



Algunos parámetros biológicos en la evaluación de la estabilidad y la madurez de dos compost

Some biological parameters in the evaluation of the stability and maturity of two compost

Alguns parâmetros biológicos na avaliação da estabilidade e maturidade de dois compostos

Luisa Villalba^{1*}, Jorge Paolini² y Carlos Rocha³

¹Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Instituto Zoología y Ecología Tropical (IZET). Caracas, Venezuela. Correo electrónico: luisa.villalba@ciens.ucv.ve, . ²Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC. Altos de Pipe, Miranda, Venezuela. Correo electrónico: mapire3000@gmail.com, . ³Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Miranda, Venezuela. Correo electrónico: crocha@usb.ve.

Resumen

El compostaje representa una alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos al transformarlos en una enmienda orgánica que mejora la estructura y fertilidad de los suelos. Por ser un proceso microbiológico, se planteó como objetivo analizar algunos parámetros biológicos en la evaluación de la estabilidad y madurez de dos compost. Se elaboraron dos compost con residuos generados en la Universidad Simón Bolívar uno obtenido a partir de residuos orgánicos del comedor y otro a partir de restos vegetales provenientes de la poda de los jardines. Los parámetros evaluados fueron la temperatura y el conteo microbiano, expresado como unidades formadoras de colonias por gramo de compost para levaduras y para bacterias aerobias y anaerobias (a su vez clasificando las bacterias por el método de tinción Gram), así como el índice de germinación determinado por el test de fitotoxicidad. Los resultados obtenidos permitieron concluir que la temperatura de la pila de compost es un buen indicador de la evolución del proceso de compostaje, al estar íntimamente asociado con la actividad biológica indicando las etapas del proceso, en los compost analizados el conteo microbiano permitió evaluarlos como estables, la clasificación bacteriana por tinción Gram, representó un buen indicador de las sucesiones que ocurren en

Recibido el 01-05-2020 • Aceptado el 09-06-2020.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: luisa.villalba@ciens.ucv.ve

el proceso de compostaje y fue útil para ayudar a la clasificación de las bacterias presentes; el test de fitotoxicidad permitió corroborar el grado de madurez y estabilidad de los compost estudiados.

Palabras clave: compostaje, contaje microbiano, fitotoxicidad.

Abstract

Composting represents an alternative for the use of organic waste by transforming it into an organic amendment that improves the structure and fertility of soils. As it is a microbiological process, the objective was to analyze some biological parameters in the evaluation of the stability and maturity of two compost. Two compost was made with waste generated at the Simón Bolívar University one obtained from organic waste generated in the dining room and the other from plant remains from the pruning of the gardens. The parameters evaluated were temperature and microbial count, expressed as colony-forming units per gram of compost for yeast, and for aerobic and anaerobic bacteria (in turn classifying the bacteria by the Gram staining method), as well as the germination index determined by the phytotoxicity test. The results obtained allowed us to conclude that: the temperature of the compost pile is a good indicator of the evolution of the composting process, as it is closely associated with biological activity indicating the stages of the process, in the compost analyzed, the counting of microorganisms allowed to evaluate them as stable, the bacterial classification by Gram staining, represented a good indicator of the successions that occur in the composting process and was useful to help the classification of the bacteria present; the phytotoxicity test corroborated the degree of maturity and stability of the studied compost.

Keywords: composting, microbial count, phytotoxicity.

Resumo

A compostagem representa uma alternativa para o uso de resíduos orgânicos, transformando-o em uma emenda orgânica que melhora a estrutura e a fertilidade dos solos. Por se tratar de um processo microbiológico, o objetivo foi analisar alguns parâmetros biológicos na avaliação da estabilidade e maturidade de dois compostos. Dois compostos foram feitos com resíduos gerados na Universidade Simón Bolívar, um obtido a partir de resíduos orgânicos da cantina e outro a partir de restos de plantas provenientes de podas nos jardins. Os parâmetros avaliados foram temperatura e contagem microbiana, expressos em unidades formadoras de colônia por grama de composto para levedura e bactérias aeróbias e anaeróbias (por sua vez, classificando as bactérias pelo método de coloração de Gram), bem como o índice de germinação, determinado pelo teste de fitotoxicidade. Os resultados obtidos permitiram concluir que a temperatura da pilha de composto é um bom indicador da evolução do processo de compostagem, pois está

intimamente asociada à atividade biológica que indica as etapas do processo. No composto analisado, a contagem microbiana permitiu avaliá-las como estáveis. , a classificação bacteriana por coloração de Gram representou um bom indicador das sucessões que ocorrem no processo de compostagem e foi útil para auxiliar na classificação das bactérias presentes; O teste de fitotoxicidade corroborou o grau de maturidade e estabilidade do composto estudado.

Palavras-chave: compostagem, contagem microbiana, fitotoxicidade.

Introducción

El compostaje permite resolver un problema de gestión de residuos sólidos orgánicos debido a que representa una alternativa práctica y económica para su aprovechamiento, al transformarlos en una enmienda con grandes virtudes como mejorador y/o acondicionador de suelos que facilita la disponibilidad de nutrientes, mejora su estructura y actúa como agente supresor de patógenos vegetales (Bernal *et al.*, 2017; García *et al.*, 2014; Rebollido *et al.*, 2008; Satoshi, 2013; van Elsas y Postma, 2007).

La calidad de un compost, de acuerdo a García *et al.* (2014) es “la capacidad o aptitud del compost para satisfacer las necesidades de las plantas, con un mínimo impacto ambiental y sin riesgo para la salud pública”, y está determinada por su madurez, definida ésta por su estabilización biológica y su “humificación”, así como también por la ausencia de patógenos y de metales pesados (Moreno y Moral, 2008; Román *et al.*, 2013; Satoshi, 2013).

Los compost maduros presentan concentraciones insignificantes de sustancias fitotóxicas de carácter orgánico (aquellas producidas durante la fase más activa del proceso

Introduction

Composting allows solving an organic solid waste management problem because it represents a practical and economic alternative for its use, by transforming them into an amendment with great virtues as a soil improver and/or conditioner that facilitates the availability of nutrients, improves its structures and acts as a suppressive agent for plant pathogens (Bernal *et al.*, 2017; García *et al.*, 2014; Rebollido *et al.*, 2008; Satoshi, 2013; van Elsas and Postma, 2007).

The quality of a compost, according to García *et al.* (2014) is “the capacity or aptitude of the compost to satisfy the needs of the plants, with a minimum environmental impact and without risk to public health”, and is determined by its maturity, defined by its biological stabilization and its “humification”, as well as the absence of pathogens and heavy metals (Moreno and Moral, 2008; Román *et al.*, 2013; Satoshi, 2013).

The mature compost presents insignificant concentrations of phytotoxic substances of organic character (those produced during the most active phase of the composting process as short chain acids) or inorganic, such as NH₃. Thus, a mature compost, according to Rivero (1999)

de compostaje como ácidos de cadena corta) o inorgánico, como por ejemplo NH_3 . Es así, que un compost maduro, de acuerdo con Rivero (1999) y Paul (2015), debe haber cumplido con la fase más activa del proceso (termófila) en la que predominan bacterias de los géneros *Bacillus*, *Thermus* e *Hydrogenobacter* y Actinobacterias-*Streptomyces*.

En este sentido, Cooperband *et al.* (2003) y Moreno y Moral (2008), señalan que la estabilidad del compost se puede definir como el grado de descomposición de la materia orgánica o biodisponibilidad de materia orgánica, la cual es función directa del nivel de actividad de la biomasa microbiana y determinada por medio del O_2 consumido, el CO_2 desprendido o el calor producido como resultado de la actividad microbiológica.

Es poco lo que sabemos sobre los microorganismos involucrados en el proceso de compostaje debido a la diversidad y estructura de estas comunidades (Rebollido *et al.*, 2008; Partanen *et al.*, 2010); en este sentido, debido a su elevada complejidad, es la actividad microbiológica un parámetro importante que puede contribuir a determinar la calidad del producto final. Así, por ejemplo, el grado de estabilidad se puede determinar directamente a partir del conteo de grupos microbianos o de medidas de la actividad metabólica o bien, indirectamente, por medio del estudio de los constituyentes fácilmente biodegradables o susceptibles a la degradación (Departamento de Agricultura de la DGA, 2001; Ceustermans *et al.*, 2010; Cervera *et al.*, 2012).

and Paul (2015), must have fulfilled the most active phase of the process (thermophilic) in which bacteria of the genera *Bacillus*, *Thermus* and *Hydrogenobacter* and Actinomycetes of genus-*Streptomyces* predominate.

In this sense, Cooperband *et al.* (2003) and Moreno and Moral (2008), point out that stability of the compost can be defined as the degree of decomposition of organic matter or bioavailability of organic matter, which is a direct function of the level of activity of the microbial biomass and determined through the consumed O_2 , the released CO_2 or the heat produced as the result of the microbiological activity.

Little is known about the microorganisms involved in the composting process due to the diversity and structure of these communities (Rebollido *et al.*, 2008; Partanen *et al.*, 2010); in this sense, due to its high complexity, the microbiological activity is an important parameter that can contribute to determining the quality of the final product. Thus, for example, the degree of stability can be determined directly from the count of microbial groups or from measures of metabolic activity or, indirectly, through the study of constituents that are easily biodegradable or susceptible to degradation (Department of Agriculture of the DGA, 2001; Ceustermans *et al.*, 2010; Cervera *et al.*, 2012).

For the microbial counting, direct or indirect methods have been used. In the first case, the different groups of microorganisms are isolated and identified, by obtaining compost

Para el contaje microbiano se han utilizado métodos directos o indirectos, en el primer caso se procede al aislamiento e identificación de los diferentes grupos de microorganismos, mediante la obtención de extractos de compost que luego son sembrados en medios de cultivo, en general, específicos para cada grupo a identificar. La evaluación del crecimiento y las características de las colonias, por observación directa o al microscopio, suministra información acerca de las poblaciones presentes. Las técnicas más utilizadas son el contaje en placa y el número más probable. En los denominados métodos indirectos se agrupan aquellos basados en propiedades funcionales de los grupos microbianos, que pueden medirse y luego relacionarse con poblaciones presentes (Rivero, 1999).

Según la temperatura generada durante el proceso de compostaje, numerosos autores (De Bertoldi *et al.* 1983; Insam y De Bertoldi, 2007; Román *et al.*, 2013; Paul, 2015) identifican cuatro fases, cada una de las cuales está caracterizada por la actividad de diferentes grupos de organismos; así tenemos, una primera fase de corta duración que corresponde al tiempo necesario para que los microorganismos se aclimaten y colonicen el nuevo ambiente en la pila de compost, está caracterizada por un crecimiento microbiano rápido, con un incremento desde la temperatura ambiente hasta 40 - 45 °C, donde predominan organismos mesófilos (bacterias y hongos) capaces de degradar los componentes de fácil descomposición como azúcares

extracts that are then sown in different cultura media, generally specific for each group in order to identify them identify. Evaluation of the growth and characteristics of the colonies, by direct observation or under a microscope, provides information about the populations present. The most used techniques are the plate count and the most probable number. In the so-called indirect methods, those based on the functional properties of the microbial groups are grouped, which can be measured and then related to the populations present (Rivero, 1999).

According to the temperature generated during the composting process, numerous authors (De Bertoldi *et al.*, 1983; Insam and De Bertoldi, 2007; Román *et al.*, 2013; Paul, 2015) identify four phases, each of which is characterized by the activity of different groups of organisms; thus we have, a first phase of short duration that corresponds to time necessary for the microorganisms to acclimatize and colonize the new environment in the compost pile, is characterized by rapid microbial growth, with an increase from room temperature to 40 - 45 °C, where mesophilic organisms (bacteria and fungi) capable of degrading easily decomposable components such as sugars and proteins predominate; Subsequently, the thermophilic or hygienization phase follows, where the temperature rises above 45 °C for several weeks where thermophilic organisms responsible for the degradation of complex carbon sources such as celluloses, hemicelluloses, lignins and chitins predominate;

y proteínas; posteriormente, sigue la fase termófila o de higienización, donde la temperatura se eleva por encima de los 45 °C durante varias semanas donde predominan los organismos termófilos responsables de la degradación de fuentes de carbono complejas como celulosas, hemicelulosas, ligninas y quitinas; posteriormente al agotarse las fuente de carbono y en especial de nitrógeno en el material de compostaje, comienza a enfriarse la pila, retornan los organismos mesófilos y el proceso de compostaje continua hasta la fase final de maduración o neoformación de sustancias húmicas que puede ser un período de varios meses a temperatura ambiente. De allí que la flora del compost es extremadamente diversa.

En este contexto, el objetivo del trabajo fue analizar algunos parámetros biológicos en la evaluación de la estabilidad y la madurez de dos compost. Los parámetros evaluados fueron la temperatura, el contaje microbiano, expresado como unidades formadoras de colonias por gramo de compost para levaduras y para bacterias aerobias y anaerobias (a su vez clasificando las bacterias por el método de tinción Gram), y el índice de germinación determinado por el test de fitotoxicidad.

Materiales y métodos

Se prepararon dos compost uno identificado como compost comedor (CC) y un segundo denominado compost de jardín (CJ).

Compost de comedor (CC). Se elaboró con base a restos orgánicos

Subsequently, when the carbon and especially nitrogen sources in the composting material are exhausted, the pile begins to cool down, the mesophilic organisms return and the composting process continues until the final phase of maturation or new formation of humic substances, which may be a period several months at room temperature. Hence, the compost flora is extremely diverse.

In this context, the objective of the work was to analyze some biological parameters in the evaluation of the stability and maturity of two compost. The parameters evaluated were temperature, microbial count, expressed as colony-forming units per gram of compost for yeast and for aerobic and anaerobic bacteria (in turn classifying the bacteria by the Gram staining method), and the germination index was determined by the phytotoxicity test.

Materials and methods

Two compost were prepared, one identified as dining room compost (CC) and a second called garden compost (CJ).

Dining Compost (CC). It was made based on organic remains generated in the dining room of the Universidad Simón Bolívar (USB) (eggshell, coffee grounds, legume residues, vegetables, fruits that do not include processed food, meat, or fats), pruning remains (leaves and branches, mainly) from garden maintenance of the USB and soil adjacent to the area where the

generados en el comedor de la Universidad Simón Bolívar (USB) (cáscara de huevos, borra de café, residuos de legumbres, hortalizas, frutas que no incluye comida elaborada, carnes, ni grasas), restos de poda (hojas y ramas, principalmente) del mantenimiento de las áreas verdes de la USB y suelo aledaño a la zona donde se hizo el compost, de tal manera de ser utilizado como inóculo de microorganismos.

Para la elaboración del CC primero se hizo un inventario de los residuos orgánicos generados en las áreas verdes, así como en los comedores y los cafetines de la USB; segundo, se determinó el contenido de carbono orgánico (Walkley y Black - digestión con dicromato de potasio y colorimetría) y nitrógeno total (método Kjeldahl - digestión con ácido sulfúrico) de los residuos orgánicos empleados; tercero, se utilizó la metodología propuesta por Richard y Trautmann (2002), para estimar las cantidades de cada material a utilizar en la preparación de la mezcla, de tal manera de obtener una relación inicial 30:1 de C:N, aproximadamente. De allí que se utilizaron tres partes de residuos de jardín por una parte de residuos de comedor y 0,30 % de suelo en la elaboración de una pila de compost.

Compost de jardín (CJ). Este fue el segundo compost que se evaluó, y es el que realiza normalmente el Vivero El Horticultor en la USB (por confidencialidad se reservan los materiales y cantidades utilizados), con base a restos de poda al cual le agregan una mezcla multienzimática denominada "Rizobact®", para

compost was made, so as to be used as an inoculum of microorganisms.

For preparation of the CC, an inventory was first made of the organic waste generated in the canteens and cafes of the USB; second, the organic carbon content (Walkley and Black - digestion with potassium dichromate and colorimetry) and total nitrogen (Kjeldahl method - digestion with sulfuric acid) of the organic residues used were determined; third, the methodology proposed by Richard and Trautmann (2002) was used to estimate the quantities of each material to be used in the preparation of the mixture, in order to obtain an initial 30:1 ratio of C:N, approximately. Hence, three parts of garden waste was used for one part of dining room waste and 0.30 % of soil in the preparation of a compost pile.

Garden compost (CJ). This was the second compost that was evaluated, and it is the one that is normally carried out by the Nursery El Horticultor in the USB (due to confidentiality the materials and quantities used are reserved), based on pruning remains to which they add a multienzyme mixture called "Rizobact®", to promote microbial activity (to replace soil microorganisms), it was identified as garden compost (CJ).

Compost management. Both compost (CC and CJ) were made simultaneously, for each one a pile (volume of approximately 9 m³) was made on the ground in terrains of the USB Nursery El Horticultor. The compost piles lasted five months (150 days), a composite sample was taken at the beginning (M0) and subsequently

promover la actividad microbiana (en sustitución de los microorganismos del suelo), el mismo fue identificado como compost jardín (CJ).

Manejo del compost. Ambos compost (CC y CJ) se realizaron simultáneamente, para cada uno se elaboró una pila (volumen de 9 m³ aproximadamente) sobre el suelo en terrenos del Vivero El Horticultor de la USB. Las pilas de compost tuvieron una duración de cinco meses (150 días), se tomó una muestra compuesta al inicio (M0) y posteriormente una cada mes (M1, M2, M3, M4, M5), para un total de 6 muestras compuestas (tomadas de 5 partes de la pila) por cada tipo de compost.

Durante la preparación de los compost se mantuvo la humedad y la aireación en las pilas de compostaje, mediante los volteos del material de la pila con un payloader y luego la aplicación de agua con una manguera. Estas labores se hicieron cada 10 ó 15 días durante los tres primeros meses y luego una vez al mes al finalizar el proceso, midiendo en cada oportunidad la temperatura con un termómetro digital marca Hanna®, conectado con una varilla utilizada como sensor, la cual se introdujo al centro de la pila desde varios sitios. La humedad recomendada es de un 60 %, esto se logró agregando a la pila de compost el agua hasta que escurriera, momento a partir del cual se dejaba de regar (Trautmann y Krasny, 1998).

Cuantificación de la población microbiana. Se aplicaron las técnicas estándares de microbiología especificadas en el Manual de Laboratorio de

one every month (M1, M2, M3, M4, M5), for a total of 6 composite samples (taken from 5 parts of the pile) for each type of compost.

During compost preparation, humidity and aeration were maintained in the compost piles, by turning the pile material with a payloader and then applying water with a hose. These tasks were carried out every 10 or 15 days during the first three months and then once a month at the end of the process, each time measuring the temperature with a Hanna® brand digital thermometer, connected to a rod used as a sensor, which is introduced to the center of the pile from various places. The recommended humidity is 60 %, this was achieved by adding the water to the compost pile until it drained, at which point it stopped watering (Trautmann and Krasny, 1998).

Microbial population quantification. Standard microbiology techniques specified in the USB Environmental Microbiology Laboratory Manual (1999) and considerations by Trautmann and Krasny (1998) were applied. All determinations were made in triplicate.

Aerobic bacterial population. Colony forming units (UFC) per gram of compost were determined by seeding the sample on the surface on the surface of agar nutrient plates (Merck®), incubated at 37 °C for 48 hours in an aerobic environment.

Anaerobic bacterial population. The procedure was the same as in the previous procedure, except that the samples were incubated in an anaerobic jar (GasPak system) that achieves anaerobiosis by introducing

Microbiología Ambiental de la USB (1999) y consideraciones de Trautmann y Krasny (1998). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Población bacteriana aeróbica. Se determinaron las unidades formadoras de colonia (UFC) por gramo de compost a través de siembra de la muestra en superficie para aislamiento en placas de agar nutritivo (Merck®), incubadas a 37 °C por 48 horas en ambiente aeróbico.

Población bacteriana anaeróbica. Se procedió igual que en el procedimiento anterior, a excepción de que las muestras fueron incubadas en una jarra anaeróbica (sistema GasPak) que logra la anaerobiosis al introducir en el recipiente tabletas generadoras de gas y cerrarlo herméticamente, para incubarlos a 37 °C por 48 horas.

Población micótica anaeróbica (levaduras). Se determinaron las UFC de levaduras por gramo de muestra mediante la siembra en superficie para aislamiento en agar dextrosa Sabouraud pH 5,6 (Merck®), suplementado con penicilina y estreptomycin (1 mL de suspensión de 6.000.000 UI, en cada cápsula de Petri), y se incubaron a 37 °C por 72 horas en ambiente de jarras anaeróbicas. No se consideró la cuantificación de la población micótica aeróbica debido a que es muy compleja su determinación, ya que son microorganismos de rápido crecimiento y muy expansivo.

Clasificación bacteriana por el método de tinción Gram. Una vez obtenidos los cultivos

gas-generating tablets into the container and sealing it, to incubate them at 37 °C for 48 hours.

Anaerobic fungal population (yeast). Yeast UFCs per gram of sample were determined by surface seeding on Sabouraud pH 5.6 dextrose agar (Merck®), supplemented with penicillin and streptomycin (1 mL of suspension of 6.000.000 UI, in each Petri capsule), and incubated at 37 °C for 72 hours in anaerobic jar environment. The quantification of the aerobic fungal population was not considered because their determination is very complex, since they are fast growing and very expansive microorganisms.

Bacterial classification by the Gram staining method. Once the bacterial cultures were obtained, Gram staining was performed for each bacterial culture that presented morphologically different colonies, identifying the bacteria in Gram+ and Gram- and according to their morphology (cocci and bacilli).

Determination of the Phytotoxicity. For each sample, in five times, the germination index was determined according to the method of Zucconi *et al.* (1981) using lettuce seeds (*Lactuca sativa* L.). In this test, 2 mL of aqueous extract of the substrates (1:5) was added in a Petri dish with filter paper containing 10 lettuce seeds. Subsequently, after two days of incubation in the dark at 22 °C, germination was stopped with the addition of 1 mL of ethanol, the number of germinated seeds and the root length were determined. The control was prepared using distilled water (Acosta *et al.*, 2004).

bacterianos se procedió a realizar la tinción Gram para cada cultivo bacteriano que presentaba colonias morfológicamente distintas, identificando las bacterias en Gram+ y Gram- y de acuerdo a su morfología (cocos y bacilos).

Determinación de la Fitotoxicidad. Para cada muestra, por quintuplicado, se determinó el índice de germinación de acuerdo al método de Zucconi *et al.* (1981) usando semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). En este test, 2 mL de extracto acuoso de los sustratos (1:5) se agregó en una capsula de Petri con papel de filtro contentiva de 10 semillas de lechuga. Posteriormente, luego de dos días de incubación en oscuridad a 22 °C, se detuvo la germinación con la adición de 1 mL de etanol, se determinó el número de semillas germinadas y la elongación de las raíces. El control se preparó utilizando agua destilada (Acosta *et al.*, 2004).

El índice de germinación (IG) se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Índice de Germinación (IG)} = x \times 100$$

$$\text{Índice de Germinación (IG)} = \frac{\% \text{ GS} \times \text{LMS}}{\% \text{ Gagua} \times \text{LMagua}} \times 100$$

Dónde: % GS = % de semillas germinadas en el extracto de compost; % G_{agua} = % de semillas germinadas en agua destilada; LMS = longitud media de las semillas germinadas en el extracto de compost (cm); LM_{agua} = longitud media de las semillas germinadas en agua destilada (cm).

Análisis estadístico. Con el propósito de evaluar las diferencias

The germination index (GI) was calculated as follows:

$$\text{Germination index (IG)} = x \times 100$$

$$\text{Índice de Germinación (IG)} = \frac{\% \text{ GS} \times \text{LMS}}{\% \text{ Gagua} \times \text{LMagua}} \times 100$$

Where: % GS = % of germinated seeds in the compost extract; % Gagua = % of seeds germinated in distilled water; LMS = mean length of the germinated seeds in the compost extract (cm); LMagua = mean length of the seeds germinated in distilled water (cm).

Statistic analysis. In order to evaluate the differences between the values obtained for each parameter studied (which were performed in triplicate), the variability of the data was measured through the determination of the standard deviation in the Excel spreadsheet (Clifford and Taylor, 2008).

Results and discussion

Temperature. Temperature is one of the main parameters for monitoring the composting process, since its evolution is related to many of the biological reactions that take place and is also associated with the ability of the process to reduce the content of pathogens (Stentiford, 1996). Figure 1 shows the evolution of the temperature during the composting time of the two studied compost CC and CJ, where it can be seen that the maximum temperature reached in both piles varied between 55 and 60 °C, a range that is considered optimal (De Bertoldi *et al.*, 1983; Avnimelech *et al.*, 2004; Insam and De Bertoldi,

entre los valores obtenidos para cada parámetro estudiado (los cuales se realizaron por triplicado), se midió la variabilidad de los datos a través de la determinación de la desviación estándar en la hoja de cálculo Excel (Clifford y Taylor, 2008).

Resultados y discusión

Temperatura. La temperatura es uno de los principales parámetros para el monitoreo del proceso de compostaje, ya que su evolución está relacionada con muchas de las reacciones biológicas que tienen lugar y además está asociada a la capacidad del proceso de reducir el contenido de patógenos (Stentiford, 1996). En la figura 1 se muestra la evolución de la temperatura durante el tiempo de compostaje de los dos compost estudiados CC y CJ, donde se puede apreciar que la temperatura máxima alcanzada en ambas pilas varió entre 55 y 60 °C, rango que se considera óptimo (De Bertoldi *et al.*, 1983; Avnimelech *et al.*, 2004; Insam y De Bertoldi, 2007; Kumar, 2010); esta se alcanzó a partir del día 25 y se mantuvo por 45 días más.

2007; Kumar, 2010); this was reached from the 25th day and was maintained for an additional 45 days.

Likewise, the different phases of composting are observed: a mesophilic phase, with a rapid increase in temperature (25 to 40 °C) during the first 10 days (Figure 1), followed by a thermophilic or hygienization phase about 80 days approximately (up to 90 days from the start of the process). In the thermophilic phase, pathogenic mesophiles, fungi, spores, seeds and undesirable biological elements are eliminated (Golueke, 1982; Ghazifard *et al.*, 2001; Bernal *et al.*, 2017), followed by a second mesophilic phase, where the temperature tends to decrease and stabilize as a gradual decrease in microbial activity occurs, and finally, a maturation or humification phase where the temperature of the compost reaches that of the environment.

Figure 1 also shows the effect of the turning on the temperature, when observing that in the turning at 97 days after the temperature began to decreased, it caused a further increase in temperature, which indicates there was still organic matter is easily

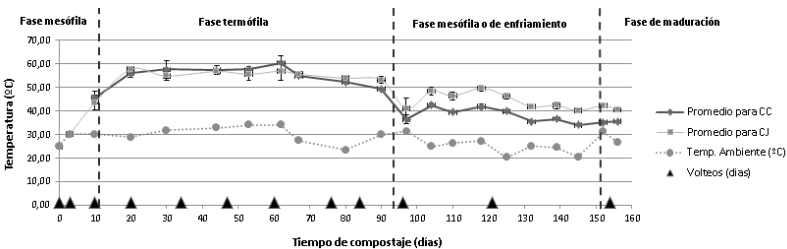


Figura 1. Variación de la temperatura (°C) en los compost estudiados (CC= Compost Comedor y CJ= Compost Jardín), durante el proceso de compostaje.

Figure 1. Variation of temperature (°C) in the studied compost (CC = Compost Comedor and CJ = Compost Jardín), during the composting process.

Igualmente, se observan las diferentes fases o etapas del compostaje: una fase mesófila, con un rápido incremento de la temperatura (25 a 40 °C) durante los primeros 10 días (figura 1), seguida de una fase termófila o de higienización de unos 80 días aproximadamente (hasta los 90 días de iniciado el proceso). En la fase termófila se eliminan los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables (Golueke, 1982; Ghazifard *et al.*, 2001; Bernal *et al.*, 2017) seguidamente, continúa una segunda fase mesófila, en la cual la temperatura tiende a disminuir y a estabilizarse ya que ocurre una disminución gradual de la actividad microbiana, y finalmente tenemos una fase de maduración o humificación donde la temperatura del compost alcanza la del ambiente.

En la figura 1 también se nota el efecto del volteo sobre la temperatura, al observar que en el volteo a los 97 días cuando la temperatura comenzaba a descender, el mismo causó un incremento de nuevo en la temperatura, lo cual nos indica que aún quedaba materia orgánica de fácil degradación o que le faltó humedad a la pila; esto también explica la mayor desviación estándar observada a los 60 y 97 días.

Cuantificación microbiana. Los resultados de la sucesión de los diferentes grupos microbianos en los compost estudiados durante los seis muestreos se presentan en la figura 2.

Al comparar el CC con el CJ (figura 2) se observó que al inicio del proceso la densidad de población de las bacterias aeróbicas fue similar para ambos, luego

degraded or and a moisture lack moisture in the pile; this also explains the higher standard deviation observed at 60 and 97 days.

Microbial quantification. The results of the succession of the different microbial groups in the in the studied compost during the six samplings are presented in Figure 2.

When comparing CC with CJ (figure 2) it was observed that at the beginning of the process the population density of the aerobic bacteria was similar for both, then in the thermophilic phase the population density of the aerobic bacteria increased in greater numbers in the CJ, which decreased more than in CC in the cooling phase. At 60 days when the maximum temperatures were reached in the thermophilic phase, the densities were 2.7×10^{12} CFU.g⁻¹ compost in CJ and 2.5×10^{11} CFU.g⁻¹ compost in CC, values that agree with those indicated by Insam and De Bertoldi (2007).

This could be related to the fact that CJ was elaborated using an inoculum of a multienzyme mixture, and that this was the cause of the differences detected between the two compost at the beginning of the process; since in the case of CJ, enzymes contributed to facilitating the nutrition of microorganisms, while in the case of CC, the native microbial population of the starting materials, it is presumed that it had to develop its own mechanisms for obtaining nutrients. However, the microbial population at the end of the evaluation reached the same density (9.7×10^6 CFU.g⁻¹ compost) in both compost.

en la fase termófila se incrementó en mayor número la densidad de la población de las bacterias aeróbicas en el CJ, las cuales decrecieron en mayor cantidad que en el CC en la fase de enfriamiento. A los 60 días cuando se alcanzaron las máximas temperaturas en la fase termófila, las densidades fueron de $2,7 \times 10^{12}$ UFC.g⁻¹ compost en CJ y $2,5 \times 10^{11}$ UFC.g⁻¹ compost en CC, valores que concuerdan con los indicados por Insam y De Bertoldi (2007).

Anaerobic bacteria were found during the first three months in higher population density in CC than in CJ, but decreasing in both composts gradually after the third month, there was an increase in the population density of anaerobic bacteria in CJ compared to CC, to end of the process at the end of the process, similar values in their population density and lower than the initial the initial values were reached. These

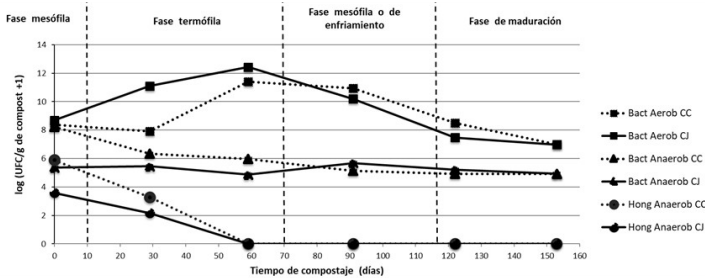


Figura 2. Resultados del conteo microbiano expresado como log (UFC.g⁻¹ de compost + 1) tanto de bacterias aerobias y anaerobias, así como de levaduras durante el proceso de compostaje (150 días) para los compost estudiados (CC= Compost Comedor y CJ= Compost Jardín).

Figure 2. Results of the microbial count expressed as log (CFU.g⁻¹ of compost + 1) of both aerobic and anaerobic bacteria, as well as yeasts during the composting process (150 days) for the compost studied (CC = Compost Comedor and CJ = Compost Garden).

Esto pudo estar relacionado con el hecho de que el CJ fue elaborado utilizando un inóculo de una mezcla multienzimática, y que ésta fuese la causa de las diferencias entre los dos compost detectadas al inicio del proceso; ya que para el caso del CJ, las enzimas contribuyeron a facilitar la nutrición de los microorganismos, mientras que en el caso del CC, la población microbiana nativa de los materiales de partida, se presume

results agree with Corlay *et al.* (1999), Ryckeboer *et al.* (2003) and Gebeyehu and Kibret (2013).

In the case of yeasts, in figure 2, they were only observed in the first two samples (M0 and M1), decreasing in both cases until they disappeared (after the thermophilic stage began in the second month). According to Moreno and Moral (2008), the presence of fungi and yeasts (unicellular fungi) during composting is mainly

que tuvo que desarrollar sus propios mecanismos para la obtención de nutrientes. Sin embargo, la población microbiana al final de la evaluación alcanzó igual densidad ($9,7 \times 10^6$ UFC.g⁻¹ compost) en ambos compost.

Las bacterias anaeróbicas se encontraron durante los tres primeros meses en mayor densidad poblacional en el CC que en el CJ, disminuyendo ambas paulatinamente; luego del tercer mes hubo un incremento de la densidad poblacional de bacterias anaeróbicas en el CJ en comparación con el CC, para posteriormente alcanzar ambos compost al final del proceso valores similares en su densidad poblacional e inferiores a los valores iniciales. Estos resultados coinciden con lo señalado por Corlay *et al.* (1999), Ryckeboer *et al.* (2003) y Gebeyehu y Kibret (2013).

En el caso de las levaduras, en la figura 2, sólo se observaron en las dos primeras muestras (M0 y M1) disminuyendo en ambos casos hasta desaparecer (luego de que se inicia la etapa termófila en el segundo mes). Según Moreno y Moral (2008), la presencia de hongos y levaduras (hongos unicelulares) durante el compostaje está condicionada principalmente por la temperatura; es así que para los CC y CJ, estas temperaturas pudieron tener un efecto antimicótico, ya que no se observaron levaduras luego de este período.

También se debe tomar en cuenta, que cuando el oxígeno está presente, las levaduras crecen eficientemente formando, a partir de los azúcares, biomasa y CO₂ (Madigan *et al.*, 1997),

conditioned by temperature; thus, for CC and CJ, these temperatures could have an antifungal effect, since no yeasts were observed after this period.

It should also be taken into account that when oxygen is present, yeasts grow efficiently, forming from sugars, biomass and CO₂ (Madigan *et al.*, 1997), and the disappearance of yeasts may be related to the fact that the sugar contents have been degraded and depleted. This study had the limitation that the aerobic fungi were studied, in which case it is probable that yeasts were found in the final stages of the composting process. It is interesting to note that under anaerobic conditions, the yeasts decreased and disappeared during the thermophilic stage.

As we can see in figure 2, the highest population density occurred in the thermophilic phase of the composting process; at this stage there was greater metabolic activity, due to the abundance and availability of a substrate with easily assimilable nutrients. This coincided and is explained as indicated by Paul (2015), Escobar *et al.* (2012) and Insam and De Bertoldi (2007), since composting is mainly a microbiological process characterized by the interaction and succession of various groups of microorganisms, whose role in the biooxidation process is essential, and in which the simple compounds of carbon (such as amino acids, soluble sugars, organic acids, among others) are easily metabolized and mineralized by a heterogeneous and heterotrophic microflora, thus high metabolic activity and exothermic

y la desaparición de las levaduras puede estar relacionada con el hecho de que los contenidos de azúcares hayan sido degradados y agotados. Este estudio tuvo la limitación de no estudiar los hongos aerobios, en cuyo caso es probable que se encontrasen levaduras en las etapas finales del proceso de compostaje, lo que sí es interesante señalar es que, en condiciones anaerobias, las levaduras disminuyeron y desaparecieron durante la etapa termófila.

Como podemos observar en la figura 2, la mayor densidad poblacional ocurrió en la fase termófila del proceso de compostaje; en esta etapa hubo mayor actividad metabólica, debido a la abundancia y a la disponibilidad de un sustrato con nutrientes fácilmente asimilables. Esto coincidió y se explica según lo señalado por Paul (2015), Escobar *et al.* (2012) e Insam y De Bertoldi (2007), ya que el compostaje es principalmente un proceso microbiológico caracterizado por la interacción y sucesión de varios grupos de microorganismos, cuyo rol en el proceso de biooxidación es esencial, y en el cual los compuestos de carbono simples (como aminoácidos, azúcares solubles, ácidos orgánicos, entre otros) son fácilmente metabolizados y mineralizados por una microflora heterotrófica y heterogénea, así una alta actividad metabólica y procesos exotérmicos incrementan la temperatura en la masa de compost, lo que representa un fuerte efecto selectivo a favor de pocos organismos aerobios termófilos y productores de esporas.

processes increase the temperature in the compost mass, which represents a strong effect, selective in favor of few aerobic thermophilic organisms and spore producers.

In figure 2, a decrease in the population density of the microorganisms present in both compost (biological stabilization) was clearly observed at the end of the composting process. This final stage began from the third month and was the beginning of a mesophilic (cooling) stage in which the compost reached its biological stability, a stage of approximately two months duration.

In the last stage, in the maturation phase (from the fifth and last month of sampling), the activity and the number of the microorganisms decreased due to the characteristics of the substrate present at that time (poor or scarce in degradable organic compounds), and began its humification process (incipient), which coincides with that indicated by Bernal *et al.* (2017), Moreno and Moral (2008), Lombao *et al.* (2012) and Tiquia (2005), who pointed out that the microbial biomass decreases towards the end of the composting, as the product reaches its maturation, due to the gradual degradation of the most labile molecules, making the total count of microorganisms throughout the process a good test of the state of maturity of the compost.

Bacterial classification by Gram staining. By performing a Gram stain on each bacterial culture that presented morphologically different colonies, the bacterial populations could be grouped based on their

En la figura 2 se observó claramente al final del proceso de compostaje una disminución en la densidad poblacional de los microorganismos presentes en ambos compost (estabilización biológica). Esta etapa final se inició a partir del tercer mes y fue el inicio de una etapa mesófila (de enfriamiento) en la cual el compost alcanzó su estabilidad biológica, etapa de unos dos meses de duración aproximadamente.

En la última etapa, en la fase de maduración (a partir del quinto y último mes de muestreo), la actividad y el número de los microorganismos disminuyó debido a las características del sustrato presente en ese momento (pobre o escaso en compuestos orgánicos degradables), e inició su proceso de humificación (incipiente), lo cual coincide con lo señalado por Bernal *et al.* (2017), Moreno y Moral (2008), Lombao *et al.* (2012) y Tiquia (2005), quienes señalan que la biomasa microbiana decrece hacia el final del compostaje, a medida que el producto alcanza su maduración, debido a la degradación paulatina de las moléculas más lábiles, por lo que el recuento total de microorganismos a lo largo del proceso puede constituir un buen test del estado de maduración del compost.

Clasificación bacteriana por tinción Gram. Al realizarle una tinción Gram a cada cultivo bacteriano que presentaba colonias morfológicamente distintas, se pudieron agrupar las poblaciones bacterianas con base en su morfología (cocos y bacilos) en Gram positivas y Gram negativas, estos resultados se aprecian en las figuras 3 y 4.

morphology (cocci and bacilli) in Gram positives and Gram negatives, these results are seen in Figures 3 and 4.

In these figures, the succession in the bacterial populations present in the compost during the composting process can be observed, with Gram- and Gram+ bacteria predominating at the end of it (their cell walls are more resistant to stress situations, Madigan *et al.*, 1997). These results coincide with that reported by García-Izquierdo and Polo (1999), Moreno and Moral (2008) and Pérez *et al.* (2010), who pointed out that the evolution of temperature with the composting process greatly conditions microbial populations: it increases spores and Gram+ bacteria, conversely inhibiting many other types of bacteria at 55 °C.

Strom (1985), Klammer and Bååth (1998), Boulter *et al.* (2000), Ghazifard *et al.* (2001), Rebollido *et al.* (2008), Moreno and Moral (2008) and Paul (2015) pointed out that, in the analysis of the composting process, the thermophilic community that develops above 50 °C consists of Gram+ bacteria (such as those obtained in the compost studied) mostly from the *Bacillus* genus, a genus well known as dominant in high temperature compost. On the other hand, Puente *et al.* (2009), mentions the genus *Bacillus* as microorganisms that promote plant growth and acts as biocontrollers.

In Figures 3 and 4, it can be observed that between month 2 (M2) and month 3 (M3) -thermophilic phase- the presence of Gram+ aerobic bacilli, a group to which actinobacteria belong (Steger *et al.*, 2005, 2007) and

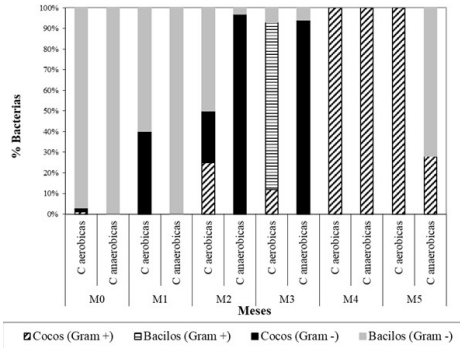


Figura 3. Tipos y cantidades de bacterias de acuerdo a su morfología (cocos y bacilos) y tinción Gram (+ y -), encontradas durante el proceso de elaboración de Compost Comedor (CC).

Figure 3. Types and amounts of bacteria according to their morphology (cocci and bacilli) and Gram staining (+ and -), found during the Compost Comedor (CC) elaboration process.

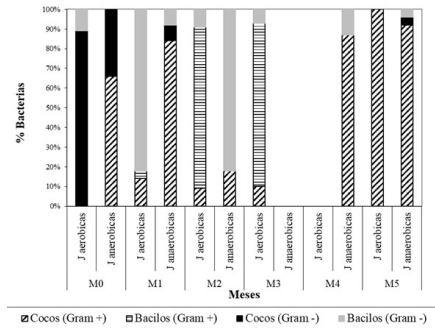


Figura 4. Tipos y cantidades de bacterias de acuerdo a morfología (cocos y bacilos) y tinción Gram (+ y -), encontradas durante el proceso de elaboración de Compost Jardín (CJ).

Figure 4. Types and quantities of bacteria according to morphology (cocci and bacilli) and Gram staining (+ and -), found during the Compost Garden (CJ) elaboration process.

En dichas figuras se pueden observar la sucesión en las poblaciones bacterianas presentes en los compost durante el proceso de compostaje, predominando al inicio bacterias Gram- y Gram+ al final del mismo (sus paredes celulares son más resistentes a las situaciones de estrés, Madigan *et al.*, 1997). Estos resultados coinciden con lo reportado por García-Izquierdo y Polo (1999), Moreno y Moral (2008) y Pérez *et al.* (2010), quienes señalaron que la evolución de la temperatura con el proceso de compostaje condiciona enormemente a las poblaciones microbianas; incrementa las esporas y las bacterias Gram+, inhibiendo por el contrario a otros muchos tipos de bacterias a los 55 °C.

Strom (1985), Klamer y Bååth (1998), Boulter *et al.* (2000), Ghazifard *et al.* (2001), Rebollido *et al.* (2008), Moreno y Moral (2008) y Paul (2015) señalaron que, en el análisis del proceso de compostaje, la comunidad termófila que se desarrolla sobre los 50°C consiste de bacterias Gram+ (como las obtenidas en los compost estudiados) en su mayoría del género *Bacillus*, un género bien conocido como dominante en compost a altas temperaturas. Por otra parte, Puente *et al.* (2009), menciona al género *Bacillus* como microorganismos promotores del crecimiento vegetal y como biocontroladores.

En las figuras 3 y 4, se puede observar entre el mes 2 (M2) y el mes 3 (M3) -fase termófila-, la presencia de bacilos aerobios Gram+, grupo al cual pertenecen las actinobacterias (Steger *et al.*, 2005, 2007) y período en el cual las temperaturas en ambos

the period in which the temperatures in both compost (dining room and garden) were above 50 °C, coinciding with that indicated by Paul (2015) and Cervera *et al.* (2012). Actinobacteria have also been described as colonizers of the rhizosphere, capable of exerting biocontrol on phytopathogenic fungi, promoting nodulation and assisting *Rhizobium* bacteriodes, iron assimilation, nitrogen fixation in legumes, which indirectly contributes to stimulating plant growth (Escobar *et al.*, 2012; Cervera *et al.*, 2012; van Elsas and Postma, 2007).

During the composting process, the presence of white spots inside the composting piles was observed after the first month; this coincides with Menoyo (1995), who in a study on composting reported the visual appreciation of white spots possibly corresponding to fungal colonies, which generally began to appear during the thermophilic phase. On the other hand, Boulter *et al.* (2000) pointed out that actinobacteria can be seen as a white film on the surface of organic matter, at the end of the composting process.

We must also consider the possible appearance of Gram negative bacilli during the cooling phase, where *Pseudomonas* are found, reported by Pérez *et al.* (2015) as opportunistic pathogens in crops of economic importance such as tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Saudi Arabia and broccoli (*Brassica oleracea* L.) in China; which can represent a serious risk to the sanitary quality of the final product destined for agronomic use (Hassen *et al.*, 2001).

compost (comedor y jardín) estuvieron por encima de 50°C, coincidiendo con lo señalado por Paul (2015) y Cervera *et al.* (2012). Las actinobacterias, también han sido descritas como colonizadoras de la rizósfera, capaces de ejercer biocontrol, sobre hongos fitopatógenos, promover la nodulación y ayudar a los bacteriodes de *Rhizobium*, a la asimilación del hierro, en la fijación de nitrógeno, en leguminosas, lo cual contribuye, indirectamente, a estimular el crecimiento vegetal (Escobar *et al.*, 2012; Cervera *et al.*, 2012; van Elsas y Postma, 2007).

Durante el proceso de compostaje, se apreció luego del primer mes la presencia de manchas blancas en el interior de las pilas de compostaje; esto coincide con Menoyo (1995), quien en un estudio sobre compostaje reportó la apreciación visual de manchas blancas correspondientes posiblemente a colonias de hongos, las cuales generalmente comenzaban a aparecer durante la fase termófila. Por otra parte, Boulter *et al.* (2000) señalaron que las actinobacterias pueden ser vistas como una película blanca en la superficie de la materia orgánica, al final del proceso de compostaje.

También hay que considerar la posible aparición de bacilos Gram negativos durante la fase de enfriamiento, donde se encuentran las *Pseudomonas*, reportadas por Pérez *et al.* (2015) como patógenos oportunistas en cultivos de importancia económica como el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Arabia Saudita y el brócoli (*Brassica oleracea* L.) en China; lo que

However, Pérez *et al.* (2015) also refer to this bacterial genus (*Pseudomonas*) as an excellent example of the combination of multiple mechanisms through which it exerts effective biological control, including direct antagonism and induction of resistance in the plant.

Phytotoxicity determination.

Figure 5 shows the *in vitro* phytotoxicity test, which combines germination and elongation of the root of lettuce seeds (*Lactuca sativa*); it constitutes a valuable tool to evaluate the composting process in the different phases (decomposition, stabilization and curing) and is expressed as a germination index (in percentage units; % IG).

Figure 5 shows that the dining room and garden compost were free of phytotoxic substances after 50 days of the composting process, coinciding with Zucconi *et al.* (1981), Alburquerque *et al.* (2006), Riffaldi *et al.* (1986) and Gao *et al.* (2010), regarding that phytotoxicity during composting, seem to be strictly associated with the initial decomposition stage where toxic concentrations of ammonia, soluble salts and short-chain organic substances such as acetic, propionic, butyric and valeric acids are produced. These authors observed a rapid growth of the germination index after 40 days and stabilizes at the end of the composting period. Other authors such as Tiquia (2010) and Gómez-Brandón *et al.* (2007) indicate that ammonium ion and

puede representar un grave riesgo para la calidad sanitaria del producto final destinado a la reutilización agronómica (Hassen *et al.*, 2001).

certain soluble heavy metals such as zinc and copper have a negative impact on seed germination when composting pig and beef manure,

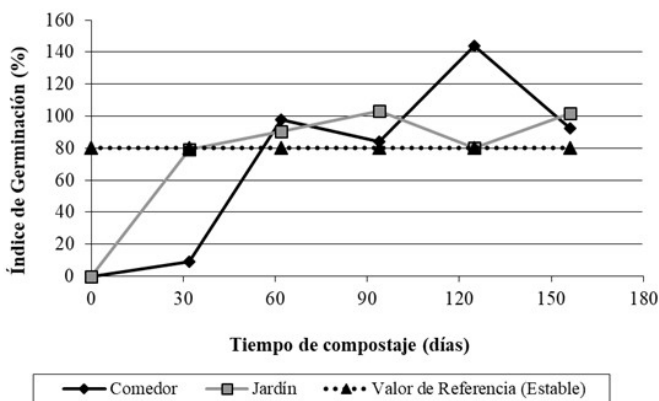


Figura 5. Índice de Germinación (IG) para los compost estudiados (Comedor y Jardín) durante el proceso de compostaje (150 días).

Figure 5. Germination Index (GI) for the studied compost (Canteen and Garden) during the composting process (150 days).

Sin embargo, Pérez *et al.* (2015) también hacen referencia a que este género bacteriano (*Pseudomonas*) constituye un excelente ejemplo de la combinación de múltiples mecanismos a través de los cuales ejerce un efectivo control biológico, incluyendo el antagonismo directo y la inducción de resistencia en la planta.

Determinación de Fitotoxicidad.

En la figura 5 se muestra el test *in vitro* de fitotoxicidad, el cual combina la germinación y la elongación de la raíz de semillas de lechuga (*Lactuca sativa*); constituye una herramienta

respectively. Furthermore, these authors suggest composting times greater than 130 days.

According to what was outlined by Zucconi *et al.* (1981) and Thompson *et al.* (2001) our compost could be considered as mature since the germination index (GI) \geq 80 % at the end of the process.

Conclusions

Temperature is a good indicator of the evolution of composting process, being closely associated with biological activity indicating

valiosa para evaluar el proceso de compostaje en las diferentes fases (descomposición, estabilización y curado) y se expresa como índice de germinación (en unidades de porcentaje; % IG).

En la figura 5 se aprecia que los compost de comedor y jardín estuvieron libres de sustancias fitotóxicas a partir de los 50 días del proceso de compostaje, coincidiendo con lo citado por Zucconi *et al.* (1981), Alburquerque *et al.* (2006), Riffaldi *et al.* (1986) y Gao *et al.* (2010), en lo relacionado a que evaluaciones de fitotoxicidad durante el compostaje, parecen estar estrictamente asociadas a la etapa inicial de descomposición donde se producen concentraciones tóxicas de amonio, sales solubles y sustancias orgánicas de cadena corta como los ácidos acético, propiónico, butírico y valérico. Estos autores observaron un rápido crecimiento del índice de germinación después de los 40 días y se estabiliza al final del período de compostaje. Otros autores como Tiquia (2010) y Gómez-Brandón *et al.* (2007) indican que el ión amonio y ciertos metales pesados solubles como zinc y cobre tienen un impacto negativo sobre la germinación de las semillas al compostar estiércol de cochino y vacuno, respectivamente. Además, estos autores sugieren tiempos de compostaje mayores de 130 días.

De acuerdo a lo reseñado por Zucconi *et al.* (1981) y Thompson *et al.* (2001) nuestros compost se podrían considerar como maduros ya que el índice de germinación (IG) ≥ 80 % al final del proceso.

the stages of the process: mesophilic, thermophilic, mesophilic and cooling. This condition allows defining the characteristics of the compost microorganisms, as well as the stability and maturity once the compost reaches room temperature at the end of the process.

The microbial count allowed evaluating the stability of the compost, since by decreasing the CFU amount at final stage of the process, it was shown that it was biologically stabilized.

The bacterial classification by Gram staining is a good indicator of the successions that occur in the composting process and useful to help the classification of microorganisms present.

The phytotoxicity test corroborated that the studied compost reached a level of maturity and stability, important conditions for determining the quality of a compost.

Acknowledgment

The authors express their gratitude to the Laboratorio de Ecología de Suelos del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), the Nursery El Horticultor, and to Universidad Simón Bolívar (USB).

End of English Version

Conclusiones

La temperatura representó un buen indicador de la evolución del proceso de compostaje, al estar

íntimamente asociado con la actividad biológica indicando las etapas del proceso: mesófila, termófila, mesófila y de enfriamiento. Esta condición permite definir las características de los microorganismos del compost, así como la estabilidad y la madurez una vez que el compost alcanzó la temperatura ambiente al final del proceso.

El conteo microbiano permitió evaluar la estabilidad del compost, ya que al disminuir la cantidad de UFC en la etapa final del proceso se demostró que estaba biológicamente estabilizado.

La clasificación bacteriana por tinción Gram, resultó ser un buen indicador de las sucesiones que ocurren en el proceso de compostaje y útil para ayudar a la clasificación de los microorganismos presentes.

El test de fitotoxicidad permitió corroborar que los compost estudiados alcanzaron un nivel de madurez y estabilidad, condiciones importantes para la determinación de la calidad de un compost.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Laboratorio de Ecología de Suelos del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), al Vivero El Horticultor, y a la Universidad Simón Bolívar (USB).

Literatura citada

Acosta, Y.; J. Paolini y E. Benitez. 2004. Índice de humificación y prueba de

toxicidad de residuos orgánicos de uso agrícola potencial. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 21:385-397.

Albuquerque, J. A.; J. González; D. García and J. Cegarra. 2006. Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere*. 64(3): 470-476. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.10.055>.

Avnimelech, Y.; R. Eilat; Y. Porat and P. A. Kottas. 2004. Factors affecting the rate of windrow composting in field studies. *Compost Sci. Util.* 12(2):114-118. Available in: <https://doi.org/10.1080/1065657x.2004.10702169>

Bernal, M. P.; S. Sommer; D. Chadwick; C. Qing; L. Guoxue and F. C. Michel Jr. 2017. Current approaches and future trends in compost quality criteria for agronomic, environmental, and human health benefits. *Adv. Agron.* 144: 143-233. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.002>

Boulter, J.; G. Boland and J. Trevors. 2000. Compost: A study of the development process and endproduct potential for suppression of turfgrass disease. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 16(2):115-134. Available in: <https://doi.org/10.1023/a:1008901420646>.

Cervera, O.; M. Vargas; F. Suárez; M. López; J. López; M. Jurado y J. Moreno. 2012. Evolución de las poblaciones microbianas en el compostaje: Actinobacterias. p. 313-325. En: Barral, M., M. Díaz-Raviña, R. Devesa-Rey y R. Paradelo, R. (Eds.). Avances en la investigación sobre compost. Materias primas, procesos, calidad y usos. III Jornadas de la Red Española de Compostaje (REC). Andavira Editora, S. L. Santiago de Compostela, España.

Ceustermans, A.; J. Coosemansand and J. Ryckeboer. 2010. Compost microbial activity related to compost stability. p. 115-134. En: H. Insam, I. Franke-Whittle and M. Goberna (Eds.) *Microbes at work*. Springer Verlag,

Berlin. Available in: https://doi.org/10.1007/978-3-642-04043-6_6.

Clifford, R. y R. Taylor. 2008. Biostatística. Ediciones Pearson Educación. Ciudad de México, México. 538 p.

Cooperband, L. R.; A. G. Stone; M. R. Frydaand and J. L. Ravel. 2003. Relating compost measures of stability and maturity to plant growth. *Compost Sci. Util.* 11(2):113-124. Available in: <https://doi.org/10.1080/1065657x.2003.10702118>.

Corlay, L; R. Ferrera-Cerrato; J. Etchevers; A. Echegaray y J. Santizo. 1999. Cinética de grupos microbianos en el proceso de producción de composta y vermicomposta. *Agrociencia (México)*, 33(4): 375-380.

De Bertoldi, M.; G. Valliniand and A. Pera. 1983. The biology of composting: a review. *Waste Manage. Res.* 1: 157-176. Available in: [https://doi.org/10.1016/0734-242x\(83\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0734-242x(83)90055-1)

Departamento de Agricultura de la DGA (Diputación General de Aragón). 2001. Producción y gestión del compost. Segunda Edición. En: *Informaciones Técnicas N° 88*. Dirección General de Tecnología Agraria. Servicio de Formación y Extensión Agraria. Centro de Técnicas Agrarias. Departamento de Agricultura. Gobierno de Aragón. Zaragoza, España. 32 p. Available in: http://bibliotecavirtual.aragon.es/bva/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=3705249.

Escobar, N.; J. Mora y N. Romero. 2012. Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural. Universidad de Caldas, Manizales (Colombia)* 16(1): 75-88.

Gao, M.; F. Liang; A. Yu; B. Li and L. Yang. 2010. Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios. *Chemosphere.* 78(5): 614-619. Available in: doi:10.1016/j.chemosphere.2009.10.056

García, D.; L. Lima; L. Ruíz y P. Calderón. 2014. Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de fincas. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. Año 14. N° 26. 11 p.

García-Izquierdo, C. y A. Polo. 1999. Estudio de parámetros bioquímicos en procesos de estabilización de residuos orgánicos urbanos. *Residuos* 51:76-81.

Gebeyehu, R. and M. Kibret. 2013. Microbiological and physico-chemical analysis of compost and its effect on the yield of kale (*Brassica oleracea*) in Bahir Dar, Ethiopia. *EJST.* 6(2): 93-102.

Ghazifard, A.; R. Kasma-Kermanshahiand and Z. Far. 2001. Identification of thermophilic and mesophilic bacteria and fungi in Esfahan (Iran) municipal solid waste compost. *Waste Manage. Res.* 19(3): 257-261. Available in: doi:10.1177/0734242x0101900307.

Golueke, C. G. 1982. When is compost "safe"? *Biocycle.* 23(2): 28-38.

Gómez-Brandon, M.; C. Lazcano and J. Domínguez. 2007. The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere.* 70(3): 436-444. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.065>.

Hassen, A.; K. Belguith; N. Jedidi; A. Cherif; M. Cherifand and A. Boudabous. 2001. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresour. Technol.* 80(3): 217-225. Available in: [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00065-7](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00065-7)

Insam, H. and M. De Bertoldi. 2007. Microbiology of composting process. P. 25-48. En: L.F. Diaz, M. De Bertoldi, W. Bidlingmaier y E. Stentiford (Eds.). *Compost Science and Technology. Waste Management. Series, N° 8*. Amsterdam, The Netherlands. Available in: [https://doi.org/10.1016/s1478-7482\(07\)80006-6](https://doi.org/10.1016/s1478-7482(07)80006-6).

Klamer, M. and E. Bååth. 1998. Microbial community dynamics during

- composting of straw material studied using phospholipid fatty acid analysis. *FEMS Microbiol. Ecol.* 27(1): 9-20. Available in: [https://doi.org/10.1016/s0168-6496\(98\)00051-8](https://doi.org/10.1016/s0168-6496(98)00051-8).
- Kumar, S. 2010. Composting of municipal solid waste. *Crit. Rev. Biotechnol.* 31(2): 112–136. Available in: doi:10.3109/07388551.2010.492207.
- Lombao, A.; A. Barreiro; M. Fernández-Gómez; E. Romero; R. Nogales y M. Díaz-Raviña. 2012. Caracterización de la comunidad microbiana de diversos suelos y residuos no compostados y vermicompostados. p. 303-312. En: Barral, M., M. Díaz-Raviña, R. Devesa-Rey y R. Paradelo (Eds.). Avances en la investigación sobre compost. Materias primas, procesos, calidad y usos. III Jornadas de la Red Española de Compostaje (REC). Andavira Editora, S. L. Santiago de Compostela, España.
- Madigan, M. T.; J. M. Martinko y J. Parker. 1997. Brock. *Biología de los microorganismos*. Octava edición. Editorial Prentice Hall. Madrid, España. 986 p.
- Manual de Laboratorio de Microbiología Ambiental BC-6384. 1999. Departamento de Biología Celular. División de Ciencias Biológicas. Universidad Simón Bolívar. Coordinadores de la edición: Rocha, C., C. Sajo, M. Rodríguez y J. Gonçalves. Mimeografiado. 76 p.
- Menoyo, A. 1995. Valorización agronómica de la gallinaza. Compostaje. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco. Facultad de Ciencias (Sección de Químicas), Departamento de Química Analítica. Bilbao. 325 p.
- Moreno, J. y R. Moral. 2008. Compostaje, Bloque 1. Tratamiento y gestión de los residuos orgánicos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Partanen, P.; J. Hultman; L. Paulin; P. Auvinen and M. Romanschuk. 2010. Bacterial diversity at different stages of the composting processes. *BMC Microbiol.* 10:94. Available in: <https://doi.org/10.1186/1471-2180-10-94>.
- Paul, E. 2015. Soil microbiology, ecology and biochemistry. Fourth Edition. Academic Press. London, UK. 582 p.
- Pérez, R.; A. Pérez y M. Vertel. 2010. Caracterización nutricional, fisicoquímica y microbiológica de tres abonos orgánicos para uso de agroecosistemas de pasturas en la subregión sabanas del departamento de Sucre. Colombia. *Revista Tumbaga.* 5(1):27-37.
- Pérez, S.; O. Coto; M. Echemendía y G. Ávila. 2015. *Pseudomonas fluorescens* Migula, ¿control biológico o patógeno?. *Rev. Protección Veg.* 30(3): 225-234.
- Puente, M.; J. García; E. Rubio y A. Perticari. 2009. Microorganismos promotores del crecimiento vegetal empleados como inoculantes en trigo. *Revista Horizonte A. Magazine de las Ciencias Agrarias.* 6(23):14-17.
- Rebollido, R.; J. Martínez; Y. Aguilera; K. Melchor; I. Koerner and R. Stegmann. 2008. Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 6(3): 61-67. Available in: https://doi.org/10.15666/aer/0603_061067.
- Richard, T. and N. Trautmann. 2002. C/N Ratio. Available in: http://www.cfe.cornell.edu/compost/_calc/cn_ratio.html. Consultation date: el 08 de mayo de 2002. Riffaldi, R.; R. Levi-Minzi; A.
- Pera and M. De Bertoldi. 1986. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. *Waste Manage. Res.* 4(1): 387-396. Available in: doi:10.1177/0734242x8600400157
- Rivero, C. 1999. *Materia orgánica del suelo*. Revista Facultad de Agronomía (Maracay). Alcance 57:212 p.
- Román, P.; M. Martínez y A. Pantoja. 2013. *Manual de Compostaje del Agricultor, Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, Chile. 112 p. Ryckeboer, J.; J. Mergaert; J.

- Coosemans; K. Deprintsand and J. Swings. 2003. Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *J. Appl. Microbiol.* 94(1): 127-137. Available in: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.01800.x>.
- Satoshi, F. 2013. Resíduos orgânicos e solos. Formulação, índices de maturação de substratos e compostos orgânicos voláteis alvos. Tese Doutorado apresentada à Universidade Federal de Lavras, Programa Pós-Graduação em Ciência do Solo. Minas Gerais. Brasil. 146 p.
- Steger, K.; A. Jarvis; T. Vasara; M. Romantschuk and I. Sundh. 2007. Effects of different temperature management on development of Actinobacteria populations during composting. *Res. Microbiol.* 158(7): 617-624. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2007.05.006>.
- Steger, K.; Y. Eklind; J. Olsson and I. Sundh. 2005. Microbial community growth and utilization of carbon constituents during thermophilic composting at different oxygen levels. *Microb. Ecol.* 50(2): 163-171. Available in: <https://doi.org/10.1007/s00248-004-0139-y>
- Stentiford, E. I. 1996. Composting control: principles and practice. p. 49-59. En: M. De Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes y T. Papi (Eds.), *The Science of Composting. Part I.* Chapman and Hall, London, UK.
- Strom, P. F. 1985. Identification of thermophilic bacteria in solid-waste composting. *Appl. Environ. Microbiol.* 50(4): 906-913.
- Thompson, W.; P. Leege; P. Millner and M. Watson. 2001. Test Methods for the Examination of Compost and Compost (TMECC). Prepared for: the U.S. Composting Council Research and Education Foundation (USCCREF) and U.S. Department of Agriculture (USDA).
- Tiquia, S. M. 2010. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere* 79: 506-512. Available in: <https://doi:10.1016/j.chemosphere.2010.02.040>.
- Tiquia, S.M. 2005. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *J. Appl. Microbiol.* 99: 816-828. Available in: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02673.x>.
- Trautmann, N. and M. Krasny. 1998. Composting in the classroom: Scientific Inquiry for High School Students. Kendall/ Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, USA. 116 p.
- van Elsas, J. D. and J. Postma. 2007. Suppression of soil-borne phytopathogens by compost. p. 201-214. En: L.F. Diaz, M. De Bertoldi, W. Bidlingmaier y E. Stentiford (Eds.) *Compost Science and Technology. Waste Management Series, N° 8.* Amsterdam, The Netherlands.
- Zucconi, F.; A. Pera; M. Forte and M. De Bertoldi. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle.* 22:54-57.