviación estándar para $n=5$).

Tal como se observa en el Gráfico 1 (a) y (b), y como bien podía predecirse, tanto el COT como el NT se incrementaron significativamente a partir del momento en que el lodo residual y los composts fueron incorporados al suelo. Este incremento en el COT guardó para los tratamientos la relación $SL > SA > SL$, aunque no hubo diferencias significativas ($p < 0,005$) entre los tratamientos.

Mogollón et al. (2016) también observaron un incremento en el contenido de COT al aplicar vermicompost por 28 días a un suelo degradado del sector El Cebollal, Santa Ana de Coro, Estado Falcón; empleando dosis de 1, 5 y 10% y obtuvieron para estos tratamientos valores de 2,79; 8,77 y 9,13, respectivamente. Esto evidencia la eficiencia

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

de los composts para mejorar el contenido del COT en suelos de regiones semiáridas. Por su parte, el lodo residual del tratamiento de aguas servidas proveniente de la laguna de estabilización también proporcionó un aporte significativo de COT por lo cual puede decirse que este residuo orgánico cuenta con una capacidad potencial para ser utilizado como aditivo fertilizante en este tipo de suelo.

Al final del experimento, la tendencia en todos los tratamientos, fue hacia la disminución en los valores del COT, lógicamente, como consecuencia de los procesos de mineralización que ocurren cuando estos materiales son incorporados al suelo; sin embargo, aún transcurridos los 30 días del cultivo, su valor en todos los tratamientos estuvo muy por encima del valor del suelo control.

El COT es muy importante para el análisis de suelos, debido a que para valores menores de 2% el suelo puede presentar problemas al originarse pérdidas importantes de su calidad (Loveland y Webb, 2003). Este parámetro engloba un conjunto de compuestos orgánicos susceptibles a ser mineralizados, y la mineralización de C en el suelo depende, por una parte, del tipo de enmienda aplicada al mismo; y por otra, de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo al cual se aplica. Cuando el carbono orgánico se mezcla en el suelo, este puede ser mineralizado, inmovilizado en las células microbianas, incorporado en la materia orgánica autóctona del suelo e incluso en algunos casos en que la actividad de los microorganismos del suelo es inhibida, puede permanecer tal y como ha sido incorporado. El seguimiento de éste parámetro es complementario para evaluar la biodegradabilidad de los materiales orgánicos incorporados al suelo.

En el Grafico 1 (b) se presenta la variación en el tiempo del contenido de NT presente en el suelo control y los diferentes tratamientos. El suelo control presentó un valor de NT inicial de 0,392%, el cual es un valor bajo si se compara con los valores obtenidos para los residuos orgánicos, por lo que es posible inferir, tal como ocurrió, que al ser incorporados los residuos orgánicos al suelo se incrementaría el contenido de NT en el mismo, obteniéndose para todos los tratamientos valores significativamente más altos que el del suelo control. Este incremento se mantiene en el tiempo para los tratamientos

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

del suelo con los composts, lo cual favorecería el rendimiento en los cultivos en estos suelos tratados. En el caso del tratamiento del suelo con lodo residual, se produjo al final una disminución altamente significativa del NT, probablemente debido a las pérdidas de formas de nitrógeno por volatilización.

El contenido de Nitrógeno presente en el lodo residual es bajo al reportado en la caracterización fisicoquímica y microbiológica de lodo residual como acondicionador de suelo durante el crecimiento de un cultivo de cebollín (*Allium fistulosum* L.) (Caldera, et al., 2007) donde obtuvieron 2,19 % de Nitrógeno Total ubicándose en el rango medio entre (1,5 y 3%) Normativa Española, atribuyendo los bajos valores del lodo a la pérdida de materia orgánica, y nutrientes, causando disminución de su productividad en el cultivo.

La variación de NT en las diferentes muestras en el tiempo de 0 días, observando que la mezcla de suelo con lodo residual (SL) contiene 0,862 % siendo mayor la concentración de este nutriente al ser comparadas con las mezclas de suelo con compost de lodo y estiércol (SR) con 0,564% y la mezcla de suelo con compost de residuos de alimentos vegetales (SA) con 0,643%.

Caldera et al. (2007), en un estudio realizado con lodos residuales como acondicionadores de suelo en un cultivo de cebollín obtuvieron en una mezcla de suelo tratado con lodo residual a diferentes dosis 20,40,60 Mg h⁻¹; obteniendo 3,30; 2,35 y 2,52% de NT, respectivamente. Si se comparan estos resultados con el obtenido para la muestra en estudio para el suelo tratado con lodo residual de la laguna de estabilización (SL) el contenido de NT es inferior, aunque similar al obtenido para la dosis de 40 Mg h⁻¹ en el estudio indicado inicialmente.

Asimismo, en otras investigaciones se ha recomendado la aplicación de lodos residuales provenientes del tratamiento aguas servidas con fines agrícolas. Acosta (1995) aplicó lodo residual, proveniente de una planta de tratamiento de aguas servidas en CRP Cardón, sobre un suelo de la localidad de La Negrita, estado Falcón con un cultivo de Maíz (*Zea mays* L.) a dosis de 0, 20, 40, 60, 80, 120 y 200 Mg ha⁻¹, encontrando mejores resultados para las dosis de 40 y 60 Mg ha⁻¹.

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

También puede observarse hacia el final del experimento, en todos los tratamientos, un descenso en el contenido de NT, cuya disminución guardó la siguiente relación: SL SA SR. Esto se debe a que en el transcurso del tiempo, los microorganismos del suelo requieren también de este nutriente para proceder con la mineralización de la materia orgánica por otro lado durante este proceso algunas formas de este elemento pueden perderse por volatilización.

De los muchos elementos requeridos para la descomposición microbiana, el carbono y el nitrógeno son los más importantes. El carbono proporciona una fuente de energía y además constituye aproximadamente el 50% de la masa de de células microbianas (Brock y Madigan, 1991) y el Nitrógeno es un componente crucial de las proteínas, de los ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas y de las coenzimas necesarias para el crecimiento y funcionalidad de la célula; una célula bacteriana típica tiene de 12 a 15% de nitrógeno en peso seco (Brock y Madigan, 1991).

MO y relación C/N presente en el suelo y en los diferentes tratamientos con los residuos orgánicos.

La materia orgánica del suelo procede tanto de la descomposición de los seres vivos que mueren sobre ella, como de la actividad biológica de los organismos vivos que contiene: lombrices, insectos de todo tipo, microorganismos, entre otros. La tabla 3 muestra el contenido de materia orgánica (%MO) presente en el suelo de la localidad de Santa Ana y en los diferentes residuos orgánicos empleados en el estudio.

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

Cuadro 3

Contenido (%) de materia orgánica (MO) y relación C/N en muestras de suelo (S) control y suelo tratado con lodo residual (SL) y Composts (SA) y (SR) al inicio (0 días) y final del tratamiento (30 días).

Tratamiento ▼	MO (%)		C/N	
	0 días	30 días	0 días	30 días
S	1,67	1,62	2,46	2,73
SL	2,88	2,75	19,35	11,83
SR	3,33	3,21	34,27	45,61
SA	3,38	3,15	30,52	43,23

Fuente: Propia

La descomposición de los materiales orgánicos y los residuos metabólicos da origen a lo que se denomina humus (Rosell, 1999). La materia orgánica se expresa en porcentaje, y se ha indicado que los suelos que tienen un %MO menos de 2, el contenido se considera bajo, de 2 a 4 medio y de 4 a 5 alto (Kass, 1998). Los suelos de zonas áridas y semiáridas, típicamente, presentan un contenido bajo de materia orgánica (García et al., 1997; 1998) tal como es el caso de los suelos de la Península de Paraguaná.

Caldera et al. (2007) caracterizaron fisicoquímicamente un suelo franco arenoso de Maracaibo, Estado Zulia, el cual presentó un contenido de materia orgánica bajo (0,2%), similar al obtenido para el suelo de estudio, con la misma textura. Asimismo, evaluaron un lodo residual proveniente de la laguna facultativa de la Universidad del Zulia, resultando el COT en 27,6 %, encontrándose este valor fuera del rango de valor más bajo (35-50%) según lo indicado en la Tabla 2. Blanco et al. (2005), también evaluaron unos lodos sobrenadantes estabilizados del mismo sistema de tratamiento y reportaron resultados en el contenido de MO de 46% e indicaron que estos lodos sobrenadantes pueden ser aplicados al suelo como abono orgánico. En ambos estudios, se observaron valores inferiores de MO al encontrado en el lodo residual proveniente de la laguna de estabilización de la localidad de Santa Ana con un valor de 78,40%.

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

En los tratamientos del suelo con los residuos orgánicos, lógicamente se incrementó significativamente el contenido de MO en el mismo, tal cual como se incrementó el contenido de COT en SL, SR y SA con respecto a S. Zamora et al. (2014) demostraron las prácticas más promisorias para incrementar el contenido de materia orgánica en un suelo en el sector El Cebollal, ubicado en la llanura de Coro, estado Falcón, bajo un sistema de riego con aguas servidas en pasto, alcanzando valores de MO en el suelo tratado de 4,31%. Por su elevado contenido de materia orgánica, los residuos orgánicos, favorecen la macroestructura de los suelos, especialmente cuando se trata de zonas áridas (con texturas que van de franco arenosas a pesadas); mejoran la distribución de humedad e intercambio de gases, la capacidad de agregación del suelo, disminuyen la densidad aparente, e incrementan la capacidad de retención de agua y la capacidad hidráulica (Khaleel et al., 1981; Stone y Kirham, 1983).

Al final el experimento, la materia orgánica del suelo disminuyó debido a su mineralización. El contenido de materia orgánica es un índice que permite estimar aproximadamente las reservas de nitrógeno y fósforo en el suelo y su comportamiento en la dinámica de nutrimentos (Kass, 1991).

Gutiérrez et al., 2007, realizaron estudios en tratamientos de suelo con lodo Residual a diferentes dosis reportando % MO de 2,28; 2,90 y 4,89 respectivamente, siendo el valor obtenido para la dosis intermedia similar al determinado en este estudio para el tratamiento con lodo (SL) con un %MO de 2,88%.

La relación C/N al inicio de la experiencia es mayor en todos los tratamientos con respecto al suelo control, siendo SR el tratamiento que presentó una mayor relación C/N en comparación con el suelo control. En general, los residuos incorporados al suelo, tanto el lodo residual como los composts, tienen bajo contenido de NT, por lo que presentan una elevada relación C/N, lo que se ve reflejado en la relación C/N en los tres tratamientos.

En suelos donde se ha practicado una buena fertilización, la relación C/N suele ser 10 (Stoffela, 2005). Los materiales con relación C/N más elevada son muy ricos en energía y permiten gran actividad microbiana con fuerte desprendimiento de CO₂. A medida que

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

se va consumiendo esta energía la actividad microbiana va siendo menor y llega un momento en que tiende a estabilizarse. Esta situación corresponde a valores de C/N próximos a 10; tal es el caso de SL al final de la experiencia, mientras que para SR y SA la relación resultó más elevada. La actividad microbiana no significa inestabilidad, ya que los microorganismos continúan atacando a la materia orgánica hasta mineralizarla totalmente (Wild, 1992).

El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N muy baja podría afectar el proceso de mineralización de C, y el exceso de N puede originar pérdidas del mismo, en forma de amoníaco. Si al incorporar al suelo los residuos orgánicos se obtiene una relación C/N demasiado alta, los materiales orgánicos tardarían en descomponerse mucho más tiempo; pero si, al contrario, en la mezcla inicial la relación C/N es demasiado baja, se notará el desprendimiento de olores fuertes, con consecuentes pérdidas de nitrógeno. Al final del experimento, los dos tratamientos con compost resultaron con una relación C/N más alta, en cambio para el tratamiento con lodo ésta fue menor.

El efecto de los residuos orgánicos sobre las propiedades del suelo depende de la tasa de descomposición del material aplicado, la cual se ve afectada por lo siguiente: a. la composición química del desecho (contenido de C, relación C/N, concentración de metales, pH); b. las características del suelo (tipo, clase, permeabilidad, humedad, contenido de materia orgánica, estado nutricional, fracción arcillosa, presencia de óxidos hidratados, capacidad de intercambio catiónico, pH, topografía); c. los métodos de aplicación del residuo (superficial o incorporado); d. la tasa de aplicación y e. el clima (Bermejo, 1982).

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

CONCLUSIONES

Tanto el lodo residual proveniente de la laguna de estabilización como los composts resultaron ser materiales adecuados para su uso como enmiendas orgánicas en los suelos de la población de Santa Ana; demostrado básicamente por el incremento del contenido de COT y NT. Este resultado convierte a estos materiales en una fuente de materia orgánica alternativa para el acondicionamiento de este tipo de suelo típico de las zonas semiáridas del estado Falcón; bajo el criterio ecológico de reciclar en los mismos la materia orgánica y los elementos fertilizantes contenidos en estos residuos, cuya acumulación tiende a generar un grave y permanente problema ambiental; sin embargo, en atención a de los cambios generados en el contenido de C y N, su empleo podría limitarse en términos de la dosis y la frecuencia de aplicación.

REFERENCIAS

1. Abad, M. (1998a). *Influencia de las aplicaciones de compost de residuos sólidos urbanos sobre las propiedades físico-químicas de los suelos cultivados*. En: F. Orozco P y W. Osorio (Eds.). *Residuos Orgánicos. Aprovechamiento Agrícola como Abono y Sustrato*. pp. 67-75. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Instituto de Ciencias Naturales y Ecológicas. Impresos Caribe, Ltda. Medellín, Colombia.
2. Abad, M. (1998b). *Limitaciones y riesgos del uso agrícola de los residuos orgánicos*. En: F. Orozco y W. Osorio (Eds.). *Residuos Orgánicos. Aprovechamiento Agrícola como Abono y Sustrato*. (p.p. 9-19). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Instituto de Ciencias Naturales y Ecológicas. Impresos Caribe, Ltda. Medellín, Colombia.
3. Acosta, Yudith. (1995). *Aplicación de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas servidas (TAS) de Maraven-Cardón para el mejoramiento del suelo*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de MSc. en Ciencias Ambientales. Universidad del Zulia (LUZ). 93 p.

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

4. Acosta, Yudith; Paolini, Jorge; Flores, Saúl; Benzo, Zully; El Zauahre, Maziad; Toyo, Ligia, Senior, Alexa. (2003). *Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza*. Multiciencias. 3(1):51-60.
5. Acosta, Yudith; Paolini, Jorge. (2005). *Actividad de la enzima deshidrogenasa en un suelo calciorthids enmendado con residuos orgánicos*. Agronomía Tropical 55(2): 217-232.
6. Acosta, Yudith; Zárraga, Anghie; Rodríguez, Lesdybeth; El Zauahre, Maziad. (2012a). *Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales*. Multiciencias. 12 (extraordinario): 18-24.
7. Acosta, Yudith; Pereira, Natercia.; Rodríguez, Lesdybeth.; El Zauahre, Maziad. (2012b). *Propiedades fisicoquímicas de un suelo franco arenoso enmendado con un compost de residuos sólidos urbanos (RSU) y cultivado con girasol*. 1er. Congreso Venezolano de Ciencia, Tecnología e Innovación. Caracas, Septiembre 23-26 de 2012.
8. Acosta, Yudith; Rosales, Yajaira; Rodríguez, Lesdybeth; El Zauahre, Maziad; López, Luis. (2016). *Actividad de las enzimas deshidrogenasa y ureasa en un suelo franco-arenoso contaminado con aceite usado de motor tratado con compost*. III Congreso y VII Jornadas Internacionales de Postgrado e Investigación. Ingenio y Saberes Compartidos con Visión de Futuro. LUZ Núcleo COL, del 23 al 25 de noviembre de 2016. Memorias disponibles en: www.congresosyjornadas.col.luz.edu.ve.
9. Amundson, R.; Jarrell, W. (1983). *A comparative study of bermudagrass grown on soils amended with aerobic or anaerobically digested sludge*. J. Environ. Qual. 12 (4): 508-513.
10. Andrade, C.; Bao, I.; Fernández, C.; Guitian, F. (1985). *Caracterización química y poder fertilizante de los lodos residuales de la planta depuradora de aguas de Santiago de Compostela*. An. Edafol. Agrobiol. 144-156.
11. Bermejo, H. (1982). *Aprovechamiento como fertilizantes de los residuos y desperdicios orgánicos de las ciudades*. Lagoven. S.A. Refinería de Amuay. Punto Fijo. Estado Falcón. 21 p.
12. Blanco, E.; Cárdenas, C.; Granadillo, V.; Isea, D.; Sepúlveda, J.; Delgado, J. (2005). *Caracterización inicial de lodos sobrenadantes residuales provenientes de las lagunas de estabilización de LUZ para su utilización en el acondicionamiento de suelos*. Ciencia. 13(1): 85- 93.

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

13. Madigan, M.T; Matinko, P.V.; Dunlap, D.V; Clark, D.P. (2004). *Brock Biología de los microorganismos*. 12ª. Edición. Editorial Pearson.
14. Caldera, Yaxcelys A.; Gutiérrez, Edixon C.; Blanco, Edith E.; Torres, María M.; Gutiérrez, Edixon E. (2007). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de lodo residual como acondicionador de suelo durante el crecimiento de un cultivo de Cebollín (Allium fistulosum L.)*. Ciencia. Vol. 15, N° 3 (2007) 371 – 379.
15. Canet, R.; Pomares, F.; Estela, M.; Tarazona, F. (1998). *Efectos de diferentes enmiendas orgánicas en las propiedades del suelo de un huerto de cítricos*. Agrochimica. 42 (1-2): 41-49.
16. Casanova, Eduardo. (1996). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Caracas. Venezuela. Litopar C.A. 379 p.
17. Costa, F.; García, C.; Hernández, T.; Polo, A. (1991). *Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y Utilización*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia. España. 181 p.
18. Day, A.; Thopmson, R.; Tucker, T. (1983). *Effects of dried sewage sludge on barley genotypes*. J. Environ. Qual. 12 (2): 213-215.
19. Díaz-Burgos, M.; Ceccanti, B.; Polo, A. (1993). *Monitoring biochemical activity during sewage sludge composting*. Biol. Fertil. Soils. 16: 145-150.
20. Drake, E.; Motto, H. (1982). *An analysis of the effect of clay and organic matter content on the soil cation exchange capacity of New Jersey Soils*. Soil Sci. 133: 281-288.
21. EPA (Environment Protection Agency).(1974). *Fate and effect of trace elements in sewage sludge when applied to agricultural lands*. EPA. Cincinnati, Ohio. 98 p.
22. FONAIAP (Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias). (1990). *Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia. (Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad)*. Serie D. N°. 26. Escuela de Agronomía. Ministerio de Agricultura y Cría. UCLA, Maracay. 206 p.
23. Foster, D.; Southgate, D. (1984). *Social institutions influencing land application of wastewater and sludge*. J. Water Pollut. Control Fed. 56 (5): 399-403.

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

24. García, C.; Hernández, T. (1996). *Organic matter in bare soils of the mediterranean region with a semiarid climate*. Arid Soil Res. Rehab. 10: 31-41.
25. García, C.; Roldan, A.; Hernández, T. (1997). *Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semi-arid mediterranean environment*. J. Environ. Qual. 26: 285-291.
26. García, C.; Hernández, T.; Albaladejo, J.; Castillo, V.; Roldán, A. (1998). *Revegetation in semi-arid zones: influence of terracing and organic refuse on microbial activity*. Soil Sci. Soc. Am. J. 62: 670-676.
27. Gutierrez, F.; Rojas, B.; Jiménez, M; Serna, L.; zapata, R. (1998). *Evaluación de la eficiencia agronómica de un lodo residual usado como bioabono en un ultisol*. pp. 105-116. En: Residuos Orgánicos. Aprovechamiento Agrícola como Abono y Sustrato. F. H. Orozco y W. Osorio (Eds.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Instituto de Ciencias Naturales y Ecológicas. Impresos Caribe, Ltda. Medellín, Colombia.
28. Kass, D. (1998). *Fertilidad de suelos*. J. Núñez (ed). Editorial UNED. San José, Costa Rica. pp. 100-103.
29. Khaleel, R.; Reddy, K.; Overcash, M. (1981). *Changes in soil physical properties due to organic waste applications: A Review*. J. Environ. Qual. 10: 133-141.
30. Loveland, P.; Webb, J. (2003). *Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review*. Soil Till. Res. 70: 1–18.
31. MARNR (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables). (1980). *Atlas de Venezuela. República de Venezuela*. Dirección General de Información e Investigación del Ambiente. Dirección de Cartografía Nacional. Edición Escolar. Talleres de Litografía Tecnocolor, S. A. Caracas. Venezuela. 331 p.
32. Mogollón, José Pastor; Martínez, Alicia; Torres, Duilio. (2016). *Efecto de la aplicación de vermicompost en las propiedades biológicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano*. Bioagro. 28 (1): 29-38.
33. Rivero, C. (1999). *Materia Orgánica del Suelo*. Revista Alcance 57. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 211p.

Yudith Acosta; Ana Prieto; Yajaira Rosales

34. Rivero, C.; Paolini, J. (1994). *Efecto de la incorporación de residuos vegetales sobre algunas propiedades físicas de tres suelos venezolanos*. *Venesuelos*. 2(1):26-31.
35. Rosell, R.A. (1999). *Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos*. Proceed. IV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo). Texto completo en CD Rom). Pucón, Chile.
36. Stevenson, F. (1994). *Humus Chemistry: Génesis, Composition, Reactions*. 2nd. Ed. John Wiley and Sons, New York. 496 p.
37. Stofella, P. (2004). *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. Mundi-prensa libros. España.
38. Stone, J.; Kirkham, M. (1983). *Water content of sludge-injected soil growing wheat*. *Environ. Conserv.* 10: 337-342.
39. UCV (Universidad Central de Venezuela). (1993). *Cuadernos de Agronomía*. Año 1. N° 6. Instituto de Edafología. UCV. Maracay, Venezuela. 89 p.
40. Wild, A. (1992). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
41. Zamora, Frank; Acosta, Yudith; Torres, Duilio; Guanipa, Yalegni. (2014). *Prácticas Agroecológicas en suelos de la Llanura de Coro, Estado Falcón, Venezuela*. *Multiciencias*. 14 (Extraordinario):