

Microbial dynamics during composting of filter cake reactivated with chicken manure

Dinámica microbiana en el compostaje de cachaza reactivada con gallinaza

Lourdes Alejandra Romero-Yam¹; Juan José Almaraz-Suárez¹; Joel Velasco-Velasco^{2*}; Arturo Galvis-Spinola¹; Francisco Gavi-Reyes³

¹Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México. C.P. 56230, MÉXICO.

²Colegio de Postgraduados. Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba – Veracruz km 348, Congregación Manuel León, municipio de Amatlán de los Reyes. C.P. 94946, MÉXICO. Correo-e: joel42ts@colpos.mx, tel.: (01) 271 716 6000 (*Autor para correspondencia).

³Programa de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México. C.P. 56230, MÉXICO.

Abstract

Microbial dynamics, mineral and total nitrogen content were studied during the composting process of filter cake reactivated with chicken manure. Four substrates with different proportions of filter cake:chicken manure (10:0, 9:1, 7:3 and 5:5 v/v) were tested using 68 liters containers for 87 days. Temperature, total populations of bacteria, fungi, ligninolytic microorganisms, CO₂ evolution, total nitrogen, ammonium and nitrate content were the evaluated variables. The addition of chicken manure to stored filter cake increased the populations of bacteria, fungi and ligninolytic microorganisms, showing microbial populations of 9.9, 5.5 and 6.4 log units (ULog), respectively. Substrate 5:5 v/v showed a decrease in NH₄⁺-N (from 947 to 268 mg·kg⁻¹) and an increase in NO₃⁻-N (from 2.7 to 483 mg·kg⁻¹) and in total nitrogen (3.4 to 4.7 %). This proportion of chicken manure and filter cake was better because it was biologically stable (compost) and had the highest content of total nitrogen.

Keywords: Microbial ecology, lignocellulose, biotransformation of filter cake, compost.

Resumen

Se estudió la dinámica microbiana, así como el contenido de nitrógeno mineral y total durante el proceso de compostaje de cachaza reactivada con gallinaza. Se establecieron cuatro sustratos con diferentes proporciones de cachaza:gallinaza (10:0, 9:1, 7:3 y 5:5 v/v), en contenedores de 68 litros durante 87 días. Las variables evaluadas fueron: temperatura, poblaciones de bacterias, hongos, microorganismos ligninolíticos, evolución de CO₂, nitrógeno total, contenido de amonio y nitratos. La adición de gallinaza a la cachaza almacenada, incrementó las poblaciones de bacterias, hongos y microorganismos ligninolíticos, mostrando poblaciones de 9.9, 5.5 y 6.4 unidades logarítmicas (ULog), respectivamente. El sustrato 5:5 v/v presentó disminución en NH₄⁺-N (de 947 a 268 mg·kg⁻¹), aumento en NO₃⁻-N (de 2.7 a 483 mg·kg⁻¹) y en nitrógeno total (3.4 a 4.7 %). Esta proporción de gallinaza y cachaza resultó mejor, ya que fue estable biológicamente (compost) y tuvo el mayor contenido de nitrógeno total.

Palabras clave: Ecología microbiana, lignocelulosa, biotransformación de cachaza, compost



Introduction

Mexico ranks fifth in the world in sugar production. Production for the sugar harvest 2011-2012 was carried out in 54 of 57 sugarmills, in an area of 716,890 ha, and reached a production of 5,098,901 t of sugar (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar [CONADESUCA], 2012) with a value close to 27 billion pesos, providing 11.6 % of the GDP of the primary sector and 2.5 % of the Manufacturing GDP (Secretaría de Economía, 2012). This agribusiness generates different waste; those generated in larger volumes are bagasse (25 to 30 %) and filter cake (3 to 5 %). Filter cake is a dark brown to black spongy organic material from filtration and washing of sediments in the process of clarification of cane juice (Zérega, 1993; Arreola-Enriquez et al., 2004), presenting a moisture content of 70 – 80 %, content of 0.79 – 2.2 % nitrogen and reaching a C:N ratio of between 12:4 to 30:1.

Filter cake has the ability to improve physical, chemical and microbiological properties of soil, and temporarily increases the cation exchange capacity (CEC) and retains moisture. However, it has been reported that the application of fresh organic material produces crop damage due to the decomposition process, therefore, several authors suggest that this material should be subjected to a process of decomposition such as composting (Hernández et al., 2008) before using it.

Composting is a bio-oxidative process that allows the stabilization of organic material. This process can be facilitated by stacking this material, and giving suitable conditions of aeration and moisture allowing microorganisms to grow and degrade structures comprising plant materials (hemicellulose, cellulose and lignin). The combinations of lignin-cellulose components of organic materials and the diversity of conditions where compost can be made impede the clarification of how different biotic and abiotic factors affect the activity of microbial populations (Cunha-Queda, Ribeiro, Ramos, & Cabral, 2007; Velasco-Velasco, Parkinson, & Kuri, 2011). Understanding how different factors regulate the activity of microbial populations in the composting process remains essential despite controversies, since these organisms could provide information to assess the process, quality, degradation rate and finally the maturity of the product (Vargas-García, López, Suárez, & Moreno, 2005).

The dynamics of the carbon:nitrogen (C:N) ratio becomes very important in the management of the composting process in accordance with microbial activity. Nitrogen has a special attention during the mineralization process, composting and particularly in the processes of nitrification and denitrification of nitrate and ammonium, respectively. An inefficient management during the composting process promotes

Introducción

México ocupa el quinto lugar mundial en producción de azúcar; la producción para la zafra 2011-2012, se tuvo en 54 de 57 ingenios, en 716,890 ha, y de producción alcanzó 5,098,901 t de azúcar (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar [CONADESUCA], 2012), con valor cercano a los 27 mil millones de pesos, aportando 11.6 % del PIB del sector primario y 2.5 % del PIB manufacturero (Secretaría de Economía, 2012). Esta agroindustria genera diversos residuos, los generados en mayor volumen es el bagazo (25 a 30 %) y la cachaza (3 a 5 %). La cachaza es material orgánico esponjoso, de color pardo oscuro a negro, proveniente de la filtración y lavado de los sedimentos en el proceso de clarificación de los jugos de la caña (Zérega, 1993; Arreola-Enriquez et al., 2004), presentando contenido de humedad del 70 – 80 %, contenido de nitrógeno de 0.79 – 2.2 % y alcanza relación C:N de entre 12:4 a 30:1.

La cachaza tiene la capacidad de mejorar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, incrementa de manera temporal la capacidad de intercambio catiónico (CIC), y retiene la humedad. Sin embargo, se ha reportado que la aplicación de material orgánico fresco genera daño a los cultivos, debido al proceso de descomposición, por esto, varios autores sugieren que, previo a su aplicación en campo, dicho material debe ser sometido a proceso de descomposición como lo es el compostaje (Hernández et al., 2008).

El compostaje, es el proceso bio-oxidativo que permite la estabilización del material orgánico. Este se puede facilitar apilando dicho material, dando condiciones adecuadas de aireación y humedad que permitan a los microorganismos nativos crecer y degradar las estructuras que componen los materiales vegetales (hemicelulosa, celulosa y lignina). Las combinaciones de componentes, lignocelulíticos de los materiales orgánicos y la diversidad de condiciones en las que se pueden realizar compostas, dificulta esclarecer, del todo, cómo diferentes factores bióticos y abióticos afectan la actividad de las poblaciones microbianas (Cunha-Queda, Ribeiro, Ramos, & Cabral, 2007; Velasco-Velasco, Parkinson, & Kuri, 2011). A pesar de las controversias, sigue siendo fundamental la comprensión de cómo diversos factores regulan la actividad de las poblaciones microbianas en el proceso de compostaje; ya que estos organismos pudieran proveer información para evaluar el proceso, la calidad, la velocidad de degradación y finalmente la madurez del producto (Vargas-García, López, Suárez, & Moreno, 2005).

En el manejo del proceso de compostaje, se vuelve de suma importancia la dinámica de la relación carbono:nitrógeno (C:N) en concordancia con la actividad microbiana. El nitrógeno tiene especial

nitrogen losses via volatilization of ammonia and nitrous oxide, and nitrate leaching. It also affects the final nutritional value of compost and thus its economic value (Tiquia, 2002; Bernal, Alburquerque, & Moral, 2009; Velasco-Velasco et al., 2011).

The objective of this research was to study the microbial dynamics of bacteria, fungi and ligninolytic microorganisms during composting process of filter cake reactivated with chicken manure in different proportions, quantify the evolution of carbon dioxide, total nitrogen, ammonium and nitrate content to obtain compost with higher content of total nitrogen.

Materials and methods

This research was conducted from October 2011 to January 2012 in the vermicomposting module of the Department of Soil Microbiology at the Postgraduate College, Campus Montecillo, Estado de México. Located at 2,250 m altitude, latitude 19° 29' N and longitude 98° 54' W. The type of climate is Cw, temperate, subhumid with summer rains (García, 2005).

Origin and content of the material used

Chicken manure was obtained from a chicken farm which is located in Córdoba, Veracruz to prepare the substrates studied. The filter cake was acquired from the sugarmill "Potrero" located in Atoyac Veracruz. The filter cake used had five months of being accumulated. Chemical analyses of the raw material were performed at the Laboratory of Environmental Sciences, Department of Hydrosiences at the Postgraduate College Campus Montecillo (Table 1).

Setting the experiment

The experimental unit consisted of a 68 liter capacity plastic container (59.7 cm long x 46.7 cm wide x 41 cm high) with lid; in this container, 50 kg (fresh base) of the mixture of filter cake with chicken manure were placed according to the proportions listed below. Four substrates were evaluated: 100 % filter cake and 0 % chicken manure (10:0 v/v); 90 % filter cake and 10 % chicken manure (9:1 v/v); and 70 % filter cake and 30 % chicken manure (7:3 v/v); 50 % filter cake with 50 % chicken manure (5:5 v/v). These mixtures were aerated by turnings at 7, 24, 30 and 79 days after the experiment was set up. Water was added by every turning, to maintain 65 % gravimetric moisture in the substrate during the 87 days of composting (Radulovich, 2009).

Study variables and experimental design

The experiment was carried out using a completely randomized design with three replications. The

atención durante el proceso de mineralización durante el compostaje, concretamente, en los procesos de nitrificación y desnitrificación del amonio y nitratos, respectivamente. El manejo ineficiente, durante el proceso de compostaje promueve pérdidas de nitrógeno vía volatilización del amoniaco y óxido nitroso, así como por la lixiviación de nitratos. Además, afecta el valor nutrimental final del compost y por ende su valor económico (Tiquia, 2002; Bernal, Alburquerque, & Moral, 2009; Velasco-Velasco et al., 2011).

El objetivo de la presente investigación fue estudiar la dinámica microbiana de bacterias, hongos y microorganismos ligninolíticos, durante el proceso de compostaje de cachaza reactivada con gallinaza en diferentes proporciones; además de cuantificar la evolución de bióxido de carbono, nitrógeno total, contenido de amonio y nitratos para obtener compost con mayor contenido de nitrógeno total.

Materiales y métodos

La investigación se realizó de octubre de 2011 a enero de 2012, en el módulo de vermicompostaje del Área de Microbiología de suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México. Ubicado a 2,250 m de altitud, latitud 19° 29' N y longitud 98° 54' W. El tipo de clima es Cw, templado, subhúmedo con lluvias en verano (García, 2005).

Origen y contenido del material utilizado

Para la elaboración de los sustratos estudiados, la gallinaza se obtuvo de la explotación avícola que se encuentra ubicada en Córdoba, Veracruz. La cachaza se adquirió del ingenio "Potrero" ubicado en el municipio de Atoyac, Veracruz. La cachaza utilizada tenía cinco meses de encontrarse acumulada. Los análisis químicos de la materia prima se realizaron en el Laboratorio de Ciencias Ambientales del Postgrado de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo (Cuadro 1).

Establecimiento del experimento

La unidad experimental consistió en un contenedor plástico con tapa, capacidad de 68 litros con medidas de 59.7 cm de largo x 46.7 cm de ancho x 41 cm de alto, dentro del cual se colocaron 50 kg (base fresco), de la mezcla de cachaza con gallinaza, de acuerdo con las proporciones que se mencionan a continuación. Se evaluaron cuatro sustratos: 100 % cachaza y 0 % gallinaza (10:0 v/v); 90 % cachaza y 10 % gallinaza (9:1 v/v); 70 % cachaza y 30 % gallinaza (7:3 v/v); 50 % cachaza con 50 % gallinaza (5:5 v/v). Dichas mezclas se airearon mediante volteos a los 7, 24, 30 y 79 días después de instalado el experimento. En cada volteo se adicionó agua para mantener 65 % de humedad gravimétrica en

Table 1. Chemical analysis of the organic materials used at the beginning of the process.**Cuadro 1. Análisis químico de los materiales orgánicos usados al inicio del proceso.**

Variables	Filter cake / Cachaza	Chicken manure / Gallinaza
pH	6.9	6.9
Electrical Conductivity / Conductividad Eléctrica (dS·m ⁻¹)	0.8	18.4
Nitrogen (%) / Nitrógeno (%)	1.0	5.9
Organic Matter (%) / Materia Orgánica (%)	39.6	51.0
Organic Carbon (%) / Carbón orgánico (%)	23.3	29.5
C/N ratio / Relación C/N	21.0	5.0
Moisture content (%) / Porcentaje de humedad (%)	60	88.5
Calcium (%) / Calcio (%)	2.5	2.5
Magnesium (%) / Magnesio (%)	0.3	0.6
Potassium (%) / Potasio (%)	0.2	3.2
Phosphorus (%) / Fósforo (%)	1.0	1.3
Sulfur (%) / Azufre (%)	0.1	0.6
Sodium (%) / Sodio (%)	0.01	0.45
Copper (mg·kg ⁻¹) / Cobre (mg·kg ⁻¹)	55.1	87.3
Manganese (g·kg ⁻¹) / Manganeso (g·kg ⁻¹)	1.2	0.7
Iron (g·kg ⁻¹) / Hierro (g·kg ⁻¹)	24.1	0.8
Zinc (mg·kg ⁻¹) / Zinc (mg·kg ⁻¹)	125.05	492.26

experiment was implemented on October 28, 2011, samples were taken at 12, 26, 47, 75 and 87 days after the experiment was established. The experimental units were placed on soil, in a room covered with zinc plate. Three subsamples of about 400 g of compost at 25, 15 and 5 cm depth were taken at each sampling. The three subsamples were mixed to obtain a composite sample.

The technique of dilutions and plate count was used to determine the number of microorganisms present in the study treatments (Robert, 1990). The microbiological variables evaluated were: Total Bacteria (TB) on nutrient agar culture (Wollum, 1982), Total Fungi (TF) on potato dextroxa agar culture (Wollum, 1982) and ligninolytic microorganisms on culture suggested by Subba R., (1992) containing tannic acid and malt extract. The boxes were incubated at 28 °C for 3-7 days and the grown colonies (Clark, 1965) were counted.

The substrate temperature in the container was measured in the central part of the experimental units; readings were taken three times per week in the morning and were taken in the middle part of the experimental units. The room temperature was measured with a WhatchDog micro-station Series 1000 Spectrum® Technologies, Inc. model 1425. The reading of the room temperature was taken every hour during the 87 days of the experiment.

The pH and electrical conductivity (EC) were determined in a ratio 1:5 (compost: water). Total Nitrogen (TN) was

el sustrato, durante el periodo de 87 días de compostaje (Radulovich, 2009).

Variables de estudio y diseño experimental

El experimento se realizó empleando diseño completamente al azar con tres repeticiones. La instalación del experimento fue el día 28 octubre de 2011; los muestreos se realizaron a los 12, 26, 47, 75 y 87 días después de instalado el experimento. Las unidades experimentales se colocaron en piso de tierra, en un cuarto techado con lámina de zinc. En cada muestreo se tomaron tres submuestras de aproximadamente 400 g de composta, a los 25, 15 y 5 cm de profundidad, las cuales se mezclaron para obtener una muestra compuesta.

Se utilizó la técnica de diluciones y conteo en placa para determinar el número de microorganismos presentes en los tratamientos de estudio (Robert, 1990). Las variables microbiológicas evaluadas fueron: bacterias totales (BT) en el medio de cultivo agar nutritivo (Wollum II, 1982), hongos totales (HT) en el medio papa dextroxa agar (Wollum II, 1982) y microorganismos ligninolíticos en el medio sugerido por Subba R. (1992) que contiene ácido tánico y extracto de malta. Las cajas se incubaron a 28 °C de 3 a 7 días y se contaron las colonias crecidas (Clark, 1965).

La temperatura del sustrato en los contenedores se midió en la parte central de las unidades experimentales; las lecturas fueron obtenidas tres veces por semana durante

analyzed by the Kjeldahl method (Bremner & Mulvaney, 1982), $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ were determined with KCl 2M solution using the micro-Kjeldahl distillation method (Hesse, 1971). The organic matter was analyzed based on the method of Walkley and Black (1934). Calcium, magnesium, potassium, phosphorus, sulfur, sodium, copper, manganese, iron, zinc and boron were solubilized by digestion of the compost in 9 ml of nitric acid and were quantified by inductively coupled plasma emission spectroscopy model Optima 5300DV, Perkin Elmer.

Microbial respiration was measured using a portable meter, Spectrum Technologies, Inc. (Plainfield, IL) model Telaire® 7001 with an accuracy of ± 50 ppm with a resolution of ± 1 ppm. Microbiological data were transformed to logarithmic base (Log_{10}) for analysis of variance (ANOVA) and mean comparison ($\text{LSD}_{0.05}$) using the Statistical Analysis System (SAS) version 9.0 (SAS Institute, 2004).

Results and discussion

Temperature

Room temperature recorded during the 87 days when the experiment was developed provided a maximum and minimum temperature of 38.2 and -1.6 °C, respectively. The average temperature was 15 °C. The substrates with higher content of chicken manure (treatments 7:3 v/v and 5:5 v/v) showed higher temperatures compared to the substrates with lower content. Thus, the substrate of treatment 5:5 v/v resulted in a maximum and minimum temperature of 25.6 and 13 °C respectively and an average temperature of 18.57 °C; while the substrate of treatment 10:0 v/v had a maximum temperature of 20.3 °C, minimum temperature of 11.3 °C and average temperature of 14.97 °C (Figure 1). In this regard, Tiquia (2002) mentions that the increase in temperature is associated with an increased rate of decomposition, while the decrease in temperature is related to the microbial activity decline and labile fractions of the organic matter.

Microbial populations

Total bacteria: Treatments 9:1 v/v, 7:3 v/v and 5:5 v/v showed their maximum values at 10 and 24 days between 9.49 and 9.82 log units (Ulog); and the lowest values were observed consecutively on days 45 and 87 with 8.62 and 7.96 Ulog, respectively. This was probably due to depletion of the source of labile nitrogen in the substrate. In the last sampling (87 days), substrates with the highest values of total bacterial populations were 9:1 v/v and 7:3 v/v; the substrate with the lowest bacterial population was the treatment 10:0 v/v, this indicates the influence of the chicken manure, on the other materials in total bacterial populations due to nitrogen concentrations (Figure 2).

la mañana y se tomó en la parte central de las unidades experimentales. La temperatura ambiental se midió con micro-estación marca WhatchDog Serie 1000 Spectrum® Technologies, Inc. modelo 1425. El registro de la temperatura ambiental se realizó cada hora durante los 87 días que duró el experimento.

El pH y la conductividad eléctrica (CE) se determinaron en proporción 1:5 (composta:agua). El nitrógeno total (NT) se analizó por el método Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982), el $\text{NH}_4^+\text{-N}$ y $\text{NO}_3^-\text{-N}$ se determinaron con solución de KCl 2M usando el método de destilación micro-Kjeldahl (Hesse, 1971). La materia orgánica se analizó con base en el método de Walkley y Black (1934). El calcio, magnesio, potasio, fósforo, azufre, sodio, cobre, manganeso, fierro, zinc y boro se solubilizaron mediante la digestión de la composta en 9 ml de ácido nítrico y fueron cuantificados mediante espectroscopía de emisión de plasma por acoplamiento inductivo modelo Optima 5300DV marca Perkin Elmer.

La respiración microbiana se cuantificó utilizando un medidor portátil marca Spectrum Technologies, Inc. (Plainfield, IL) modelo Telaire® 7001 con precisión de ± 50 ppm y con resolución de ± 1 ppm. Los datos microbiológicos se transformaron a base logarítmica (Log_{10}) para su análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias ($\text{LSD}_{0.05}$) con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 (SAS Institute, 2004).

Resultados y discusión

Temperatura

La temperatura ambiental registrada durante los 87 días, en los que se desarrolló el experimento, presentó un máximo y mínimo de 38.2 y -1.6 °C, respectivamente. La temperatura media fue de 15 °C. Los sustratos con mayor contenido de gallinaza (tratamientos 7:3 v/v y 5:5 v/v), mostraron mayores temperaturas comparados con los sustratos con menor contenido. Así, el sustrato del tratamiento 5:5 v/v generó temperatura máxima y mínima de 25.6 y 13 °C respectivamente y, temperatura media de 18.57 °C; mientras que el sustrato del tratamiento 10:0 v/v presentó temperatura máxima de 20.3 °C, mínima 11.3 °C y temperatura media de 14.97 °C (Figura 1). A este respecto Tiquia (2002) menciona que el aumento en la temperatura se encuentra relacionado con el aumento en la tasa de descomposición, mientras que la disminución de la temperatura se encuentra relacionada con el declive de la actividad microbiana y de las fracciones lábiles de la materia orgánica.

Poblaciones microbianas

Bacterias totales: Los tratamientos 9:1 v/v, 7:3 v/v y 5:5 v/v presentaron sus valores máximos a los 10 y 24 días,

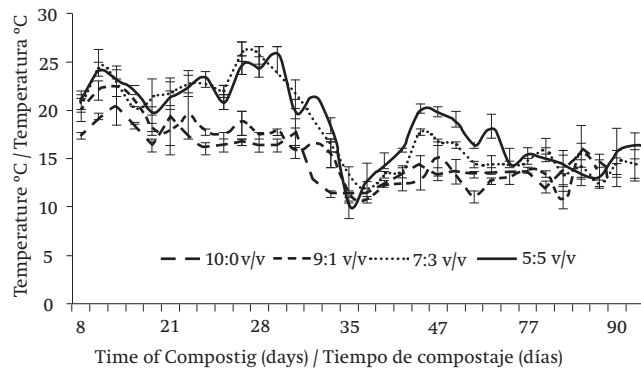


Figure 1. Temperature curves generated in the substrates during the composting process. Each point represents the average of three replications $\pm$ standard error. Significant at $P \leq 0.05$; result of LSD test.

Figura 1. Curvas de las temperaturas generadas en los sustratos durante el proceso de compostaje. Cada punto representa el promedio de tres repeticiones $\pm$ el error estándar. Significativo a una $P \leq 0.05$; resultado de una prueba LSD.

Total Fungi: TF populations showed no statistically significant differences during the composting process. Substrate 10:0 v/v showed low populations ranging from 4.4 to 5.0 ULog, substrate 9:1 showed three peaks of activities at 10, 45 and 87 days with values of 5.33, 5.49 and 5.33 ULog, respectively, and substrate 7:3 v/v at 87 days had 5.58 ULog, with the highest amount of fungal populations. The substrate 5:5 v/v showed a maximum in their populations at 73 days (Figure 2). In this regard Tuomela, Vikman, Hatakka, & Itävaara (2000) mention that fungi require a moderate level of nitrogen for their development, which is consistent with that observed in the present experiment. Adding chicken manure to filter cake meant an increase of nutrients which has been related to increased fungal populations. Chunha-Queda et al. (2007) mention that bacteria could consume nutrients inhibiting the growth of fungi. TF's population remained almost constant throughout the composting process. This may be because fungi are mostly mesophilic, which according to Dix and Webster (1995) can be found at temperatures between 5 and 37 °C, but their optimal development is between 25 and 30 °C, thus the substrate 5:5 v/v was the only reaching a maximum temperature of 25.6 °C.

Ligninolytic microorganisms: In substrates 10:0 v/v, 9:1 v/v 7:3 v/v the highest populations were observed at the earliest stage as the proportion of manure was higher. In these cases, a higher content of total nitrogen allowed to increase rapidly ligninolytic microorganisms population. The substrate 10:0 v/v, showed its maximum population of ligninolytic microorganisms

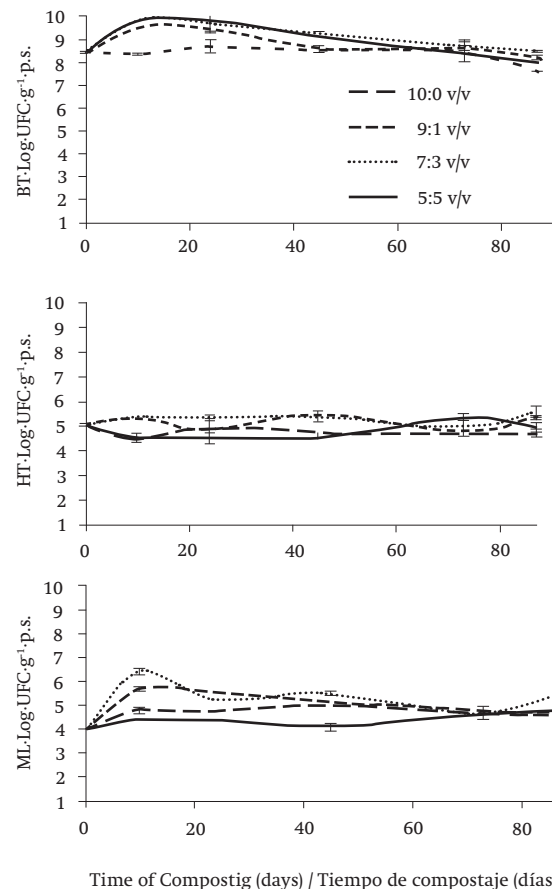


Figure 2. Dynamics of microbial groups of TB and TF and ligninolytic microorganisms (LM). Each point represents the average of three replications $\pm$ standard error. Significant at $P \leq 0.05$, result of LSD test.

Figura 2. Dinámica de grupos microbianos de BT, HT y microorganismos ligninolíticos (ML). Cada punto representa el promedio de tres repeticiones $\pm$ el error estándar. Significativo a una $P \leq 0.05$, resultado de una prueba LSD.

entre 9.49 y 9.82 unidades logarítmicas (ULog); y sus valores más bajos se observaron de manera consecutiva en los días 45 y 87 con 8.62 y 7.96 ULog, respectivamente. Esto se debió posiblemente al agotamiento de la fuente de nitrógeno lábil en el sustrato. En el último muestreo (87 días), los sustratos que mostraron mayores valores en sus poblaciones de bacterias totales fueron 9:1 v/v y 7:3 v/v; el sustrato que presentó la menor población bacteriana, fue el tratamiento 10:0 v/v, esto indica la influencia de la gallinaza, sobre los otros materiales, en las poblaciones de bacterias totales, debido a las concentraciones de nitrógeno. (Figura 2).

Hongos totales: Las poblaciones de HT no presentaron diferencias estadísticas significativas durante el proceso de compostaje. El sustrato 10:0 v/v presentó poblaciones bajas oscilando entre 4.4 a 5.0 ULog, el sustrato 9:1

at day 45 (5 ULog); while the substrate 9:1 v/v, reached the largest populations of this microbial group at days 10 and 24 (5.67 and 5.51 ULog). Moreover, the substrate 7:3 v/v showed a maximum at 10 days (6.42 ULog). On the other hand, the substrate 5:5 v/v which showed no peaks of maximum growth in any of the samples could be due to an excess amount of total nitrogen. Toumela et al. (2000) mention that for lignin degradation low nitrogen content (Figure 3) is required.

Nitrogen dynamics during composting

The concentration of TN increased in all treatments (Figure 3). According to Liu, Xiu-Hong, Hong-Tao, &

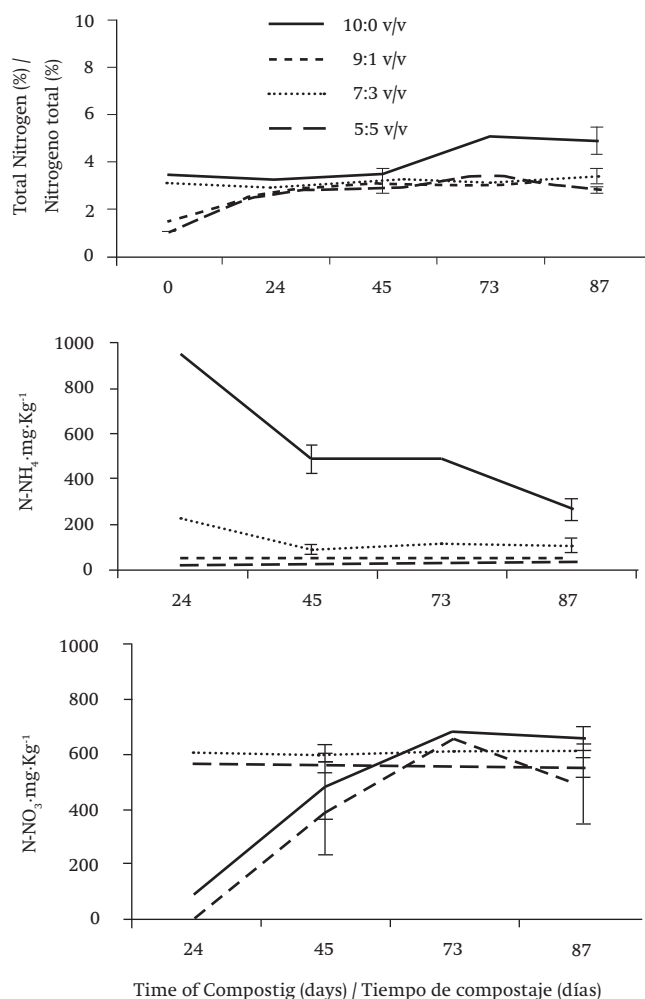


Figure 3. Dynamics of total nitrogen, ammonium and nitrates for the four treatments. Each point represents the average of three replications $\pm$ standard error. Significant at $P \leq 0.05$, result of LSD test.

Figura 3. Dinámica de nitrógeno total, amonio y nitratos para los cuatro tratamientos. Cada punto representa el promedio de tres repeticiones $\pm$ el error estándar. Significativo a una $P \leq 0.05$, resultado de una prueba LSD.

mostró tres picos de actividades a los 10, 45 y 87 días con valores de 5.33, 5.49 y 5.33 ULog, respectivamente, y el sustrato 7:3 v/v a los 87 días tuvo 5.58 ULog, presentando la mayor cantidad de poblaciones fúngicas. El sustrato 5:5 v/v mostró máximo en sus poblaciones a los 73 días (Figura 2). A este respecto Tuomela, Vikman, Hatakka, y Itävaara (2000), mencionan que los hongos requieren nivel moderado de nitrógeno para su desarrollo, lo cual concuerda con lo observado en el presente experimento. La adición de gallinaza a la cachaza significó aumento de nutrimentos, el cual se ha relacionado con el aumento de las poblaciones fúngicas. Chunha-Queda et al. (2007) mencionan que las bacterias podrían consumir nutrientes inhibiendo el desarrollo de los hongos. La población de HT se mantuvo casi constante durante todo el proceso de compostaje. Esto puede deberse a que los hongos, en su mayoría, son mesófilos los cuales según Dix y Webster (1995) se pueden encontrar a temperaturas entre 5 y 37 °C, pero su desarrollo óptimo se encuentra entre los 25 y 30 °C, siendo el sustrato 5:5 v/v el único que alcanzó máxima de temperatura de 25.6 °C.

Microorganismos ligninolíticos: En los sustratos 10:0 v/v, 9:1 v/v y 7:3 v/v las poblaciones más altas se presentaron en la etapa más temprana, conforme la proporción de gallinaza fue mayor. En estos casos, el mayor contenido de nitrógeno total, permitió incrementar rápidamente las poblaciones de los microorganismos ligninolíticos. El sustrato 10:0 v/v, mostró su máxima población al día 45 (5 ULog); mientras que el sustrato 9:1 v/v, alcanzó las mayores poblaciones de este grupo microbiano a los días 10 y 24 (5.67 y 5.51 ULog). Por otro lado, el sustrato 7:3 v/v mostró su máximo a los 10 días (6.42 ULog). En contraste con el sustrato 5:5 v/v, que no mostró picos de máximo crecimiento en ninguno de los muestreos, podría deberse a un exceso en la cantidad de nitrógeno total. Toumela et al. (2000) mencionan que para la degradación de la lignina se requieren contenidos bajos de nitrógeno (Figura 3).

Dinámica de nitrógeno durante el proceso de compostaje

La concentración del NT aumentó en todos los tratamientos (Figura 3). Según Liu, Xiu-Hong, Hong-Tao, y Ying (2011), este aumento es esperado, debido a la pérdida neta de masa seca a través de la pérdida de carbono por la volatilización de CO₂. El sustrato 5:5 v/v al final del experimento presentó el mayor porcentaje (4.66 %) de NT (Figura 3), este valor es mayor al observado por Hernández et al. (2008), quienes reportan para el compost de cachaza 1.6 % de NT final, lo que nos indica que la adición de la gallinaza aumentó el porcentaje de NT en el compost. El NH₄⁺-N para los sustratos 10:0 v/v y 9:1 v/v no mostraron diferencias estadísticas a través del tiempo; a diferencia de los sustratos 7:3 v/v y 5:5 v/v que presentaron disminución, el sustrato 5:5 v/v

Ying, (2011) this rise is expected due to a net loss of dry mass through carbon loss by CO_2 volatilization. The substrate 5:5 v/v at the end of the experiment had the highest percentage (4.66 %) of TN (Figure 3); this value is greater than that observed by Hernandez et al. (2008), who reports for the compost of filter cake 1.6 % of final TN, which indicates that the addition of chicken manure increased the percentage of TN in the compost. The $\text{NH}_4^+\text{-N}$ for substrates 10:0 v/v and 9:1 v/v showed no statistical differences over time; unlike the substrates 7:3 v/v and 5:5 v/v with a decrease, the substrate 5:5 v/v had the highest amount of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ with $268.33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ at the end of the experiment. In this regard, Méndez, Sánchez, Palma-López, & Salgado, (2011) reported for a compost of 100 % filter cake supplemented with 0.5 % N and one without additive $1,195.1$ and $246.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, respectively (Figure 3). The final values of TN for all substrates may be indicative of the maturity of the substrates. In this regard Raj & Antil, (2011) indicates that values lower than $400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ are an indicator of the maturity of the compost. $\text{NO}_3^-\text{-N}$ showed an increase from its initial value; the final values show no significant differences among them and the final values were found between 483.00 and $657.19 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ for substrates 7:3 v/v and 5.5 v/v respectively (Figure 3). Mendez et al. (2011) reported for a compost of 100 % filter cake by adding 0.5 % of N and one without additive $1,372.8$ and $210.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ at the end of the composting process, respectively.

Respiration

Figure 4 shows the behavior of CO_2 during the composting process. The treatments with higher production of CO_2 were the substrates 7:3 v/v and 5:5

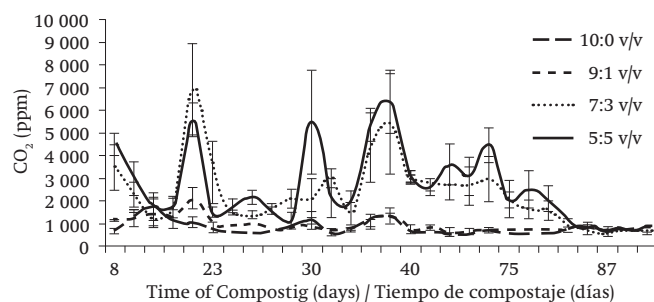


Figure 4. Curves of CO_2 emissions during the composting process of substrates. Each point represents the average of three replications $\pm$ standard error. Significant at $P \leq 0.05$, result of LSD test.

Figura 4. Curvas de las emisiones de CO_2 durante el proceso de compostaje de los sustratos. Cada punto representa el promedio de tres repeticiones $\pm$ el error estándar. Significativo a una $P \leq 0.05$, resultado de una prueba LSD.

fue el que presentó al final del experimento la mayor cantidad de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ con $268.33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. A este respecto, Méndez, Sánchez, Palma-López, y Salgado (2011) reportaron, para compost de 100 % cachaza adicionado con 0.5 % de N y uno sin aditivo, $1,195.1$ y $246.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de $\text{NH}_4^+\text{-N}$, respectivamente (Figura 3). Los valores finales de NT para todos los sustratos pueden ser un indicativo de la madurez de los sustratos. Al respecto Raj y Antil (2011), señalan que valores menores a $400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ son indicador de la madurez del compost. El $\text{NO}_3^-\text{-N}$ mostró aumento con respecto de sus valores iniciales; los valores finales no muestran diferencias significativas entre ellos y se encontraron entre 483.00 y $657.19 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para los sustratos 7:3 v/v y 5.5 v/v respectivamente (Figura 3). Méndez et al. (2011) reportan que para compost de 100 % cachaza adicionando 0.5 % de N y uno sin aditivo $1,372.8$ y $210.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de $\text{NO}_3^-\text{-N}$ al final del proceso de compostaje, respectivamente.

Respiración

En la Figura 4 se puede observar el comportamiento del CO_2 durante el proceso de compostaje. Los tratamientos que mostraron mayor producción de CO_2 fueron los sustratos 7:3 v/v y 5:5 v/v, alcanzando valores de $6,908$ y $5,573 \text{ ppm}$. Los valores alcanzados de temperatura en los sustratos 10:0 v/v y 9:1 v/v fueron los más bajos, lo cual concuerda con lo obtenido por Velasco-Velasco, Figueroa-Sandoval, Ferrera-Cerrato, Trinidad-Santos, y Gallegos-Sánchez (2004) quienes observaron que a mayor temperatura mayor producción de CO_2 . Kalamdhad, Pasha, y Kazmi (2008) consideran que la técnica más directa para medir la estabilidad del compost es la evolución del CO_2 , ya que se encuentra directamente correlacionado con la respiración microbiana aerobia, que en realidad mide la respiración y por lo tanto, la actividad biológica de los grupos microbianos aerobios. Esto quiere decir, que los materiales orgánicos deben tener controlados factores como la humedad, aireación, así como relación carbono nitrógeno entre 20 y 30:1, que permita a los grupos microbianos potenciar sus poblaciones, para acelerar la descomposición de los compuestos carbonados por los microorganismos; y de esta manera alcanzar en corto tiempo una estabilización microbiana que pueda medirse a través de emisión de CO_2 como indicador de la madurez del compost.

Los sustratos con mayor proporción de gallinaza (7:3 y 5:5 v/v) mostraron mayores concentraciones de CO_2 durante todo el proceso de compostaje; lo que explicaría las mayores poblaciones de BT y microorganismos ligninolíticos presentes en dichos sustratos.

Relación C:N

En el Cuadro 2, se presentan los valores finales de la relación carbono:nitrógeno de los sustratos evaluados.

Table 2. Final values of organic matter, total carbon, total nitrogen and the C:N ratio in the treatments of proportion filter cake:chicken manure.

Cuadro 2. Valores finales de materia orgánica, carbono total, nitrógeno total y la relación C:N en los tratamientos de proporción cachaza:gallinaza.

Substrates (v/v) / Sustratos (v/v)	Organic Matter / Materia orgánica	Total Carbon (%) / Carbono Total (%)	Total Nitrogen / Nitrógeno Total	C:N ratio / Relación C:N
10:0	33.30	19.59	2.86	6.85
9:1	36.11	21.24	3.45	6.17
7:3	32.80	19.29	3.42	5.64
5:5	32.30	19.71	4.72	4.17

v/v, reaching values of 6,908 and 5,573 ppm of CO₂. The temperature values reached in substrates 10:0 v/v and 9:1 v/v were the lowest, which is consistent with the results of Velasco-Velasco, Figueroa-Sandoval, Ferrera-Cerrato, Trinidad-Santos, & Gallegos-Sánchez, (2004) who observed that at higher temperature the production of CO₂ increases. Kalamdhad, Pasha, & Kazmi (2008) consider that the most direct technique for measuring the stability of compost is the evolution of CO₂, as it is directly correlated with aerobic microbial respiration, which actually measures the respiration and therefore the biological activity of aerobic microbial groups. This means that the organic materials must control factors such as humidity, aeration and nitrogen-carbon ratio between 20 and 30:1, allowing microbial groups to enhance their populations to accelerate the decomposition of carbon compounds by microorganisms to achieve a microbial stabilization in a short time, that can be measured by CO₂ emission as an indicator of the maturity of the compost.

The substrates with higher proportion of chicken manure (7:3 and 5:5 v/v) showed higher concentrations of CO₂ during the composting process; which would explain the largest populations of TB and ligninolytic microorganisms in these substrates.

C:N ratio

Table 2 shows the final values of the carbon:nitrogen ratio of the substrates evaluated. It is observed that the greater the amount of chicken manure added to the filter cake the lower the carbon:nitrogen ratio. This correspondence is one of the main features that describe the composting process, the reduction of this ratio is because during the composting process C becomes CO₂ (Golueke, 1981; Vourinen & Saharinen, 1997), because it is emitted from the mass of the compost as a metabolic product, the content of N per unit of material increased, which resulted in the decrease of the C:N ratio (Vourinen & Saharinen, 1997; Raj & Antil, 2011). The substrate temperature and microbial respiration, measured by the volatilization of CO₂ and the C: N ratio are considered some of the main indicators of compost maturity.

Se observa que a mayor cantidad de gallinaza, adicionada a la cachaza, menor fue la relación carbono:nitrógeno. Esta correspondencia es de las principales características que describen el proceso de compostaje; la disminución de esta relación se debe a que durante el proceso de compostaje el C se transforma en CO₂ (Golueke, 1981; Vourinen & Saharinen, 1997), debido a que es emitido de la masa de la composta como un producto metabólico, el contenido de N por unidad de material aumentó, lo que dio lugar a la disminución de la relación C:N (Vourinen & Saharinen, 1997; Raj & Antil, 2011). La temperatura del sustrato y la respiración microbiana, medidas por la volatilización de CO₂ y la relación C:N, son considerados como algunos de los principales indicadores de madurez del compost.

Conclusión

La adición de gallinaza a la cachaza almacenada, reactivó las poblaciones de bacterias totales, hongos totales y microorganismos ligninolíticos. Las poblaciones microbianas fueron fuertemente influenciadas por factores como la temperatura y los nutrientes de los sustratos. Esto repercutió, en mayores ULog en bacterias totales y microorganismos ligninolíticos de los sustratos con más alta proporción de gallinaza (7:3 y 5:5 v/v). De la misma manera, la reactivación de la actividad microbiana fue evidenciada por la mayor producción del CO₂ en éstos. La adición de gallinaza incrementó la concentración de nitrógeno total a 4.72 % y a 600 mg.kg⁻¹ de nitratos; mientras que la concentración de amonio se redujo a menos de 300 mg.kg⁻¹ en el producto final, y consecuentemente redujo la relación carbono:nitrógeno a 4:1. La mezcla de gallinaza más cachaza en proporción 5:5 v/v incrementó la carga microbiana y la concentración de los nutrientes evaluados, por lo tanto, mejoró la calidad de la composta.

Fin de la versión en español

Conclusion

The addition of chicken manure to stored filter cake, reactivated total bacterial populations, total fungi and ligninolytic microorganisms. Microbial populations were strongly influenced by factors such as temperature and nutrients of the substrates. This affected, in greater ULog in total bacteria and ligninolytic microorganisms of substrates with higher proportion of chicken manure (7:3 and 5:5 v/v). Similarly, the reactivation of microbial activity was evidenced by the higher production of CO₂. The addition of chicken manure increased the concentration of total nitrogen at 4.72 % and at 600 mg·kg⁻¹ of nitrates; while the ammonia concentration was reduced to less than 300 mg·kg⁻¹ in the final product, and consequently reduced the carbon:nitrogen ratio to 4:1. The mixture of chicken manure and filter cake in proportion 5:5 v/v increased the microbial activity and the nutrient content, therefore the quality of the compost.

End of English version

References / Referencias

- Arreola-Enríquez, J., Palma-López, D. J., Salgado-García, S., Camacho-Chiu, W., Obrador-Olán, J. J., Juárez-López, J. F., & Pastrana-Aponte, L. (2004). Evaluación de abono órgano-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 351–357. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57322312>
- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453. doi:10.1016/j.biortech.2008.11.027
- Bremner, J. M. & Mulvaney, C. S. (1982). Total nitrogen, In A. Page, R. Miller, & D. Keeney, (Eds.) *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and microbiological properties* (pp. 371–378). Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy, USA:
- Clark, F. (1965). Agar Plate Method for Total Microbial Count. In A. Page, R. Miller, & D. Keeney (Eds.) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (pp: 1460–1466). Madison, Wisconsin. USA: American Society of Agronomy.
- Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUC). (2012). Primer estimado de producción de caña y azúcar zafra 2011-2012. p. 12. Obtenido de: <http://www.conadesuca.gob.mx/documentos%20de%20interes/1er%20Estimado%2011-12%20120203%20final%20ordenado.pdf>
- Cunha-Queda, A. C., Ribeiro, H. M., Ramos, A., & Cabral, F. (2007). Study of biochemical and microbiological parameters during composting of pine and *Eucalyptus* bark. *Bioresource Technology*, 98(17), 3213–3220. doi:10.1016/j.biortech.2006.07.006
- Dix, N. J. & Webster, J. (1995). *Fungal Ecology*. Cambridge, Gran Bretaña: Champan & Hall.
- García, E. (2005). *Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen* (4ª ed.). México: Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México.
- Golueke, C. G. (1981). Principles of biological resources recovery. *Biocycle*, 22, 33–40.
- Hernández, G. I., Salgado, G. S., Palma, D. J., Lagunes-Espinoza, L. C., Castelán, E. M., & Ruiz, O. (2008). Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. *Interciencia*, 33(11): 855–860. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/339/33913613.pdf>
- Hesse, P. R. (1971). *A Text Book of Soil Chemical Analysis*. Delhi. India: CBS Publishers and Distributors.
- Kalamdhad, A. S., Pasha, M., & Kazmi, A. A. (2008). Stability evaluation of compost by respiration techniques in a rotatory drum composter. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(5), 829–834. doi:10.1016/j.resconrec.2007.12.003
- Liu, J., Xiu-Hong, X., Hong-Tao, I., & Ying, X. (2011). Effect of microbiological inoculum on chemical and physical properties and microbial community of cow manure compost. *Biomass & Bioenergy*, 35(8), 3433–3439. doi:10.1016/j.biombioe.2011.03.042
- Méndez, M. A., Sánchez, H. R., Palma-López, D. J., & Salgado, G. S. (2011). Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México. *Interciencia*, 36(1), 45–52. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33917727007>
- Radulovich, R. (2009). Método gravimétrico para la determinación *in situ*. La humedad volumétrica del suelo. *Agronomía costarricense* 33 (1), 121-124. Obtenido de <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6739/6427>
- Raj, D., & Antil, R. S. (2011). Evolution of maturity and stability of compost prepared from agro-industrial wastes. *Bioresource Technology*, 102, 2868-2873. doi:10.1016/j.biortech.2010.10.077
- Robert, F. (1990). Impact of environmental factors on populations of soil microorganisms. *The American Biology Teacher* 52, 364- 369.
- Secretaría de Economía. (2012). Análisis de la situación económica, tecnológica y de política comercial del sector edulcorantes en México. Dirección General de Industrias Básicas. Secretaría de Economía. p. 94. Obtenido de: http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/Analisis_Sectorial_Mercado_Edulcorantes.pdf
- Subba R., N. S. (1992). *Biofertilizers in agriculture*. New Delhi, India: Oxford & IBH Publishing Co.
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.). (2004). What is new in SAS® 9.0, 9.1, 9.1.2 and 9.1.3. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. p 340.
- Tiquia, S. M. (2002). Microbial transformation of nitrogen during composting. In: H. Insam, N. Riddech, & Klammer, S. (Eds.), *Microbiology of Composting* (pp. 237–245). Berlin, Alemania: Springer.

- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., & Itävaara, M. (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology*, 72, 169–183.
- Vargas-García, M. C., López, M. J., Suárez, F., & Moreno, J. (2005). Laboratory study of inocula production for composting processes. *Bioresource Technology*, 96, 797–803. doi:10.1016/j.biortech.2004.07.012
- Velasco-Velasco, J., Figueroa-Sandoval, B., Ferrera-Cerrato, R., Trinidad-Santos, A., & Gallegos-Sánchez, J. (2004). CO₂ y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *Terra Latinoamericana*, 22, 307–316. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57322307.pdf>
- Velasco-Velasco, J., Parkinson, R., & Kuri, V. (2011). Ammonia emissions during vermicomposting of sheep manure. *Bioresource Technology*, 102, 10959–10964. doi:10.1016/j.biortech.2011.09.047
- Vuorinen, A. H. & Saharinen, M. H. (1997). Evolution of microbiological and chemical parameters during manure and straw co-composting in a drum composting system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 66(1):19–29.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29–38.
- Wollum II. A. (1982). Cultural Methods for Soil Microorganisms In A. Page, R. Miller & D. Keeney. (Eds), *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. pp. 781–802.
- Zérega, M. L. (1993). Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. *Caña de Azúcar*, 11: 1–13. Obtenido de http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/canadeazucar/cana1102/texto/manejo.htm