

Efecto de la temperatura y el pH sobre bacterias indicadoras de contaminación fecal y actinomicetes durante el compostaje de arribazones de macroalgas marinas

Temperature and pH effect on bacterium indicating of fecal contamination and actinomycetes during seaweed wracks composting

Efeito da temperatura e do pH nas bactérias indicativas de contaminação fecal e actinomicetos durante a compostagem de macroalgas de algas marinhas

Efraín José Martínez Véliz¹, Julio César Rodríguez Reyes^{1,2*},
Yean Carlos Marín Real³ y Pedro J. López G.¹

¹Universidad de Oriente. Centro Regional de Investigaciones Ambientales (CRIA). Correo electrónico: efrainjose_martinezveliz@hotmail.com; pedro.lopez@ne.udo.edu.ve. ²Departamento de Ciencias. Correo electrónico: juliorod58@gmail.com. Núcleo Nueva Esparta, Isla de Margarita, Venezuela. Código Postal: 6301. ³Investigador independiente. Correo electrónico: yheankar@gmail.com.

Resumen

Los arribazones de macroalgas marinas pueden ser tratados para la elaboración de biofertilizantes. El objetivo del trabajo fue cuantificar los actinomicetes, coliformes fecales, coliformes totales y los enterococos durante el compostaje de macroalgas marinas de arribazones estabilizados con residuos vegetales de jardinería e inoculados con estiércol de gallinaza y lodos activados, valorando el efecto de los procesos microbianos con relación a algunos parámetros físico-químicos. Los arribazones cosechados fueron desarenados, desalados, deshidratados y picados. Los compost: C1: RV:LDT:A y C2: RV:E:A fueron elaborados mezclando macroalgas de arribazones picados (A) con estiércol de gallinaza (E) y lodos de plantas de tratamientos (LDT), adicionando residuos vegetales de jardinería (RV) para balancear la relación carbono:nitrógeno (C:N) de

Recibido el 13-08-18 • Aceptado el 26-02-20.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: juliorod58@gmail.com

25:1. Como testigos se prepararon C3: LDT:A y C4: E:A. Durante los 90 días del compostaje, la variación de la temperatura en los compost definió cuatro fases: latencia, mesotérmica I, termogénica, mesotérmica II; mientras que la quinta fase de maduración fue alcanzada en C3 y C4. Las temperaturas más altas las presentaron C1 y C2; mientras que los mayores valores del pH ocurrieron en C1 (8,65) y C3 (8,66). En los composteros, el logaritmo del número más probable.100 g⁻¹ de la densidad de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos disminuyó hasta ser indetectables a partir de los 30 días de compostaje; mientras que los actinomicetes generalmente no presentaron variación durante el proceso. En C1 y C2 se determinaron las más altas temperaturas que permitieron obtener compost microbiológicamente inocuos en el menor tiempo de compostaje, presentando una relación C:N fuera del rango de aceptación del producto final.

Palabras clave: microorganismos, abono orgánico, algas, residuos vegetales

Abstract

Seaweed wracks can be treated for the production of biofertilizers. The objective of this study was to quantify the actinomycetes, total coliforms, fecal coliform and enterococcus during seaweeds wracks composting stabilized with vegetable garden waste and inoculated with chicken manure and activated sludge, assessing the effect of microbial processes with some physical-chemical parameters. Seaweeds wracks harvested were removed sand, desalted, dried and chopped. The compost C1: RV: LDT: A and C2: RV: E: A were prepared by mixing the seaweed wracks chopped (A) with chicken manure (E) and sludge treatment plants (LDT) respectively, adding vegetable waste gardening (RV) for the balance of carbon: nitrogen ratio (C:N) of 25:1. As controls were prepared C3: LDT: A and C4: E: A. During the 90 days of composting, the temperature variation in the compost defined four phases: latency, mesothermic I, thermogenic, mesothermic II; while the fifth stage of maturity was only achieved in C3 and C4. C1 and C2 presented the higher temperatures; while higher pH values occurred in C1 (8.65) and C3 (8.66). During composting, the logarithm of the most likely.100 g cell number of total coliforms⁻¹, fecal coliforms⁻¹ and enterococcus⁻¹ decreased to undetectable levels after 30 days; nevertheless, actinomycete generally showed no change during the process. In C1 and C2 the higher temperatures allowed to obtain microbiologically innocuous compost at least composting time, in addition to presenting a C:N without the acceptance range of the final product.

Key words: microorganisms, organic fertilizer, algae, vegetable waste

Introducción

Resumo

O solo superficial das macroalgas marinhas pode ser tratado para a produção de biofertilizantes. O objetivo do trabalho foi quantificar actinomicetos, coliformes fecais, coliformes totais e enterococos durante a compostagem de macroalgas marinhas ressurgentes estabilizadas com resíduos de horta e inoculadas com esterco de galinha e lodo ativado, avaliando o efeito de processos microbianos em relação para alguns parâmetros físico-químicos. As Arribazonas colhidas foram retiradas da areia, dessalinizadas, desidratadas e picadas. O composto: C1: RV: LDT: A e C2: RV: E: A foram feitos misturando macroalgas de tentilhão (A) com estrume de frango (E) e lodo de estações de tratamento (LDT), adicionando resíduos de hortas. (RV) para equilibrar a razão carbono: nitrogênio (C: N) de 25: 1. C3: LDT: A e C4: E: A foram preparados como controles. Durante os 90 dias de compostagem, a variação de temperatura no composto definiu quatro fases: dormência, mesotérmica I, termogênica, mesotérmica II; enquanto o quinto estágio de maturação foi atingido em C3 e C4. As temperaturas mais altas foram apresentadas por C1 e C2; enquanto os maiores valores de pH ocorreram em C1 (8,65) e C3 (8,66). Nos compositores, o logaritmo do número mais provável.100 g⁻¹ da densidade de coliformes totais, coliformes fecais e enterococos diminuiu até serem indetectáveis após 30 dias de compostagem; enquanto os actinomicetos geralmente não mostraram variação durante o processo. Em C1 e C2, foram determinadas as temperaturas mais altas que permitiram a obtenção de composto microbiologicamente seguro no menor tempo de compostagem, apresentando uma relação C: N fora da faixa de aceitação do produto final.

Palavras-chave: microrganismos, fertilizantes orgânicos, algas, resíduos veget

Introduction

En la zona marino-costera del estado Nueva Esparta (Venezuela), periódicamente se acumula una excesiva biomasa de macroalgas marinas denominados arribazonas, por efecto del oleaje, los temporales y las corrientes (Lemus y Balza, 1995). Son grandes contaminadores por los malos olores que generan cuando yacen prolongadamente en las playas, obstruyendo, tanto las actividades pesqueras como turísticas de sol y baño. Sin embargo, estos residuos podrían ser tratados para la elaboración de productos naturales, pero en Venezuela se desconocen

In the zone marine-coastal of Nueva Esparta state (Venezuela), periodically an excessive biomass of macro seaweeds denominate seaweed wracks accumulates, by effect of surge, the storms and the streams (Lemus y Balza, 1995). They are big polluters due to the bad odors that they produce, when they lie long on the beaches, obstructing, both fishing and tourist activities of sun and bathing. However, these residues could be treated for the elaboration of natural products, but in Venezuela, research works about the exploitation

trabajos de investigación sobre el aprovechamiento de las macroalgas de arribazones, específicamente, para el uso como fertilizante orgánico; mientras que en otros países han sido utilizados para la obtención de compost y otras enmiendas orgánicas (McHugh, 2002; Eyra y Sar, 2003; Bula-Meyer, 2004; Miquel, 2004; Tang *et al.*, 2008).

Existen diferentes tipos de microorganismos a lo largo del proceso de compostaje de los residuos orgánicos (Zhang *et al.*, 2016), por lo que un aspecto importante que hay que tener en cuenta es el de la salud, relacionada con la aplicación del compost, el cual está dado por la incidencia de enfermedades producidas por patógenos durante la disposición insalubre de estos productos (Tortosa *et al.*, 2017). Unas buenas prácticas agrícolas y de higiene son necesarias para proteger los cultivos de la contaminación con los patógenos presentes en estos biofertilizantes (Gómez y González, 2004), el objetivo de este trabajo fue cuantificar los actinomicetes, coliformes fecales, coliformes totales y los enterococos durante el compostaje de las mezclas de macroalgas marinas de arribazones estabilizados con residuos vegetales de jardinería e inoculados con estiércol de gallinaza y lodos activados, valorando el efecto de los procesos microbianos con la temperatura y el pH.

Materiales y métodos

Las muestras de arribazones, cuyo componente en su mayoría fueron las macroalgas marinas (98 %) y en menor porcentaje (2 %) restos de fanerógamas marinas (hojas y rizomas de *Thalassia*

of macro seaweeds of seaweed wracks are unknown, specifically for the use of it as an organic fertilizer; while in other countries they have been used to the obtain of compost and other organic amendments (McHugh, 2002; Eyra y Sar, 2003; Bula-Meyer, 2004; Miquel, 2004; Tang *et al.*, 2008).

Different types of microorganisms exist throughout the composting process of the organic residues, (Zhang *et al.*, 2016), so an important aspect to take into account is health, related to the application of compost, which is given by the incidence of diseases produced by pathogens during the unhealthy disposal of these products (Tortosa *et al.*, 2017). Good agricultural and hygiene practices are necessary to protect the crops from pollution with the pathogens present in these biofertilizers (Gómez y González, 2004), the objective of this research was quantify the actinomycetes, fecal coliforms, total coliforms and enterococcus during the composting of macro seaweeds mixtures of seaweed wracks established with vegetable residues of gardening and inoculated with chicken manure and activated muds, valuing the effect of microbial processes with temperature and pH.

Materials and methods

The samples of seaweed wracks, which components were mostly macro seaweeds (98 %) and in a lower percentage (2 %) remains of sea phanerogams (leaves and rhizomes of *Thalassia testudinum* and leaves of mangroves) that were harvested on the beaches located to the northeast (Varadero, El Agua and Puerto Abajo), southeast (Los

testudinum y hojas de mangles, fueron cosechadas en las playas ubicadas al noreste (Varadero, El Agua y Puerto Abajo), sureste (Los Cocos y La Isleta) y en la región occidental (La Poza de Boca de Río) de la Isla de Margarita, Nueva Esparta, Venezuela, procediendo a desarenar el material con agua de mar en el mismo sitio de extracción hasta la eliminación entre 90 y 95 % del contenido de arena, el desalado (endulzado), eliminando el exceso de sales con 0,65 L de agua dulce. kg^{-1} de material fresco, escurriendo durante 15 min, repitiendo el mismo procedimiento hasta que la conductividad del lixiviado se redujo desde $30.000 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ a $400\text{-}1000 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ o que el contenido residual en sales solubles sea inferior al 7 % (Miquel, 2004), el deshidratado, donde el material desarenado, desalado y escurrido se secó naturalmente durante 48 a 72 h, realizando un volteo diario hasta obtener un secado uniforme (15 % de humedad).

Los residuos vegetales como material estructurante (Rodríguez, 2004) fueron recolectados en el Campus Guatamare, Universidad de Oriente. Al igual que las macroalgas de arribazones fueron picados en pedazos de 2-5 cm, utilizando un molino a martillo, marca Nogueira®, modelo DPM-4. El estiércol de gallinaza fue colectado con las camadas de aves ponedoras elaboradas con cáscara de arroz; mientras que los lodos fueron recogidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Juan Griego, Isla de Margarita.

El carbono orgánico (C) se determinó colorimétricamente por oxidación húmeda (Gilbert de Brito *et al.*, 1990) y el nitrógeno total (N) según la técnica macro-Kjeldahl (Bremner, 1965), pesándose para ambos métodos

Cocos and La Isleta) and in the western region (La Poza de Boca de Río) of La Isla de Margarita, Nueva Esparta, Venezuela, proceeding to sandblast the material with seawater at the same extraction place until elimination between 90 and 95 % of sand content, the salty (sweetened), removing the excess of salts with 0,65 L of sweet water. kg^{-1} of fresh material, draining during 15 min, repeating the same process until the conductivity of the leachate was reduced from $30,000 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ to $400\text{-}1000 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ or that the residual content in soluble salts is lower to the 7 % (Miquel, 2004), the dehydrated, where the desanded, desalted and drained material was naturally dried during 48 to 72 h, doing a daily turning until obtain an uniform drying (15 % of moisture).

The vegetable residues as structuring material (Rodríguez, 2004) were collected at the Campus Guatamare, Universidad de Oriente. As the macro algae of seaweed wracks, they were chopped into pieces of 2-5 cm, using a hammer mill, Nogueira® brand, and model DPM-4. The chicken manure was collected with litters of laying birds elaborated with rice husk; while the muds were collected of the treatment plant of Juan Diego city, Isla de Margarita.

The organic carbon (C) was colorimetrically determined by humid oxidation (Gilbert de Brito *et al.*, 1990) and the total nitrogen (N) according to the macro-Kjeldahl technique (Bremner, 1965), weighing for both methods 0.1 g of the compost sample.

The C:N relation of seaweed wracks of seaweed (10.5:1), of the chicken manure (13.9:1) and muds (12.44:1) were lower than the rates

0,1 g de la muestra de compost.

La relación C:N de los arribazones de algas marinas (10,5:1), del estiércol de gallinaza (13,9:1) y lodos (12,44:1) fueron inferiores a los índices considerados ideales para el compostaje, C:N de 25:1 a 35:1. Fue necesario realizar una mezcla con otros materiales estructurantes lignocelulósicos para balancear los nutrientes (Sztern y Pravia, 1999), que garantizan la adición de carbono suplementario para las actividades metabólicas de las bacterias y hongos involucrados en su descomposición (Polprasert, 1989; Rynk *et al.*, 1992; Canet, 2005). En este trabajo se fijó una relación C:N de 25:1 adicionando residuos vegetales con relación C:N de 31,3:1. La cantidad en ($\frac{p}{p}$) del material incorporado en la mezcla de la pila, se calculó según la fórmula propuesta por Polprasert (1989), donde las proporciones ($\frac{p}{p}$) estimadas para los dos tipos de mezclas elaboradas fueron: C1 (RV:LDT:A): 5 kg residuos vegetales (RV): 1 kg lodos de plantas de tratamientos (LDT): 2 kg arribazones de macroalgas (A) y C2 (RV:E:A): 4 kg residuos vegetales (RV): 1 kg estiércol de gallinaza (E): 2 kg arribazones de macroalgas (A), con su respectiva réplica y dos testigos C3: LDT:A y C4: E:A (arribazones de macroalgas (A) inoculados con lodos de plantas de tratamientos (LDT) y estiércol de gallinaza (E), respectivamente).

La cantidad total (kg) de cada mezcla en relación 25:1 (C:N) y de los controles, fue apilada estáticamente con una humedad de 70 % en armazones de 1 m³, contruidos con tablas de madera y cedazos de malla Trical® 1,45 y como base la superficie del suelo. La humedad

considered ideals for the composting, C:N of 25:1 to 35:1. A mixture with other lignocellulosic structuring materials was necessary to carry out to swing nutrients (Sztern y Pravia, 1999), that guarantee the addition of supplemental carbon for the metabolic activities of bacteria's and fungus involved their decomposition. (Polprasert, 1989; Rynk *et al.*, 1992; Canet, 2005). In this research a C:N of 25:1 relationship was established adding related to C:N of 31.3:1. The quantity in ($\frac{w}{w}$) of the incorporated material into the pile mixture, was calculated according to the formula proposed by Polprasert (1989), where the estimated proportions ($\frac{w}{w}$) for the two types of elaborated mixtures were C1(RV:LDT:A): 5 kg vegetable residues (RV): 1 kg muds of treatment (LDT): 2 kg seaweed wracks of macro algae (A) and C2 (RV:E:A): 4 kg vegetable residues (RV): 1 kg chicken manure (E): 2 kg seaweed wracks of macro algae (A), with their respective replica and two controls C3: LDT:A and C4: E:A (seaweed wracks of macro algae (A) inoculated with muds of treatment plants (LDT) and chicken manure (E), respectively).

The total amount of each sample (kg) in relation 25:1 (C:N) and of the controls, was statically applied with a moisture of 70 % in frames of 1 m³, constructed with wooden boards and Trical® 1.45 mesh sieves, and the soil surface of as a base. The moisture was determined in a dehumidifying balance Sartorius® brand; model MA40 to 64 °C.

The six static piles, constituted by two controls (C3 and C4) and

fue determinada en una balanza deshumificadora marca Sartorius® modelo MA40 a 64 °C.

Las seis pilas estáticas, constituidas por dos controles (C3 y C4) y dos tratamientos (C1 y C2) cada una con su respectiva réplica, fueron cubiertas en su parte superior con plásticos de polipropileno y hojas de palmeras para controlar la pérdida de calor y humedad (Rodríguez, 2004). Durante los 90 días de compostaje se midieron las variaciones de temperaturas al día siguiente de instaladas, luego con frecuencia de cada cuatro días durante los primeros ocho días y posteriormente cada 15 días, utilizando un termómetro digital, marca Brand-Hanna®, modelo 8424. El pH se determinó el mismo día de instaladas las pilas, luego cada 4 días por semana, midiendo la suspensión de la muestra en una solución de KCl (1 mol.L⁻¹) en una relación de 1:2,5 (Jackson, 1964), usando un pH-metro electrónico digital Corning 140®.

Una vez conformadas las seis pilas, se dispusieron en un sistema abierto y se apilaron con un volteo a los 45 días cuando la temperatura se aproximó a la del ambiente. La humedad se ajustó nuevamente con riego hasta alcanzar 70 % de humedad (Rodríguez, 2004).

La evaluación microbiológica se realizó el día de la instalación de las pilas y luego a intervalos de 15 días hasta los 90 días de duración del proceso de compostaje; se obtuvieron 10 muestras simples aleatorias en el estrato medio del centro de la pila utilizando un tubo PVC de 5 cm de diámetro, luego se mezclaron para obtener una muestra compuesta representativa y se colocaron en bolsas

two treatments (C1 and C2) each with their respective replica, were covered on their superior part with polypropylene plastics and palm leaves to control the loss of warm and moisture (Rodríguez, 2004). During 90 days of composting, the variations of temperature were measured the next day of installed, then with a frequency of every four days during the first eight days and every 15 days later, using a digital thermometer, Brand-Hanna® brand, model 8424. The pH was determined the same day of the installation of the piles, after every 4 days a week, measuring the suspension of the sample in a solution of KCl (1 mol.L⁻¹) in a relation of 1:2.5 (Jackson, 1964), using a Corning 140® digital pH-meter.

Once the six piles were formed, they were arranged in an open system and were stacked with a turn after 45 days when the temperature got close the environments. The moisture adjusted again with irrigation until reaching 70 % of moisture (Rodríguez, 2004).

The microbiological evaluation was carried out the day of the piles installation, and then at intervals of 15 to 90 days of the composting process; 10 simple random samples were obtained in the middle state of the center of the pile using a PVC tube of 5 cm of diameter, and later they were mixed to obtain a representative composite sample and they were placed in plastic bags of 2 kg of capacity.

About 20 g of composite sample of each pile were measured, proceeding to carry out a suspension with a

plásticas de 2 kg de capacidad.

Se pesaron 20 g de la muestra compuesta de cada pila, procediéndose a realizar una suspensión con una solución de 190 mL de buffer fosfato salino. Luego se realizó una suspensión serial hasta los 10^{-8} adicionando 9 mL de buffer más 1 mL de la dilución (Lenahan *et al.*, 2005). Para cuantificar y confirmar actinomicetos mesófilos se siguió el procedimiento según Jeffrey (2008) y APHA *et al.* (1998), respectivamente. La enumeración y la confirmación tanto de las bacterias indicadoras de contaminación fecal como de enterococos fue realizada utilizando el método 9221 de tubos múltiples (APHA *et al.*, 1998). Para coliformes el medio de cultivo utilizado fue el caldo lactosa rojo fenol y para enterococos el caldo azida de sodio violeta de etilo.

Los microorganismos coliformes y enterococos se cuantificaron utilizando el método de la ecuación logarítmica al número más probable ($\log \text{NMP.100 g}^{-1}$) de peso seco del compost (APHA *et al.*, 1998); mientras que los actinomicetos se determinaron, a través de colonias típicas en agar almidón caseína y reportándose en base a unidades formadoras de colonias (UFC.g^{-1}) (Jeffrey, 2008).

Las variaciones tanto de las temperaturas como las del pH durante los 90 días de compostaje, entre los diferentes tipos de compost, fueron comparados mediante el análisis de varianza de una vía (ANOVA I) con ayuda de un paquete estadístico Software Statgraphics Centurion XV que también incluyen la comparación de los promedios significativos según el procedimiento de la prueba

solution of 190 mL of buffer saline phosphate. Then a serial suspension was performed until 10^{-8} adding 9 mL of buffer plus 1 mL of dilution (Lenahan *et al.*, 2005). To quantify and confirm mesophyll actinomycetes, the procedure was followed according to Jeffrey (2008) and APHA *et al.* (1998), respectively. The enumeration and the confirmation of contamination indicator bacteria's as enterococcus, was carried out using method of multiple tubes (APHA *et al.*, 1998). For coliforms the medium culture used was phenol red lactose broth and for enterococcus was violet sodium azide broth of ethyl.

The coliforms and enterococcus microorganisms were quantified using the method of logarithmic equation to the most probable number ($\log \text{NMP.100 g}^{-1}$) of compost dry weight (APHA *et al.*, 1998); while the actinomycetes were determined, through typical colonies in casein starch agar and reporting on the basis of colony forming units (UFC.g^{-1}) (Jeffrey, 2008).

The variations in both temperatures and pH during 90 days of composting, between the different types of compost, were compared by the variance analysis of one way (ANOVA I) with the help of Software Statgraphics Centurion XV, a statistical package, which also includes the comparison of significant averages according to the simultaneous test procedure after Duncan ($P < 0.05$).

Results and discussion

The temperature during 90 days of composting ranged between 28.94 and 70.58 °C determining

simultánea a posteriori Duncan (P<0,05).

Resultados y discusión

La temperatura durante los 90 días de compostaje osciló entre 28,94 y 70,58 °C determinándose diferencias significativas entre los promedios (P<0,05). La prueba a posteriori Duncan (P<0,05) diferenció tres grupos homogéneos, donde C1 53,48 °C y C2 51,91 °C constituyó el grupo con los mayores promedios de la temperatura; mientras que C3 41,75 °C y C4 36,17 °C fueron los otros grupos con media moderada y el de menor temperatura, respectivamente (cuadro 1). Las oscilaciones térmicas se corresponden con la energía liberada en forma de calor por la actividad metabólica microbiana durante el compostaje (Rodríguez, 2004 y Tang *et al.*, 2008).

significant differences between the averages (P<0.05). The test after Duncan (P<0.05) differentiated three homogeneous groups, where C1 (53.48 °C) and C2 (51.91 °C) constituted the group with the highest averages of temperature; while C3 (41.75 °C) and C4 (36.17 °C) were the other groups with medium moderate and the lower temperature, respectively (Table 1). The thermal oscillations correspond to the energy released in the form of warm due to the microbial metabolic activity during the composting (Rodríguez, 2004 y Tang *et al.*, 2008).
It's probably that, the nutrient balance made in the compost C1 and C2 to a relationship 25:1 of C:N contributed to the highest increase of temperature with respect to the experimental controls C3 and C4. Generally, the organisms need approximately 25 times

Cuadro 1. Comparación de los promedios de la temperatura entre los diferentes compost durante el proceso de compostaje.

Table 1. Comparison of temperature averages between the different compost, during the process of composting.

Compost	n	Rango	X	SE	IC	D
C4: E:A	91	28,94-56,16	36,17	0,73	35,07-37,28	■
C3: LDT:A	91	32,10-61,18	41,75	0,85	40,64-42,85	■
C2: RV:E:A	91	33,40-68,24	51,91	0,77	50,81-53,02	■
C1:RV:LDT:A	91	34,02-70,58	53,48	0,83	51,83-53,13	■

n: número de días; X: promedio; SE: error estándar; IC: intervalo de confianza; D: prueba a posteriori Duncan (P<0,05).
A: arribazones, RV: residuo vegetal, E: estiércol, LDT: lodo deplanta de tratamiento. . C1, C2; C3, C4: compost.

n: number of days X: average; SE: standard error; IC: confidence interval; D: test after Duncan (P<0,05).
A: seaweed wracks, RV: vegetable residue, E: manure, LDT: mud of plant treatment. C1, C2, C3, C4: compost.

Es probable que, el balance de nutrientes realizado en los compost C1 y C2 a una relación 25:1 de C:N contribuyó con el mayor incremento de la temperatura con respecto a los testigos experimentales C3 y C4. Generalmente, los organismos necesitan aproximadamente 25 veces más carbono que nitrógeno y una proporción equilibrada de C:N entre 25:1 y 35:1, garantizando que otras sustancias nutritivas requeridas por los microorganismos estén presentes en cantidades óptimas (Rynk *et al.*, 1992). Eyra y Sar (2003), recomendaron balancear la relación C:N con proporción mayor de 20:1, mezclando arribazones de macroalgas marinas con sustratos lignocelulósicos que adicionan carbono suplementario para las actividades metabólicas de las bacterias y hongos durante la elaboración de compost. Es evidente que en esta investigación la relación C:N de los arribazones de macroalgas marinas (10,5:1), lodo de la planta de tratamiento (12,44:1) y el estiércol de gallinaza (13,9:1) fueron menores al rango óptimo (25:1 a 35:1) señalado por Polprasert (1989), Dalzell *et al.* (1991), Rynk *et al.* (1992), Torres (2001) y Canet (2005), por lo tanto, el compostaje de la mezcla de los materiales en los compost C3 y C4, debido a una baja relación C:N, presentó menor promedio de temperatura (41,75 y 36,17 °C, respectivamente) que los compost C1 (53,48 °C) y C2 (51,91 °C) (cuadro 1), ya que estos últimos presentaban una adecuada relación C:N de 25:1. Estos resultados coincidieron con los encontrados por el Gobierno

more carbon than nitrogen and a balanced proportion of C:N between 25:1 and 35:1, ensuring that other nutritional substances required by the microorganisms are present in optimal amounts (Rynk *et al.*, 1992). Eyra and Sar (2003), recommended to balance the relationship C:N with greater proportion of 20:1, mixing seaweed wracks of macro seaweeds with lignocellulosic substrates that add supplemental carbon to the metabolic activities of bacteria's and fungus during the elaboration of compost. It's obvious that in this research the C:N relationship of seaweed wracks of macro seaweeds (10.5:1), mud of the treatment (12.44:1) and the chicken manure (13.9:1) were lower to the optimal rate (25:1 a 35:1) by Polprasert (1989), Dalzell *et al.* (1991), Rynk *et al.* (1992), Torres (2001) and Canet (2005), therefore the composting of the materials in the compost C3 and C4, due to the low relationship C:N, presented a lower temperature average (41.75 y 36.17 °C, respectively than the compost C1 (53.48 °C) and C2 (51.91 °C) (table 1), because these last ones present an adequate relationship C:N of 25:1. These results coincided with those found by the Canary government (2012), in which the higher values of temperature (60-70°C) were achieved by a balanced proportion C:N (25:1-35:1), mixing the natural marine seaweed wracks with vegetable residues of gardening.

During 90 days of composting, the temperature variation in different elaborated compost defined four phases: latency, mesothermic I, thermogenic, mesothermic II

de Canarias (2012), en el cual los valores más altos de la temperatura (60-70 °C) se alcanzaron mediante una proporción equilibrada de la relación C:N (25:1-35:1), mezclando arribazones naturales marinos con residuos vegetales de jardinería.

Durante los 90 días del proceso de compostaje, la variación de la temperatura en los diferentes compost elaborados definió cuatro fases: latencia, mesotérmica I, termogénica y mesotérmica II (Polprasert, 1989; Sztern y Pravía, 1999; Zhang *et al.*, 2016), adicionándose la quinta fase o de maduración (Román *et al.*, 2013; Villar *et al.*, 2016) (cuadro 2). La primera correspondió a la temperatura inicial (similar a la del ambiente) de haberse instalado los composteros C1 (34,02 °C), C2 (33,40 °C), C3 (35,32 °C) y C4 (33,20 °C), iniciándose su diferenciación con la fase mesotérmica I (desde el incremento de la temperatura inicial hasta los 45 °C), observándose que en los diferentes compost fue de muy corta duración: C1 (12 horas), C2 (12 horas), C3 (16 horas) y C4 (18 horas). Esta fase se inició por la superación del tiempo de adaptación de los microorganismos al medio, multiplicándose rápidamente con la consecuente elevación de la temperatura (Dalzell *et al.*, 1991).

La tercera fase fue la termogénica (con temperaturas entre 45-75 °C), donde los compost elaborados se diferenciaron tanto en las temperaturas como en el tiempo de duración; C1 y C2 alcanzaron los valores más altos entre 45-70,58 °C y 45-68,24 °C durante 12 semanas aproximadamente (84 y 82 días, respectivamente) (cuadro

Polprasert, 1989; Sztern y Pravía, 1999; Zhang *et al.*, 2016), adding the fifth phase or maturation (Román *et al.*, 2013; Villar *et al.*, 2016) (table 2). The first corresponded to the initial temperature (similar to the environment) of had been installed the composters C1 (34.02 °C), C2 (33.40 °C), C3 (35.32 °C) and C4 (33.20 °C), beginning their differentiation with the mesothermic phase I (since the initial temperature increase until 45° C), noticing that in the different compost was of short duration: C1 (12 hours), C2 (12 hours), C3 (16 hours) and C4 (18 hours). This phase started because of the overcoming time adaptation of microorganisms to the environment, multiplying quickly with the consequent rise of temperature (Dalzell *et al.*, 1991).

The third phase was the thermogenic (with temperatures between 45-75 °C) where the processed compost differed both in temperatures and in time duration; C1 and C2 reached the highest values between 45-70.58 °C and 45-68.24 °C during 12 weeks approximately (84 and 82 days, respectively) (table 2); while C3 and C4 obtained low values between 45-61.18 °C and 45-56.16 °C during 23 days (three weeks and two days) and 10 days 10 (One week and three days), respectively.

The mesothermic phase II or fourth phase (When temperature dropped between 40-45 °C) with higher duration time in the compost C3 and C4 (39 and 38 days, respectively) (table 2) than in C1 and C2 (84 and 82 days, respectively) and finally the fifth phase or maturation phase occurred

2); mientras que C3 y C4 obtuvieron valores bajos entre 45-61,18 y 45-56,16 durante 23 días (tres semanas y dos días) y 10 días (una semana y tres días), respectivamente.

La fase mesotérmica II o cuarta when the temperature dropped to lower or similar temperatures to the environment. However, at 90 days of composting, the temperature didn't drop until the maturation phase levels, except in C3 and C4 when

Cuadro 2. Fases térmicas definidas durante los 90 días del proceso de compostaje de los diferentes compost elaborados.

Table 2. Defined thermal phases during 90 days of composting process of the different compost processed.

Compost	Fase latencia		Fase mesófila I		Fase termogénica		Fase mesófila II		Fase maduración	
	Días	Temperatura (°C)	Días	Temperatura (°C)	Días	Temperatura (°C)	Días	Temperatura (°C)	Días	Temperatura (°C)
C4: E:A	0	32,20	18 h	32,20-45	10(7)*	45-56,16	38	32,64-44,58	41	28,94-32,28
C3: LDT:A	0	35,32	16 h	35,32-45	23 (16)*	45-61,18	39	35,56-44,88	27	32,10-35,40
C2: RV:E:A	0	33,40	12 h	33,40-45	82 (52)*	45-68,24	7	40,46-44,60	-	-
C1: RV:LDT:A	0	34,02	12 h	34,02-45	84 (68)*	45-70,58	5	44,18-44,46	-	-

(*) : Días con temperaturas $\geq 50^{\circ}\text{C}$ A: arribazones, RV: residuo vegetal, E: estiércol, LDT: lodo de planta de tratamiento. C1, C2, C3, C4: compost.

(*) : Days with temperature $\geq 50^{\circ}\text{C}$ A: seaweed wracks, RV: vegetable residue, E: manure, LDT: mud of treatment plant. C1, C2, C3, C4: compost.

fase (cuando la temperatura descendió entre los 40-45 °C) con mayor tiempo de duración en los compost C3 y C4 (39 y 38 días, respectivamente) (cuadro 2) que en C1 y C2 (84 y 82 días, respectivamente) y por último la quinta fase o fase de maduración se dio cuando la temperatura descendió a temperaturas menores o igual a la del ambiente. Sin embargo, a los 90 días de compostaje la temperatura no descendió hasta los niveles de la fase de maduración, excepto en C3 y C4 donde fueron 35,4 y 32,28 °C a partir de los 64 y 50 días, respectivamente. Esto pudo ser debido a que en

were 35.4 and 32.28 °C from 64 and 50 days, respectively. This could be due to in these last, the carbon sources (C) of the material in composting were drained, because at the 90 days a C:N of 5.4:1 and 5.8:1 relationship was obtained, respectively, so the temperature dropped until environment levels; while in C1 and C2 the relationship C:N was of 15.8:1 and 15.3:1 respectively, higher to the optimal C:N value of 10:1 (Dalzell *et al.*, 1991), maybe it still continued the degradation of polymers as the cellulose through microbial activity (Román *et al.*, 2013; Villar *et al.*, 2016) and the temperature was still

estos últimos se hayan agotado las fuentes de carbono (C) del material en compostaje, ya que a los 90 días se obtuvo una relación C:N de 5,4:1 y 5,8:1 respectivamente, por lo que la temperatura descendió hasta los niveles del ambiente; mientras que en C1 y C2 la relación C:N fue de 15,8:1 y 15,3:1 respectivamente, superiores al valor óptimo C:N de 10:1 (Dalzell *et al.*, 1991), tal vez aún continuó la degradación de los polímeros como la celulosa a través de la actividad microbiana (Román *et al.*, 2013; Villar *et al.*, 2016) y la temperatura aún se mantuvo en la fase mesófila II (40-45 °C), requiriéndose tiempo adicional para alcanzar la fase de maduración.

La fase de maduración puede demorar meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Román *et al.*, 2013; Gavilanes-Terán *et al.*, 2016).

Con relación a los valores del pH en los diferentes tipos de compost elaborados, durante los 90 días de compostaje, oscilaron entre 7,16 y 9,95 determinándose diferencias significativas entre los promedios ($P<0,05$). La prueba a posteriori Duncan ($P<0,05$) diferenció dos grupos homogéneos, donde C1 (8,65) y C3 (8,66) constituyó el grupo con los mayores promedios del pH; mientras que C2 (8,22) y C4 (8,31) se diferenció como el grupo de medias menores (cuadro 3).

El pH se incrementó desde 7,28 y

maintained in the mesophilic phase II (40-45 °C), required two in additional time to reach the maturation phase.

The maturation phase can take months at environment temperature, during which occur side reactions of condensation and polymerization of carbon compounds for the formation of humic and fulvic acids (Román *et al.*, 2013; Gavilanes-Terán *et al.*, 2016).

In relation to the pH values in the different types of elaborated compost, during 90 days of composting, oscillated between 7.16 and 9.95, determining significant differences among averages ($P<0.05$). The test after Duncan ($P<0.05$) differentiated two homogeneous groups, where C1 (8.65) and C3 (8.66) constituted the group with the highest averages of pH; while C2 (8.22) and C4 (8.31) was differentiated as the group with minor averages (table 3).

The pH increased from 7.28 and 7.98 to 8.01 and 8.79 at 72 h (3 days) (table 3), reaching values of 9.12 to 9.45 between 144 and 384 h (6 and 16 days) during the composting of the different elaborated compost, possibly induced by alkalization system $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$ and the content of salts provided by seaweeds that are imposed against the acidification normal mechanisms in the composting as organic acids and CO_2 generation (Canet, 2005). These results coincided with those reported by Tang *et al.* (2008), which determined the pH increments from 7.16 to 8.22 and 9 to the respective 72 h (3 days) and 168 h (7 days) during the composting process of wakame (*Undaria pinnatifida*). *Undaria pinnatifida* These authors

Cuadro 3. Comparación de los promedios del pH entre los diferentes compost durante el proceso de compostaje.

Table 3. Comparison of the pH averages between the different compost during the composting process.

COMPOST	n	RANGO	X	SE	IC	D
C2: RV:E:A	27	7,16-9,12	8,22	0,082	8,05-8,39	
C4: E:A	27	7,04-9,95	8,31	0,130	8,03-8,58	
C1:RV:LDT:A	27	7,28-9,79	8,65	0,120	8,41-8,88	
C3: LDT:A	27	7,69-9,68	8,66	0,098	8,46-8,86	

n: número de días; X: promedio; SE: error estándar; IC: intervalo de confianza; D: prueba a posteriori Duncan (P<0,05).

A: arribazones, RV: residuo vegetal, E: estiércol, LDT: lodo de planta de tratamiento. C1, C2; C3, C4: compost.

n: Number of days; X: average; SE: standard error; IC: confidence interval; D: test after Duncan (P<0,05). A: seaweed wracks, RV: vegetable residue, E: manure, LDT: mud of treatment plant. C1, C2, C3, C4: compost.

7,98 a 8,01 y 8,79 a las 72 h (3 días) (cuadro 3), alcanzando valores de 9,12 a 9,45 entre las 144 y 384 h (6 y 16 días) durante el compostaje de los diferentes compost elaborados, posiblemente inducido por el sistema de alcalinización $\text{NH}_3\text{-NH}_4^+$ y al contenido de sales aportados por las algas marinas que se imponen frente a los mecanismos de acidificación normales en el compostaje como son la liberación de ácidos orgánicos y la generación de CO_2 (Canet, 2005). Estos resultados coincidieron con los reportados por Tang *et al.* (2008), quienes determinaron incrementos de pH desde 7,16 a 8,22 y 9 a las respectivas 72 h (3 días) y 168 hs (7 días) durante el proceso de compostaje del wakame (*Undaria pinnatifida*). Estos autores afirman que el ambiente alcalino mostrado fue debido a la producción de NH_3 durante la liberación de gases. Este hecho resulta favorable ya que se propicia

affirm that the alkaline environment was showed due to the production of NH_3 during gas release. This fact results favorable, because promotes balance displacement $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ towards ammonia (Pagans *et al.*, 2006). Maybe, in this research, the process influenced the short duration of the mesophilic and thermophilic change phases from initial state of composting (latency phase) at the different elaborated piles.

Beck-Friis *et al.* (2001) reported that the mesophilic change phase to the thermophilic, from the initial state of composting, coincides with a change in pH from acid (4.5 to 5) to alkaline (8-9). This would be explained because the microorganisms can support only an extreme environmental factor, or a high temperature or a low pH, but not both simultaneously (Sundberg *et al.*, 2004).

It's noteworthy that in C2 and C4 occurred a reduction of pH at the 8 and

el desplazamiento del equilibrio $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ hacia amoníaco (Pagans *et al.*, 2006). Tal vez, en este trabajo, el proceso influyó en la corta duración del cambio de las fases mesofílica a termofílica desde el estado inicial del compostaje (fase de latencia) en las diferentes pilas elaboradas.

Beck-Friis *et al.* (2001) reportaron que el cambio de la fase mesofílica a termofílica, desde el estado inicial del compostaje, coincide con un cambio de pH desde ácido (4,5 a 5) a alcalino (8-9). Esto se explicaría porque los microorganismos pueden soportar solo un factor ambiental extremo, o alta temperatura o un bajo pH, pero no ambos simultáneamente (Sundberg *et al.*, 2004).

Es de resaltar que en C2 y C4 ocurrió una reducción del pH a los 8 y 18 días, desde 8,01 y 8,4 a 7,86 y 7,38 con una duración de 5 y 8 días, respectivamente (cuadro 3). Esto podría indicar que en ese momento se produjo condiciones anaeróbicas por la excesiva humedad a causa de las precipitaciones a que accidentalmente estuvieron expuestos en ese período, donde posiblemente los microorganismo en ausencia de oxígeno produjeron ácidos de cadena corta como producto metabólico, acidificando el medio o quizás sucedió una posible volatilización del amoníaco y un aumento en la nitrificación del amonio por los H^+ liberados durante el proceso de oxidación que realizan las bacterias nitrificantes (Huang *et al.*, 2004). Posterior a los días anteriormente mencionados, el pH se incrementó a valores mayores de 8, indicando que la cantidad de los componentes alcalinos liberados NH_4^+

18 days, from 8.01 and 8.4 to 7.86 and 7.38 with a duration of 5 and 8 days, respectively (table 3). This could indicate that in that moment anaerobic conditions were produced by the excessive moisture caused by rainfalls, which accidentally were exposed in that period, where possibly the microorganisms in absence of oxygen produced acids of short chain as metabolic product, acidifying the medium or maybe occurred a possible volatilization of ammonia and an increase in the ammonium nitrification by H^+ released during the oxidation process that nitrifying bacteria's do (Huang *et al.*, 2004). According to what was mentioned before, the pH increased to a higher values of 8, indicating that the quantity of alkaline compounds released $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ (Including the salts provided by seaweeds) is higher than the organic acids formed (Simandi *et al.*, 2005).

In this research, as the composting time elapsed of the different elaborated mixtures, all composters showed a decrease in total califorms, fecal califorms and enterococcus density. In figure 1, it is observed that in C1, C2, C3 and C4 initially the densities of microorganisms were determined, expressed as logarithm of the most probable number. 100 g^{-1} (Log NMP. 100 g^{-1}), which oscillated between 7.48-9.50; 8.82-9.29 y 8.98-10.98, respectively, until the populations were not detected in C2 at 30 days; meanwhile in C1, C3 and in C4, they were not present at 45 and 75 days, respectively, due to the changes of temperature during the process of composting that limited the growth and survival of the microorganisms group (Moreno y Moral, 2008).

This behavior agrees with the reported by Ryckeboer *et al.* (2002)

NH₃ (incluyendo las sales aportadas por las algas marinas) es mayor que la de los ácidos orgánicos formados (Simandi *et al.*, 2005).

En este trabajo, a medida que transcurrió el tiempo de compostaje de las diferentes mezclas elaboradas, todos los composteros mostraron una disminución en la densidad de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos. En la figura 1, se observa que en C1, C2, C3 y C4 inicialmente se determinaron densidades de estos microorganismos, expresadas como logaritmo del número más probable. 100 g⁻¹ (Log NMP. 100 g⁻¹), los cuales oscilaron entre 7,48 - 9,50; 8,82 - 9,29 y 8,98 - 10,98, respectivamente, hasta que las poblaciones no fueran detectadas en C2 a los 30 días; mientras que en C1, C3 y en C4 no se hicieron presentes a los 45 y 75 días, respectivamente, debido a los cambios de temperatura durante el proceso de compostaje que limitó el crecimiento y la supervivencia de este grupo de microorganismos (Moreno y Moral, 2008).

Este comportamiento concuerda con lo reportado por Ryckeboer *et al.* (2002) y Gavilanes-Terán *et al.* (2016), donde las altas temperatura que se generan en la fase termofílica durante el compostaje, produce una disminución en las densidades de población de microorganismos coliformes y enterococos cuando las temperaturas son mayores o iguales a 45 °C, durante 15 días; mientras que The Biosolids Report (2000) y Cantanhede *et al.* (2002), señalaron que a temperatura de 60 °C durante 30 a 60 minutos se elimina el 99,9 % de los patógenos, entre ellos los coliformes y otros organismos fecales. En este trabajo, las temperaturas mayores de 45 °C (fase termogénica)

and Gavilanes-Terán *et al.* (2016), where the high temperature that are generated in the thermophilic phase during the composting, produce a decrease in the population of coliforms and enterococcus microorganisms densities, when the temperatures are higher or similar to 45 °C, during 15 days; while The Biosolids Report (2000) and Cantanhede *et al.* (2002), pointed out that at temperatures of 60 °C during 30 to 60 minutes the 99.9 % of pathogens among them coliforms and other fecal organisms are eliminated. In this research, the temperatures over 45 °C (thermogenic phase) had a duration of 5 to 39 days (table 2), coinciding with the statements of the authors previously mentioned.

The density of actinomycetes in C1, C2, C3 and C4, that initially was of 9.54.10⁶ to 9.54.10¹⁰ UFC.100 g⁻¹, generally they did not present variations in the treatments during the process of composting (figure 1), because these filamentous bacterias can grow at temperatures of 30 and 45 °C (mesophilic phase) until 70 °C (thermophilic phase), as well as tolerate pH of 9 (Silva *et al.*, 2000). The non- influence of the composting in the actinomycetes population in compost, it's of great importance in agricultural because its application adds mycelia and hyphae of these microorganisms which adhere to the soil particles, causing them to stay aggregated to the grains of sand; while clay and slit particles separate to provide channels for movement of air and water that contribute to the growth of plant roots (Dalzell *et al.*, 1991).

The temperature during the thermophilic phase (45-70 °C) it is

tuvieron una duración de 5 a 39 días (cuadro 2), coincidiendo con las afirmaciones de los autores anteriormente mencionados.

La densidad de actinomicetos en C1, C2,

also called sanitation, because the heat generated destroys bacterias and polluters of fecal origin and other pathogens agents, cysts and helminth eggs, phytopathogenic fungal spores

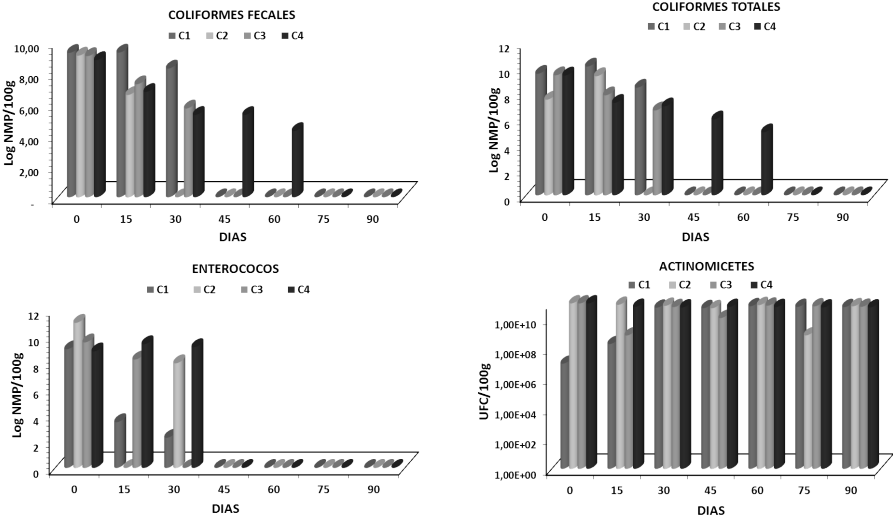


Figura 1. Cuantificación de los microorganismos durante el proceso de compostajes de los diferentes compost elaborados. arribazones, RV: residuo vegetal, E: estiércol, LDT: lodo de planta de tratamiento. C1:RV:LDT:A, C2: RV:E:A, C3: LDT:A, C4: E:A. C1, C2, C3, C4: compost.

Figure 1. Quantification of microorganisms during the composting process of the different compost produced. A: seaweed wracks, RV: vegetable residue, E: manure, LDT: mud of plant treatment. C1:RV:LDT:A, C2: RV:E:A, C3: LDT:A, C4: E:A. C1, C2, C3, C4: compost.

C3 y C4, que inicialmente fue de $9,54 \cdot 10^6$ a $9,54 \cdot 10^{10}$ UFC.100 g⁻¹, generalmente no presentaron variaciones en los tratamientos durante el proceso de compostaje (figura 1), porque estas bacterias filamentosas pueden crecer a temperaturas entre 30 y 45 °C (fase mesófila) hasta los 70 °C (fase termófila), así como también tolerar pH de 9 (Silva *et al.*, 2000). La no influencia del compostaje en la población de actinomicetes en los compost es de importancia en la agricultura porque su aplicación añade los micelios

and fly larvae in the composting materials (Rynk *et al.*,1992; Román *et al.*,2013; Zhang *et al.*, 2015). This indicates that the best technique recommendation for tilling the land, as well as contributing to good agricultural practices, is to realize the composting of organic solid residues before being incorporated into the soil for the prevention of pests and diseases in plantations. However, the change in the microbial community must

e hifas de estos microorganismos que se adhieren a las partículas del suelo, causando que se mantengan agregados los granos de arena; mientras las partículas de arcilla y limo se separan para proporcionar canales para el movimiento del aire y del agua que contribuyen al crecimiento de las raíces de las plantas (Dalzell *et al.*, 1991).

La temperatura durante la fase termofílica (45-70 °C) también se denomina fase de higienización, ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal y otros agentes patógenos, quistes y huevos de helmintos, esporas de hongos fitopatógenos y larvas de mosca en los materiales de compostaje (Rynk *et al.*, 1992; Román *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2015). Esto indica que la mejor recomendación técnica para la labranza de la tierra, así como contribuir con las buenas prácticas agrícolas, es realizar el compostaje de los residuos sólidos orgánicos antes de ser incorporados al suelo para la prevención de plagas y enfermedades en las plantaciones. Sin embargo, se debe evaluar el cambio en la comunidad microbiana durante la fase de maduración, la cual pudiera estar afectada por la adaptación de los microorganismos a las condiciones de las temperaturas mesofílicas y por las diferentes propiedades físico-químicas de los diferentes tipos de residuos sólidos orgánicos utilizados como materiales iniciales de la mezcla (Villar *et al.*, 2016; Tortosa *et al.*, 2017).

Conclusiones

En los compost elaborados con arribazones de macroalgas marinas e inoculados con estiércol de gallinaza

se evaluó durante la maduración fase, que podría verse afectada por la adaptación de los microorganismos a las condiciones de temperaturas mesofílicas y por las diferentes propiedades físico-químicas de los diferentes tipos de residuos sólidos orgánicos utilizados como materiales de la mezcla (Villar *et al.*, 2016; Tortosa *et al.*, 2017).

Conclusions

In the processed compost with seaweed wracks of marine macro algae and inoculated with chicken manure and muds of treatment plants, was favorable the addition of vegetable residues as structuring lignocellulosic material to the initial balance of the relationship C:N to 25:1, because of the high temperatures reached in the thermophilic phase and the pH changes that occurred during the process of composting limited the growth and the non-survival of pathogen microorganisms like enterococcus, fecal coliforms and total coliforms, and also for the obtaining of a relationship C:N inside the acceptance range (10:1-20:1) of the final product.

End of English Version

y lodos de plantas de tratamientos resultó favorable la adición de los residuos vegetales como material lignocelulósico estructurante para el balance inicial de la relación C:N a 25:1, por las altas temperaturas alcanzadas en la fase termófila y los cambios del pH que ocurrieron durante el proceso de compostaje que limitaron

el crecimiento y la no supervivencia de microorganismos patógenos como los enterococos, coliformes fecales y coliformes totales, y también por la obtención de una relación C:N dentro del rango de aceptación (10:1-20:1) del producto final.

Literatura citada

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF). 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Edit. Greenberg. Washington D.C., USA. 168 pp.
- Beck-Friis B., S. Smars, H. Jönsson y H. Kirchmann. 2001. SE—Structures and Environment: Gaseous emissions of carbon dioxide, ammonia and nitrous oxide from organic household waste in a compost reactor under different temperature regimes. *J. Agr. Eng. Res.* 78(4): 423-430.
- Bremner, J. 1965. Total nitrogen. 1149-1178 p. In: Black C., D. Evans, L. Ensminger, J. White y F. Clark (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 2*. American Society of Agronomy (ASA), Madison, Wisconsin, USA. 65 pp.
- Bula-Meyer, G. 2004. Las macroalgas marinas en la agricultura y el uso potencial del *Sargassum* flotante en la producción de fertilizantes en el archipiélago de San Andrés y providencia, Colombia. *Rev. Intropica* 1(91-103): 333-336.
- Canet, R. 2005. El compostaje de los residuos orgánicos. Fundamentos teóricos y prácticos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Departamento de Recursos Naturales. Valencia, España. 85 pp.
- Cantanhede, A., G. Monge y G. Wharwoud. 2002. Compostificación de residuos de mercado de Lima. Informe final CEPIS, Lima, Perú. 86 pp.
- Dalzell, H., A. Biddlestone, K. Gray y K. Thuraiarajan. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Informe Técnico de Suelo N° 56. Roma, Italia. 177 pp.
- Eyras, M. y E. Sar. 2003. Arribazones estivales en puerto madryn, Argentina, como materiales para la obtención de compost. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 38(1-2): 105-111.
- Gilbert de Brito, J., I. López de Rojas y R. Pérez de Roberti. 1990. Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos de referencias. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP) Serie D N° 26. FONAIAP Ed. Maracay, Venezuela. 75 pp.
- Gavilanes-Terán, I., J. Jara-Samaniego, J. Idrovo-Novillo, M. A. Bustamantes, R. Moraly C. Paredes. 2016. Windrow composting as horticultural waste management strategy – a case study in Ecuador. *Waste Manage.* 48: 127-134.
- Gobierno de Canarias. 2012. Aprovechamiento de arribazones naturales y residuos vegetales de jardinería como fuente de materia orgánica para la elaboración de compost. Ministerio de Ciencia e Innovación. España. 18 pp.
- Gómez, Y. y M. González. 2004. Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario. Año 4, N° 7. Disponible en: <http://ama.redciencia.cu>. Fecha de consulta: 9 junio 2016.
- Huang, G., J. Wong, Q. Wu y B. Nagar. 2004. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Manage.* 24: 805-813.
- Jackson, M. 1964. Análisis químico de suelos. Editorial Omega. Barcelona, España. 175 pp.
- Jeffrey, L. 2008. Isolation, characterization and identification of actinomycetes from agriculture soils at semongkok, Sarawak. *African. J. Biotechnology* 7(20): 3697-3702.

- Lemus, A. y J. Balza. 1995. Composición estacional y biomasa de arribazones de macroalgas verdes en la Península de Paraguaná, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. 34(1 y 2): 87-93.
- Lenehan, N., T. Derouchey, T. Marston y G. Marchin. 2005. Concentration of fecal bacteria and nutrients in soil surrounding round-bale feed sites. J. Anim. Sci. 83: 1673-1679.
- McHugh, D. 2002. Perspectiva para la producción de algas marinas en los países en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Informe Técnico de pesca N° 968. Roma, Italia. 30 pp.
- Miquel, S. 2004. Procedimiento para el tratamiento de algas y fanerógamas marinas y residuos vegetales para su compostaje, y compost obtenido por el mismo. Patente de Invención, N° Publicación ES2189606B1, Oficina Española de Patentes y Marcas, España. 11 pp.
- Moreno, J. y R. Moral. 2008. Compostaje. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 78-85.
- Pagans, E., R. Barrena, X. Font y A. Sánchez. 2006. Ammonia emissions from the composting of different organic waste. Dependency on process temperature. Chemosphere 62: 1534-1562.
- Polprasert, C. 1989. Organic wastes recycling. Edition. John Wiley & Sons. Bangkok, Thailand. 357 pp.
- Rodríguez, J. 2004. Manual de métodos para la conversión de la bora en productos aprovechables. Editorial Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela. 65 pp.
- 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. 108 pp.
- Ryckeboer, J., J. Mergaert, J. Coosemans, K. Deprins y J. Swings. 2002. Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. J. Applied. Microbiol. 94: 127-137.
- Rynk, R., M. De Kamp, G. Willson, M. Singley, T. Richard, J. Kolega, F. Gouin, L. Laliberty, D. Kay, D. Murphy, H. Hoitink y W. Brinton. 1992. On-Farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. 607: 255-7654.
- Silva, J., M. López y A. Valencia. 2000. Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. Editorial. Eidenar. Cali, Colombia. 85 pp.
- Simandi, P., M. Takayanagi y K. Inubushi. 2005. Changes in the pH of two different compost are dependent of the production of organic acid. Soil Sci. Plant Nutr. 51(5): 771-774.
- Sundberg, C., S. Smars y H. Jonsson. 2004. Low pH as an inhibiting factor in the transition of mesophilic to thermophilic phase in composting. Bioresource Technol. 95: 145-150.
- Sztern, D. y M. Pravia. 1999. Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar>. Fecha de consulta: 08 de mayo 2017.
- The Biosolids Report. 2000. A technical bulletin prepared by the GVRD to provide B.C. medical and environmental health officers with information about biosolids. Report N° 1. 9 pp.
- Tang, J., Y. Xiao, A. Oshima, H. Kawai y S. Nagata. 2008. Disposal of seaweed wakame (*Undaria pinnatifida*) in composting process by marine bacterium *Halomonas* sp. AW4. Int. J. Biotechnol. 10(1): 73-85.
- Torres, L. 2001. Elaboración de composta. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). Subsecretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Serie N° 5. SAGARPA. Ed. Chapingo. México. 8 pp.

- Tortosa, G., A. Castillo-Hinojosa, D. Correa-Galeote y E. J. Bedmar. 2017. Evolution of bacterial diversity during two phases olive mil waste ("alperujo") composting by 16S rRNA gene pyrosequencing. *Bioresour. Technol.* 224: 101-111.
- Villar, I., D. Alves, J. Garrido y S. Mato. 2016. Evolution microbial dynamics during the maturation phase of the composting of different types of wastes. *Waste Manage.* 54: 83-92.
- Zhang, L., H. Ma, H. Zhang, L. Xun, G. Chen y L. Wang. 2015. *Thermomyces lanuginosus* is the dominant fungus in maize straw compost. *Bioresour. Technol.* 197: 266-275.
- Zhang, L., H. Zhang, Z. Wang, G. Chen y L. Wang. 2016. Dynamic changes of the dominant functioning microbial community in the compost of a 90 m³ aerobic solid state fermentor revealed by integrated meta-omics. *Bioresour. Technol.* 203: 1-10.