



Manejo de recursos orgánicos locales, como estrategia agroecológica para la elaboración de abonos, en bosques nublados de la cordillera de la costa en Venezuela

Management of local organic resources, as an agroecological strategy for the development of fertilizers, in cloud forests of the coastal mountain range-Venezuela

Ramírez-Iglesias, E.^{a*}, Hernández-Hernández, R.M.^a, Castro, I.^a, González, I.^a

^aLaboratorio de Biogeoquímica, Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos IDECYT- Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez UNESR. Caracas-Venezuela.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 05.06.2017
Accepted 16.11.2017

Keywords:
Organic fertilizers
Degradation
Fungi
Nutrient dynamics

Original Research Article,
Soil Science

**Corresponding author:*
Elizabeth Ramírez-Iglesias
E-mail address:
eliza2030@gmail.com

ABSTRACT

The aim of this research was to determine the most appropriate combination of locally generated waste to produce quality fertilizer. The residues for the composting process were previously chemically characterized and then mixed to obtain a stable organic. The experimental design was completely randomized, with three piles per type of compost, C1: 75 kg of crop residues (potato, onion, parsley, carrot + *Zea mays* leaves) + 87 kg of sheep manure; C2: 85 kg of crop residues (potato + onion + parsley + carrot) + 87 kg of sheep manure + 15 kg of *Thitonia diversifolia*; C3: 85 kg of green wastes with predominance of *Lactuca sativa* + 80 kg of goat manure; C4: 90 kg of green wastes with predominance of *Lactuca sativa* + 80 kg of horse manure; C5: 80 kg of green pruning leaves + dried leaves + sawdust + excreta of chickens + *Thitonia diversifolia* + 75 kg of sheep manure. Each stack measured 1.5 m wide by 1.7 m high. Macronutrients and pH and were evaluated in mature compost, as were bacterial and total fungal populations, for establishing significant correlations with some measured chemical variables. Maturation rates of compost shown that the use of *Thitonia diversifolia* and sheep excreta improved the nutritional conditions of the stabilized organic fertilizer, obtaining 2.09% total N, 0.12% P available, 2.08% K⁺. In all compost where animal excreta were used, a significant increase in Ca²⁺ availability was observed, as well as a greater microbial activity presence.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la combinación más adecuada de residuos generados localmente, para elaborar abonos de calidad. Se caracterizaron químicamente residuos antes de compostar, los cuales conformaron las mezclas durante el proceso de compostación y finalmente se obtuvo el abono estabilizado. El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con tres pilas por tipo de compost, C1: 75 kg de residuos vegetales + 87 kg de estiércol de ovinos; C2: 85 kg de residuos vegetales de cultivos + 87 kg de estiércol de ovinos + 15 kg de *Thitonia diversifolia*; C3: 85 kg de residuos vegetales con predominancia de *Lactuca sativa* + 80 kg de estiércol de cabras; C4: 90 kg de residuos vegetales con predominancia de *Lactuca sativa* + 80 kg de estiércol de caballo; C5: 80 kg de hojas verdes de poda + hojas secas+ aserrín + gallinaza + *Thitonia diversifolia* + 75 kg de estiércol de ovinos. Cada pila midió 1,5 m de ancho por 1,7 m de alto. Se evaluó pH y macronutrientes en los compost maduros, al igual que las poblaciones de bacterias y hongos, estableciendo correlaciones significativas con algunas variables químicas medidas. Al determinar los índices de maduración, se encontró que el empleo de *Thitonia diversifolia* y excretas de ovino mejoraron las condiciones nutricionales del abono orgánico, obteniendo 2,09% N total, 0,12% P disponible, 2,08% K⁺. En todos los compost donde se emplearon excretas de animales se observó un aumento significativo en la disponibilidad de Ca²⁺, así como mayor presencia y actividad microbiana.

Palabras clave: fertilizantes orgánicos, degradación, bacterias totales, dinámica nutricional, disponibilidad de nutrientes.

INTRODUCCIÓN

El manejo y utilización de sustratos de origen vegetal y animal en unidades familiares de producción se muestra como una de las principales problemáticas en agroecosistemas de montaña. Es por ello que resulta

imperativo un enfoque agroecológico a fin de mantener la sustentabilidad de los agroecosistemas, enfocado a la reutilización de los insumos generados localmente, evitando hacer uso de insumos externos a fin de no depender de ellos para la productividad (Ramírez-Iglesias y Hernández-Hernández, 2013).

En el caso de la formación y obtención del compost, definido aquí como el producto final de la compostación de residuos orgánicos, si bien es un proceso que ha sido ampliamente estudiado (Cardozo, 2010), el incremento exponencial actual que ha tenido su uso en comunidades rurales y urbanas, requiere información técnica desde un punto de vista químico y biológico que avalen su calidad como enmienda, y su sanidad dentro de los parámetros establecidos, a fin de que pueda ser utilizado como abono orgánico (Ruíz *et al.*, 2015).

El empleo de distintos sustratos en la elaboración de compost, genera no sólo diferentes tiempos de descomposición, también variación en las relaciones carbono/nitrógeno (C/N) y lignina/nitrógeno (L/N), nitrógeno total (N), fósforo disponible (P disponible), potasio (K⁺) y calcio (Ca²⁺). De igual forma estas combinaciones, también afectan la presencia y sucesión de poblaciones de microorganismos, las cuales por su gran poder catalítico (Jurado *et al.*, 2015), favorecen las transformaciones químicas de los sustratos (Araya *et al.*, 2014).

Cuando un cúmulo de residuos orgánicos sobre el suelo se descompone, el resultado es consecuencia de las condiciones climáticas, de la humedad y temperatura, las cuales influyen en acelerar o retardar el ciclo de descomposición de la materia orgánica (Ramírez-Iglesias y Hernández, 2013).

Es por ello que la presencia y distribución de distintos tipos de microorganismos en los abonos orgánicos son similares a los que se encuentran en el suelo, y estas poblaciones responden a los distintos tipos y características de materiales empleados para su descomposición (Franke-Whittle *et al.*, 2014), lo que a su vez puede favorecer una mayor disponibilidad de nutrientes (Ruíz *et al.*, 2015). Estas relaciones podrían favorecer la presencia y sucesión de los microorganismos presentes durante todo el proceso de descomposición (Sánchez-García *et al.*, 2016), hasta llegar a la formación de moléculas polimerizadas de naturaleza húmica, lo que a su vez promueve la estabilización de variables físicas como la temperatura (Jara *et al.*, 2017), químicas como el pH, el contenido nutricional (Miranda *et al.*, 2017), y procesos físico-químico-biológicas como la descomposición (León y Gutiérrez, 2017), debido a la disminución en su actividad biológica (Defrieri *et al.*, 2005). De esta manera, el aprovechamiento y optimización de abonos orgánicos, producto del empleo y reutilización de los recursos generados localmente, se presenta como una estrategia agroecológica que podría mejorar las condiciones de producción y sustentabilidad de unidades familiares de producción.

Es por ello que los objetivos de ésta investigación fueron determinar el manejo más adecuado de residuos generados localmente, para elaborar abonos de calidad y establecer la relación entre las distintas combinaciones de sustratos y sus dinámicas nutricionales,

así como su correlación con diferentes parámetros microbiológicos, que a la vez podrían influir en su calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Característica de la zona de estudio

Los sustratos analizados se generaron en unidades familiares de producción de Laguneta de la Montaña, ubicadas a una altitud de 1363 m.s.n.m., en Latitud Norte 10°18' 43,90" y Longitud Oeste 67°10'45,90", estado Miranda, Caracas, Venezuela. El área está caracterizada principalmente por zonas de montaña y árboles como la enea (*Enterolobium cyclocarpum*), guamo (*Inga spuria*), yagrumo (*Cecropia peltata*), eucalipto (*Eucalyptus sp.*) Jobo (*Spondias mombin*), laurel (*Laurus nobilis*) y pinos (*Pinus caribeam*). Además, hay arbustos como el tártago (*Euphorbia lathyris*), el níspero japonés (*Eriobotrya japoica*) y el árnica (*Thitonia diversifolia*), entre otros. Con una precipitación anual promedio de entre 900 mm vertiente a sotavento (área menos húmeda) y 1200 mm a barlovento (áreas más boscosas) y una temperatura promedio de 20 °C, destaca en la vegetación de la región la floricultura como principal actividad comercial, así como el cultivo de hortalizas y frutales, y la cría de ovinos, gallinas, conejos, caballos, entre otros.

Diseño experimental y muestreo

El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con tres pilas por tipo de compost, de acuerdo a la combinación de los diferentes sustratos utilizados para formar cada pila de compostación. Se obtuvieron en total 15 pilas de compostación. La conformación de los diferentes tratamientos -tipos de compost-, obedeció, primero; a un diagnóstico con las unidades familiares de producción de lo existente localmente, y segundo, a la caracterización química de cada sustrato. Posteriormente y basados en ésta caracterización, se conformaron los diferentes tratamientos de compostación, a fin de evaluar con cuál combinación y con qué sustratos puede obtenerse de forma local, el abono que tenga no solo una mayor disponibilidad nutricional, sino también niveles adecuados de bacterias y hongos, a fin de realzar su valor como enmienda.

Cada una de las pilas midieron 1,5 m de ancho por 1,7 m de alto. Las pilas se construyeron mediante capas alternas de cada componente en igual proporción. Cabe destacar que el volteo se realizó cada 3 días la primera semana, y luego se espació la aireación cada 8 días, por el tiempo que duró la total degradación y estabilización de los abonos orgánicos obtenidos. Cada una de las pilas fue identificada y protegida con un polietileno oscuro para protegerlas de la precipitación, así como evitar la pérdida de calor.

Una vez establecidas las pilas, se procedió a tomar quince muestras de cada tratamiento (tipo de compost), en cinco momentos durante el proceso de descomposición, a fin de evaluar las dinámicas nutricionales durante el proceso.

Dentro de los criterios considerados para realizar las pilas de compostación, en función de los sustratos generados localmente, se encuentran las relaciones C/N, así como las concentraciones de lignina (L) en el material vegetal, y las relaciones L/N, ya que es una de las características que puede indicar menores tiempos de descomposición, cuando la concentración es baja. Considerando la caracterización de los diferentes sustratos evaluados localmente, se generaron los distintos tipos de compost, quedando constituidos de la siguiente forma: C1: 75 kg de residuos vegetales de cultivos (papa, cebolla, perejil, zanahoria + hojas de *Zea mays*) + 87 kg de estiércol de ovinos; C2: 85 kg de residuos vegetales de cultivos (papa + cebolla + perejil + zanahoria) + 87 kg de estiércol de ovinos + 15 kg de *Thitonia diversifolia*; C3: 85 kg de residuos vegetales con predominancia de *Lactuca sativa* + 80 kg de estiércol de cabras; C4: 90 kg de residuos vegetales con predominancia de *Lactuca sativa* + 80 kg de estiércol de caballo; C5: 80 kg de hojas verdes de poda + hojas secas + aserrín + gallinaza + *Thitonia diversifolia* + 75 kg de estiércol de ovinos.

Tanto los sustratos como el compost se secaron en estufa a 40 °C, para minimizar la volatilización del nitrógeno presente en cada una de las muestras. Posteriormente fueron molidos y pasados por un tamiz de 2 mm, y luego en el caso de los abonos se evaluaron las dinámicas de T°, pH y nutrientes durante el tiempo que duró el proceso de descomposición, y en el caso de los abonos ya estabilizados, se incluyeron las determinaciones microbiológicas descritas a continuación.

Caracterización de los sustratos y tipos de compost evaluados

Se realizó la caracterización de los sustratos que conformarían los diferentes tipos de compost, ésta caracterización fue realizada para cada uno de los sustratos empleados en las pilas, así como la determinación de la calidad de los compost ya estabilizados, cuyos análisis fueron realizados por cada pila y tipo de compost, es importante mencionar que por cada tipo de compost se hizo 3 pilas como réplicas y dentro de cada pila se tomaron 5 muestras, una en cada extremo y la última en el centro, a fin de homogeneizar el material y hacer representativa la toma de la muestra dentro de la pila. En función de cada una de las combinaciones de sustratos propuestas, cabe destacar que las proporciones utilizadas se emplearon en función de sus relaciones C/N. El pH fue medido durante todo el proceso de compostación utilizando una relación compost:agua de 1:2 (Anderson y Ingram, 1993). El carbono orgánico,

tanto para los sustratos como para el compost, se midió a través de una oxidación húmeda sin calentamiento (UCV, 1993), mientras que para la determinación del nitrógeno total (Nt) se empleó una digestión húmeda con H₂SO₄ y destilación con microkjeldahl (Bremner, 1965). El P disponible fue determinado solo en los compost finales ya estabilizados y se utilizó como extractante el bicarbonato de sodio (Watanabe y Olsen, 1965), el cual se determinó por el método colorimétrico molibdato-ácido ascórbico (Murphy y Riley, 1962), utilizando para esta medición un spectronic 20 Thermo Scientific, Genesys 20. Para otros nutrientes como K⁺ y Ca⁺² se utilizó como extractante Mehlich III y estos se detectaron por absorción atómica, empleando para ello el espectrofotómetro de absorción atómica 3110. De igual forma, para las concentraciones de los nutrientes en cada uno de los sustratos, se hizo una digestión húmeda con H₂SO₄, donde el P total fue detectado por el método colorimétrico molibdato-ácido ascórbico (Murphy y Riley, 1962), mientras que potasio y calcio, se detectaron por absorción atómica. La concentración de lignina en los sustratos vegetales empleados en cada uno de los tipos de compost, se determinó utilizando la metodología propuesta por Van Soest (1967), mientras que el conteo de bacterias totales, así como celulolíticos y amonificantes se realizó por el método del número más probable (Haruta *et al.*, 2005).

Análisis de datos

En los análisis estadísticos se empleó un análisis descriptivo, específicamente medidas de posición como la media y la mediana, así como medidas de dispersión, como la desviación. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), usando el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011). Para cada tipo de compost se hizo 3 pilas como réplicas, y dentro de cada pila se tomó cinco muestras cada momento de muestreo, para un total de n= 15. En el caso de los análisis microbiológicos se tomó como variable dependiente las unidades formadoras de colonias (UFC). Como prueba para la comparación de las dinámicas nutricionales en los tipos de compostación, se realizó la prueba de Duncan (1974). En el caso de las correlaciones entre variables químicas y microbiológicas evaluadas en los tratamientos de compostación se empleó el coeficiente de correlación de Pearson (1896), a fin de determinar si variaban significativamente, y a su vez inferir la intensidad de esa asociación.

RESULTADOS

Caracterización de la materia prima empleada para los distintos tipos de compostación

En la Tabla 1 se indica la concentración de nitrógeno y lignina, así como la relación lignina/nitrógeno del

Cuadro 1. Contenido de nitrógeno (N), lignina y relación lignina/nitrógeno en el material verde y seco utilizado para la elaboración de las pilas de compostación. En la tabla se expresa un valor promedio y su desviación estándar. Letras diferentes en una misma columna señalan diferencias estadísticamente significativas entre sustratos (Duncan $p < 0,05$).

Table 1. Nitrogen (N) content, lignin and lignin / nitrogen ratio in the green and dry material used for composting piles. In the table there is an average value and a standard deviation. Different letters in the same column indicate statistically significant differences between substrates (Duncan $p < 0.05$).

	%		Lignina/ nitrógeno
	N	Lignina	
<i>Vetiveria zizanioides</i>	1,10b ±0,3	17,11b ±8,25	15,55
<i>Zea mays</i> (hojas)	1,01b ±0,02	5,18c ±1,25	5,12
<i>Lactuca sativa</i> (lechuga)	1,10b ±0,05	6,21c ±0,25	564
<i>Tithonia diversifolia</i> (Arnica)	1,80a ±0,06	2,14d ±0,13	1,18
Hojas secas diversas	0,93c ±0,06	20,12a ±3,14	21,63

material verde y seco, de los sustratos empleados para la elaboración de las pilas de compostación. Cabe destacar, que el aporte de N es estadísticamente significativo ($p < 0,05$) en *Thitonia diversifolia*, así como sus menores contenidos de lignina, en contraste con los otros materiales comunes de la zona de estudio. Por otro lado, la concentración de lignina presente en los tejidos vegetales tiende a ser mayor, tanto en el material seco, como en *Vetiveria zizanioides*, hojas de *Z. mays* y hojas de *L. sativa*.

Otros sustratos considerados (Tabla 2), como excretas de caballo, ovinos y gallinaza, muestran las mayores concentraciones de N, por lo que sus relaciones C/N tienden a ser menores, mientras que las concentraciones de P total, K^+ y Ca^{+2} tienden a ser más altas en comparación con el material vegetal evaluado.

Al comparar los sustratos (Tabla 1 y 2) se puede observar que *Thitonia diversifolia* presentó las menores relaciones L/N y una de las relaciones C/N más apropiadas, en comparación con los otros sustratos evaluados, por lo que se considera que éste, es uno de los criterios fundamentales al momento de montar las pilas de compostación. Por otro lado, y en el caso de las excretas evaluadas, las menores relaciones C/N, así como las mayores concentraciones de K^+ y Ca^{+2} se hallaron en las excretas de ovino, en contraste con los otros tipos de excretas utilizadas.

Cuadro 2. Características químicas de los sustratos empleados para la elaboración de los distintos compost. Valores promedio y desviación estándar. C/N: carbono/nitrógeno; N total: nitrógeno total; P: fósforo total; K^+ , Ca^{+2} : cationes (%); ND: no detectable (trazas).

Table 2. Chemical characteristics of the substrates used for the preparation of the different compost. Average values and standard deviation. C/N: carbon/nitrogen; Total N: total nitrogen; P: total phosphorus; K^+ , Ca^{2+} cations (%); ND: not detectable.

Residuos	C/N	%				
		C (%)	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K^+	Ca^{+2}
Estiércol de caballo	23,46 ±5,3	40,12 ±2,8	1,71 ±0,6	1,81 ±0,5	1,80 ±0,8	3,25 ±0,08
Estiércol de ovinos	8,00 ±1,5	15,52 ±0,06	1,94 ±0,2	1,08 ±0,3	1,03 ±0,4	4,58 ±0,7
Gallinaza	5,16 ±0,6	9,91 ±0,3	1,92 ±0,2	1,20 ±0,3	1,30 ±0,2	2,50 ±1,5
<i>Vetiveria zizanioides</i>	51,10 ±3,4	56,30 ±1,6	1,10 ±0,3	0,17 ±0,01	2,20 ±0,01	0,30 ±0,01
<i>Zea mays</i> (hojas)	42,00 ±1,6	42,00 ±1,8	1,00 ±0,02	0,13 ±0,01	2,06 ±0,03	0,40 ±0,02
<i>Lactuca sativa</i> (lechuga)	25,45 ±5,2	28,00 ±3,4	1,10 ±0,05	0,10 ±0,03	0,14 ±0,03	0,1 ±0,01
Hojas de <i>Fragaria nubicola</i>	16,72 ±2,1	30,10 ±4,9	1,80 ±0,06	0,10 ±0,002	0,10 ±0,02	0,1 ±0,02
<i>Tithonia diversifolia</i> (Arnica)	7,23 ±1,3	23,02 ±2,9	3,85 ±0,06	0,99 ±0,1	0,16 ±0,01	0,07 ±0,001
Hojas verdes Poda	17,00 ±1,6	50,5 ±3,6	3,4 ±0,9	0,08 ±0,001	0,015 ±0,001	0,07 ±0,001

Preparación de las pilas de compostación

En función de la caracterización química y bromatológica de los sustratos, se realizó la combinación y formación de los diferentes tipos de compost (Cuadro 3).

Dinámica de temperatura, pH y nutrientes durante el proceso de compostación bajo los diferentes tipos de compost generados

Para cada uno de los tratamientos de compost evaluados, se realizó el seguimiento en las dinámicas de temperatura (T) (Figura 1). Al iniciar el proceso de compostación, no hay diferencias estadísticamente signifi-

cativas entre las distintas combinaciones de sustratos. A medida que avanza el proceso comienza a observarse diferencias de T, en los distintos tipos de compost. La combinación C5, conformada principalmente por hojas secas, hojas verdes de poda, gallinaza, *Thitonia diversifolia* y estiércol de ovinos, alcanza T mayores en contraste con las demás combinaciones y por un período más largo de tiempo. Todos los compost muestran al finalizar el proceso de degradación, la estabilización de la T.

En la medición de pH (Figura 2), al iniciar el proceso de descomposición, los tipos de compost C4 y C5 presentaron un pH cercano a la neutralidad, a diferencia de los C1 y C2, los cuales fueron más alcalinos, no habiendo diferencias estadísticamente significativas

Cuadro 3. Combinaciones de sustratos y conformación de cada una de las pilas de compostación.

Table 3. Combinations of substrates and forming of each of the compost piles.

Tratamientos de Compostación	Composición de cada una de las combinaciones de compost
C1	residuos vegetales de cultivos: papa, cebolla, perejil, zanahoria + hojas de <i>Zea mays</i> : 75 kg + estiércol de ovinos: 87 kg
C2	residuos vegetales: papa + cebolla + perejil + zanahoria: 85 kg + estiércol de ovinos: 87 kg + <i>Thitonia diversifolia</i> : 15 kg
C3	residuos vegetales con predominancia de <i>Lactuca sativa</i> : 85 kg + estiércol de cabras: 80 kg
C4	residuos vegetales con predominancia de <i>Lactuca sativa</i> : 90 kg estiércol de caballo: 80 kg
C5	hojas verdes de poda + hojas secas + aserrín + gallinaza + <i>Thitonia diversifolia</i> : 80 kg + estiércol de ovinos: 75 kg

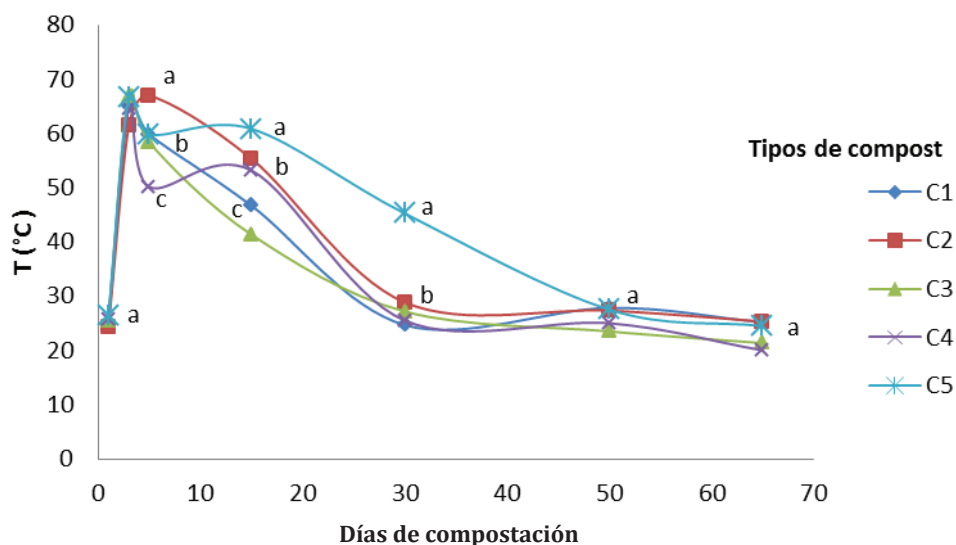


Figura 1. Dinámica de la temperatura durante el proceso de compostación de los residuos generados en las zonas de cultivo de la Cordillera de la Costa (Duncan $p < 0,05$, gl: 14).

Figure 1. Temperature dynamics during the composting process of the residues generated in the cultivated areas of the Coastal Range (Duncan $p < 0.05$, gl: 14).

($p < 0,05$) entre ellos. Sin embargo, a medida que transcurre la degradación, el comportamiento es similar en todos los tratamientos de compostación, a excepción del C1, donde a los 15 días de iniciado el proceso, ocurrió un descenso significativo del pH, alcanzando valores de 5,5, en comparación con las otras combinaciones, cuyos rangos oscilaron entre 7,8 y 8,3. Al finalizar el proceso hay diferencias estadísticamente significa-

tivas ($p < 0,05$) entre los distintos tipos de compost, y se mostró la siguiente tendencia en términos de pH: $C3 > C1 > C5 > C2$ y C4.

Las relaciones C/N tuvieron valores diferentes, no solo al inicio de su estudio (Figura 3), sino durante todo el proceso de descomposición. De todos los tratamientos de compost, las relaciones C/N de los tipos de compost C2, C3 y C4, fueron más altas durante la mayor parte del

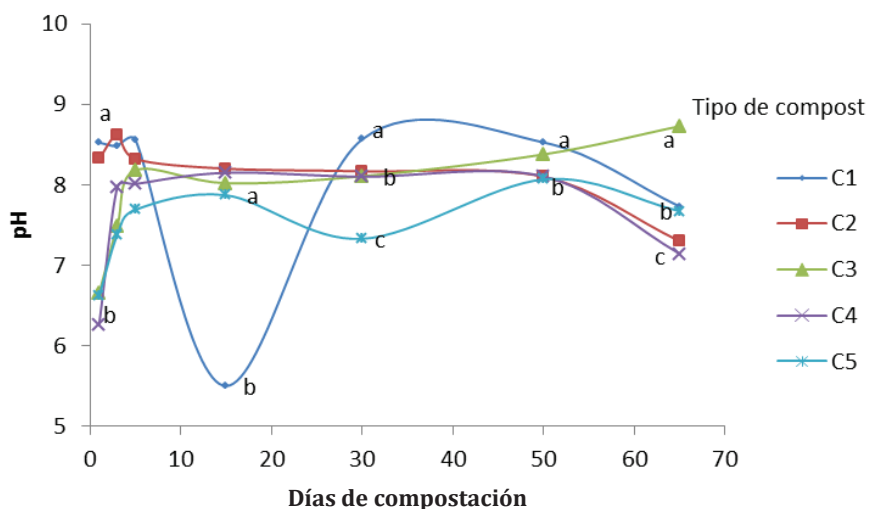


Figura 2. Dinámica del pH durante el proceso de compostación de los residuos generados en las zonas de cultivo de la Cordillera de la Costa (Duncan $p < 0,05$, gl: 14).

Figure 2. pH dynamics during the composting process of the residues generated in the cultivated areas of the Coastal Range (Duncan $p < 0.05$, gl: 14).

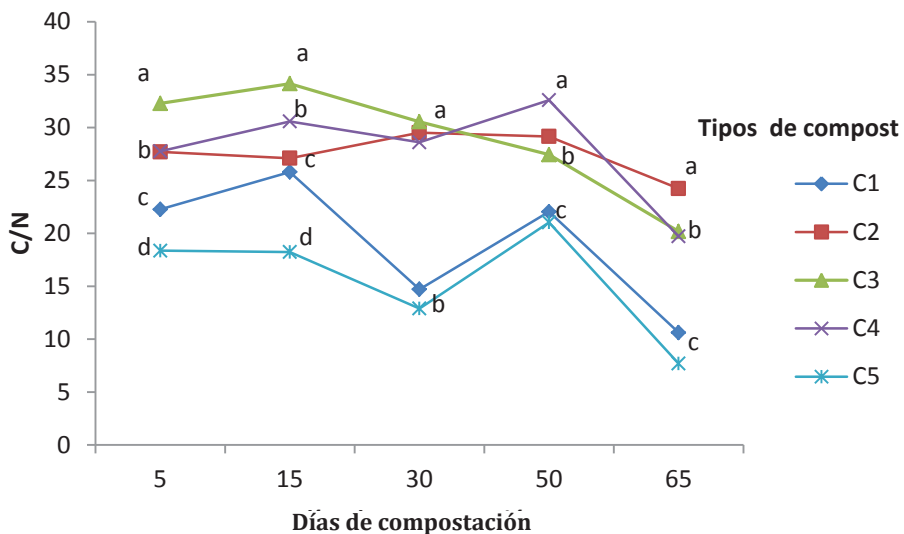


Figura 3. Relaciones C/N durante el proceso de degradación de los distintos tipos de compost generados en las zonas de cultivo de la Cordillera de la Costa (Duncan $p < 0,05$, gl: 14).

Figure 3. Ratios C/N during the degradation process of the different types of compost generated in the cultivated areas of the Coastal Range (Duncan $p < 0.05$, gl: 14).

proceso de descomposición, mientras que las de C1 y C5, fueron menores, por lo que la disponibilidad de N en estas combinaciones fue mayor. Al obtener los compost maduros hay diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre C2>C3 y C4, en comparación con C1 y C5.

El contenido de P disponible durante el proceso de compostación (Figura 4), tiende a ser más alto, dependiendo de las combinaciones de sustratos utilizadas. De modo que al inicio de la evaluación, el tratamiento C5 presentó mayores disponibilidades de este ele-

mento en comparación con las otras pilas de compostación ($p < 0,05$). Avanzado el proceso, se observó que la tendencia de esta combinación era hacia un pH más neutro (Figura 2). Cabe destacar que el compost C1 presentó las menores disponibilidades de P. Es importante destacar que la concentración de P disponible en los compost finales favoreció al $C5 \geq C3 \geq C4$, y en menor proporción a C2 y por último a C1.

La concentración de K^+ (Figura 5) durante el proceso de compostación mostró diferencias estadística-

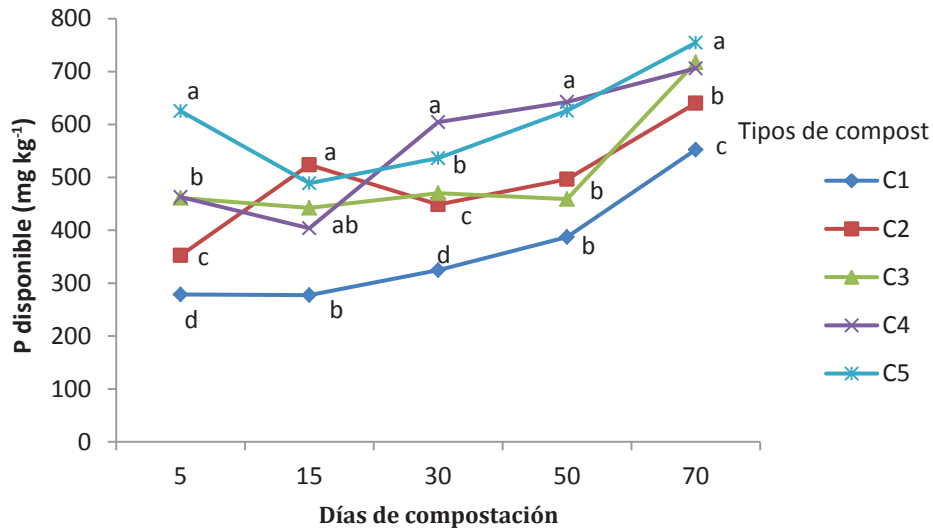


Figura 4. Dinámica de la concentración de P disponible durante el proceso de compostación en las zonas de cultivo de la Cordillera de la Costa (Duncan $p < 0,05$, gl: 14).

Figure 4. Dynamics of the P concentration available during the composting process in the cultivated areas of the Coastal Range (Duncan $p < 0.05$, gl: 14).

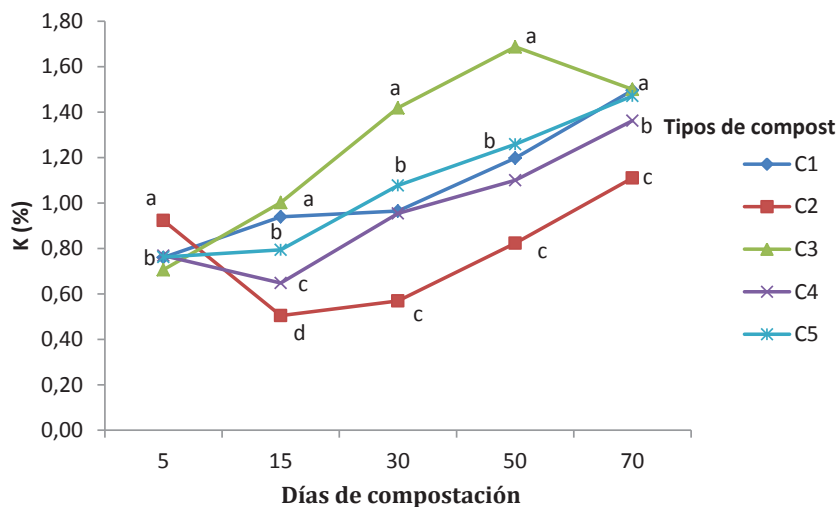


Figura 5. Dinámica de la concentración de K^+ durante el proceso de compostación en las zonas de cultivo de la Cordillera de la Costa (Duncan $p < 0,05$, gl: 14).

Figure 5. Dynamics of K^+ concentration during the composting process in the cultivated areas of the Coastal Range (Duncan $p < 0.05$, gl: 14).

mente significativas ($p < 0,05$) entre combinaciones de sustratos, favoreciendo la mayor concentración de este elemento en el C3, seguido del C5 y por último del C2. Al finalizar el proceso el C2 mostró menores concentraciones de K^+ en comparación con los otros tipos de abonos orgánicos obtenidos.

Al evaluar la dinámica del Ca^{+2} (Figura 6) en las diferentes pilas de compostación, se observó que los tipos de compost donde se presentó una mayor concentración de este nutriente, estaban relacionados con el empleo de excretas para su elaboración, y mostró la siguiente tendencia en términos de concentración: $C2 > C5 > C3$.

Poblaciones de hongos y bacterias en los distintos tipos de compost y su relación con temperatura, pH, relaciones C/N, P disponible, K^+ y Ca^{+2}

En la Figura 7, se consideran para los diferentes tipos de compost, el conteo de bacterias totales, el cual fue mayor y estadísticamente significativo ($p < 0,05$) en el C3, de igual forma para esta combinación hubo mayor conteo de celulolíticas junto con C4, mientras que no hubo diferencias significativas para las otras combinaciones.

Las poblaciones de hongos (Figura 8) tuvieron mayores niveles en el tratamiento C3, similar a lo reportado para bacterias y celulolíticas, mientras que el comportamiento en las otras combinaciones de pilas de compostación, no mostró diferencias estadísticamente significativas. La presencia de amonificantes (Figura 8) fue favorecida en el C4, seguido de C3 y C5 y no mostró diferencias

significativas entre ellos, sin embargo si hubo un menor conteo de hongos en los tipos de compost C1 y C2.

La temperatura (Tabla 4) presentó una correlación significativa ($p < 0,05$) con las relaciones C/N ($r = 0,52^*$), así como con los hongos ($r = 0,69^*$) y bacterias ($r = 0,56^*$), mientras que el pH tuvo altas correlaciones ($p < 0,01$) con la presencia de hongos ($r = 0,70^{**}$) y correlaciones negativas y significativas con las bacterias ($r = -0,8^{**}$) ($p < 0,05$). En el caso del P disponible se evidencian correlaciones significativas con K^+ ($r = 0,50^*$), Ca^{+2} ($r = 0,51^*$) y las poblaciones de hongos, no así con las bacterias. Por su parte el K^+ se correlacionó positivamente con la presencia de hongos ($r = 0,58^*$) y bacterias ($r = 0,54^*$).

DISCUSIÓN

La caracterización de los sustratos empleados para la conformación de los distintos tipos de compostación, así como las relaciones lignina/nitrógeno, constituyen indicadores cuantitativos para conocer y predecir los tiempos de descomposición y obtención del abono orgánico estabilizado (Komilis y Ham, 2003), a fin de favorecer una mayor proporción de degradación del material y un menor tiempo de compostación. De todos los materiales analizados, las relaciones C/N y L/N fueron menores en *Thitonia diversifolia*, en contraste con otros materiales vegetales generados en las unidades familiares de producción, donde estas variables se caracterizan por ser mayores, lo cual incide en retardar los procesos de descomposición dificultando la labor de los microorganismos en la conversión del material vegetal a un compost maduro (Bonanomi et al., 2013).

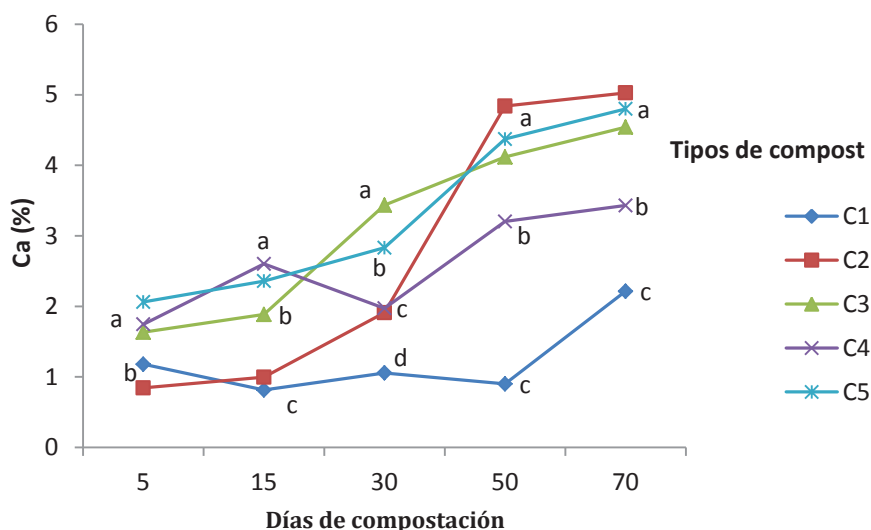


Figura 6. Dinámica de la concentración de Ca^{+2} durante el proceso de compostación en las zonas de cultivo de la Cordillera de la Costa (Duncan $p < 0,05$, gl: 14).

Figure 6. Dynamics of the Ca^{2+} concentration during the composting process in the cultivated areas of the Coastal Range (Duncan $p < 0.05$, gl: 14).

En la caracterización de otros materiales, entre los cuales se incluyeron las excretas de caballo, ovino y gallinaza, las relaciones C/N fueron mayores en el estiércol de ovino, así como sus altas concentraciones de K^+ y Ca^{+2} , indicando que posiblemente este material puede aportar mayores concentraciones de N, que ayudaría a degradar el compost en un menor tiempo, en comparación a lo que ocurriría con los otros tipos de excretas empleadas. Resultados similares han sido encontrados por Astaiza (2002) y Cardozo (2010), quienes estudiaron las características físico-químicas de diferentes tipos de excretas en la elaboración de abonos orgánicos, concluyendo que el tipo de excretas, así como la alimentación que tiene el animal, influyen notablemen-

te en la descomposición de las mismas, así como en la posterior incorporación de nutrientes a la pila de compostación y en consecuencia al abono orgánico obtenido (Komilis y Ham, 2003).

En todos los casos, las excretas al igual que las leguminosas, presentan mayores concentraciones de Ca^{+2} y N, en comparación a la compostación de únicamente materiales vegetales, por lo que la estrategia de incorporar excretas generadas localmente dentro de cada unidad de producción, reviste gran importancia, ya que permite a los productores utilizar este material generado sobre todo cuando hay diversificación en el manejo de dichas unidades. Por esta razón, se recomienda cuidar la altura de la pila, así como la temperatura

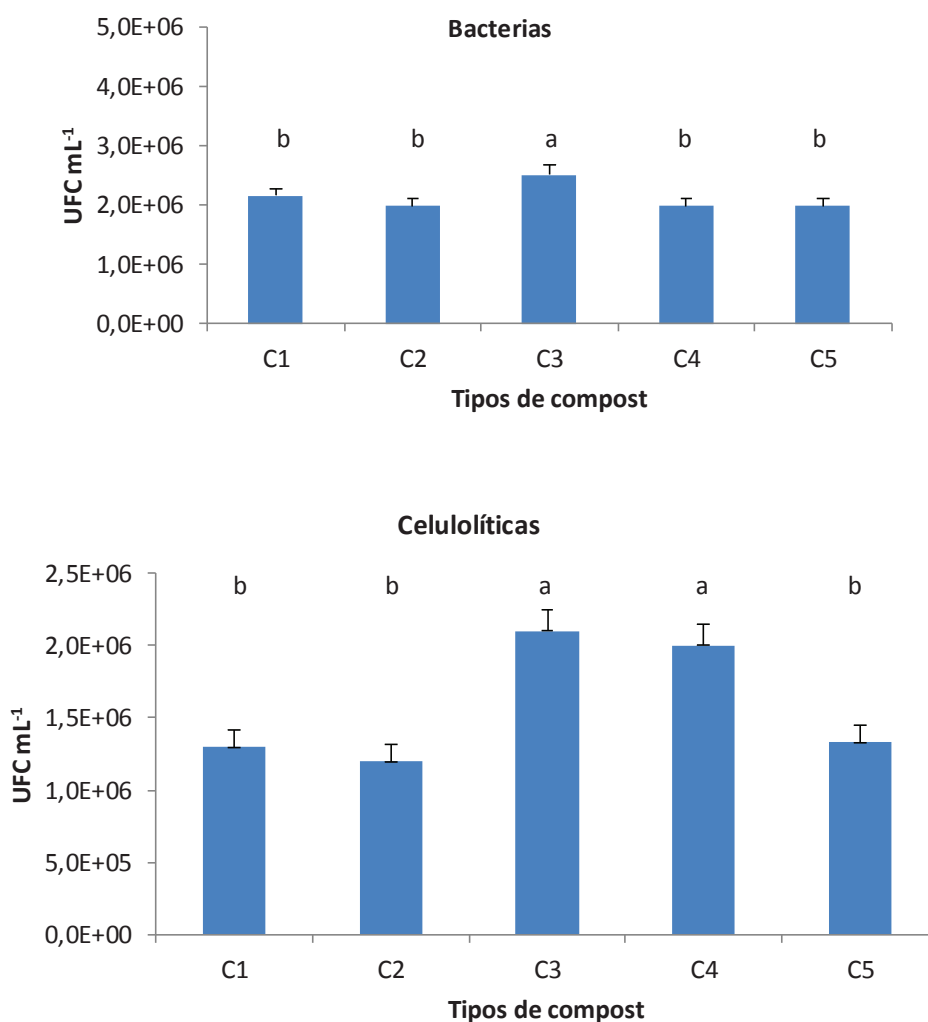


Figura 7. Contenido de bacterias y celulolíticas en productos finales de compostación bajo las diferentes combinaciones de compost estudiados. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tipos de compost (Duncan $p < 0,05$, gl: 14).

Figure 7. Bacteria and cellulolytic content in final compost products under the different combinations of compost studied. Different letters at the same sampling point indicate statistically significant differences between compost combinations (Duncan $p < 0.05$, gl: 14).

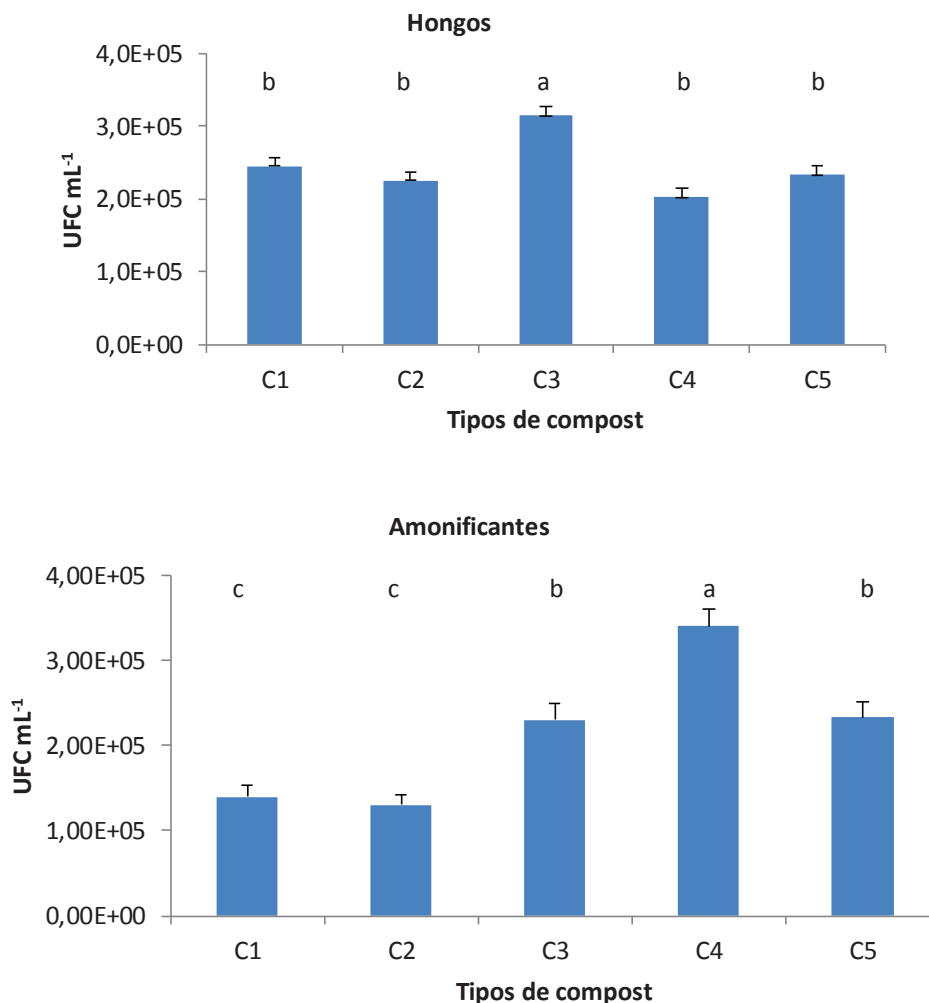


Figura 8. Presencia de hongos y amonificantes en productos finales de los diferentes tipos de compostación. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tipos de compost (Duncan $p < 0,05$, gl: 14).

Figure 8. Presence of fungi and ammonia in final products of different types of compost. Different letters at the same sampling point indicate statistically significant differences between compost combinations (Duncan $p < 0.05$, gl: 14).

Cuadro 4. Correlación entre parámetros químicos y microbiológicos para los distintos tipos de compost. Pearson * significativo ($p < 0,05$), ** altamente significativo ($p < 0,01$). Grados de libertad, gl: 14.

Table 4. Correlation between chemical and microbiological parameters for the different types of compost. Pearson * significant ($p < 0.05$), ** highly significant ($p < 0.01$). Degrees of freedom gl: 14.

Variables	T	pH	C/N	P	K	Ca	Hongos	Bacterias
T								
pH	0,23							
C/N	0,52*	0,51*						
P	0,26	0,60*	0,27					
K ⁺	0,21	0,06	0,28	0,50*				
Ca ⁺²	0,08	0,01	0,15	0,51*	0,18			
Hongos	0,69*	0,70**	0,71*	0,5*	0,58*	0,11		
Bacterias	0,56*	-0,8**	0,65*	0,21	0,54*	0,04	0,03	

alcanzada, sobre todo en los primeros cinco días, a fin de eliminar agentes patógenos y semillas que puedan estar presentes durante el proceso de descomposición (Bastida *et al.*, 2016).

Cabe destacar que todas las combinaciones empleadas para hacer el monitoreo de los tipos de composición mostraron diferencias al momento de hacer el seguimiento, no sólo del pH, sino también de la dinámica nutricional. Al respecto, Cardozo (2010) señala que las distintas combinaciones de materiales, generan diferentes tiempos de descomposición así como disponibilidad de nutrientes. En las combinaciones donde se emplearon excretas, los abonos orgánicos obtenidos mostraron mayores concentraciones de K^+ y Ca^{+2} , siendo este indicador una estrategia a aplicar; cuando el abono que se quiera obtener tenga una mayor concentración de estos nutrientes.

Es importante mencionar que los procesos de descomposición de la materia orgánica, impulsados por los microorganismos durante el proceso de compostación, son similares a los que ocurren en el suelo, debido a que los microorganismos necesitan metabolizar compuestos para obtener energía y nutrientes que le permitan desarrollarse poblacionalmente (Bayard *et al.*, 2015). En el proceso de compostación, las bacterias requieren de una serie de condiciones físico-químicas ideales para poder crecer, donde los sustratos más lábiles, conformados por azúcares, aminoácidos, lípidos y celulosa son degradados en menor tiempo, tanto por las bacterias como por los hongos y actinomicetes mesófilos tolerantes a temperaturas medias, quedando los compuestos más recalcitrantes como lignina y hemicelulosa para ser descompuestos por bacterias termófilas a temperaturas que oscilan entre 65 y 70 °C (Bastidas *et al.*, 2016).

Cabe destacar que durante el proceso de degradación, algunos nutrientes como el N, son asimilados en los constituyentes intracelulares, mientras que otros son transformados para obtener energía (Eiland *et al.*, 2001), de aquí radica la importancia de conocer las correlaciones entre los diferentes nutrientes, las relaciones C/N y la presencia de diferentes microorganismos en el abono orgánico final, ya que será un aporte importante al suelo en términos de incrementar la actividad biológica del mismo. Las correlaciones entre los parámetros químicos y microbiológicos, indican que en estos sistemas de descomposición donde se emula el proceso natural de descomposición y formación de materia orgánica del suelo, favorecen una mayor degradación del material vegetal (Haruta *et al.*, 2005). Asimismo mejora la calidad de los abonos orgánicos en términos de disponibilidad nutricional y presencia de poblaciones microbianas, al encontrar claras correlaciones entre los microorganismos presentes y la disponibilidad de algunos elementos durante el proceso y en el abono orgánico obtenido.

En el manejo de recursos locales para la obtención de abonos orgánicos, se deben cumplir ciertos paráme-

tros que garanticen su calidad, algunos de ellos son: la ausencia de olores (producto de compuestos de sulfuro y mercaptanos) (Cardozo, 2010), relaciones C/N <25 (Bonanomi *et al.*, 2013), contenido de materia orgánica mayor o igual a 25% en base seca (León y Gutiérrez, 2017), por lo que el papel que cumplen los productores y campesinos para su elaboración en zonas rurales es fundamental, ya que en su mayoría manejan unidades de producción diversificadas a pequeña escala (Altieri y Nicholls, 2004). Por esta razón, se hace imperativo desde una visión agroecológica, proporcionar herramientas en el uso y producción eficaz de abonos orgánicos de calidad, haciendo una identificación de los recursos locales disponibles, para luego probar diferentes combinaciones de abonos orgánicos que podrían generar un material estabilizado, que cumpla con los requerimientos mínimos para mejorar la producción de su predio, pero sobre todo suministrar al suelo un material que mejorará las condiciones biológicas del mismo, a fin de hacer al agroecosistema más sostenible, frente a sus actividades de producción.

CONCLUSIONES

El empleo de recursos orgánicos generados localmente, es una de las estrategias que consideran los campesinos a fin de minimizar el empleo de insumos y fertilizantes externos para el mantenimiento de sus cultivos. Esta caracterización de sustratos generados en cada unidad de producción, así como la combinación más adecuada de materiales utilizados a partir de este análisis, es un aspecto clave a fin de hacer abonos estabilizados que permitan tener una mejor disponibilidad de nutrientes, así como obtener una mayor presencia de poblaciones microbianas. De todos los sustratos, la *Thitonia diversifolia* mostró mayor concentración de nitrógeno, y al ser utilizada en los diferentes compost, generó durante el tiempo de descomposición, mayor disponibilidad de nutrientes en los mismos. De igual forma, se determinó que si bien en los predios evaluados se generaron distintos tipos de excretas, producto de la diversificación de actividades, el empleo de excretas de ovino, generó mayor disponibilidad de nutrientes tanto en el proceso de descomposición, como en el abono orgánico estabilizado. Cabe destacar, que la caracterización así como el empleo de los sustratos generados localmente para la conformación de diferentes tipos de compost, permitió tener una visión global de las diversas dinámicas de temperatura y de nutrientes que suceden durante el proceso de descomposición, así como las correlaciones más significativas que pueden darse frente a un determinado tipo de combinación de materiales, que no solo afectan los tiempos de descomposición, sino también el aporte nutricional y de microorganismos al suelo, así como del abono orgánico estabilizado.

REFERENCIAS

- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., 2004. Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados de cultivo en el trópico. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 73(1), 8-20.
- Anderson, J.M., Ingram, J.S., 1993. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*, second ed. CAB International, Wallingford, UK.
- Araya, M., Tapia, A., Mata, R., Serrano, E., Acuña, O., 2014. Efecto de la aplicación de compost y nematicida sobre la dinámica de las poblaciones de microorganismos, nematodos fitoparásitos del suelo y la salud del sistema radical en el cultivo del banano (*Musasea*) sembrado en domos. *Agronomía Costarricense* 38(2), 93-105.
- Bastida, F., Jehmlich N., Lima, K., Morris, B.E., Richnow, H.H., Hernández, T., García, C., 2016. The ecological and physiological responses of the microbial community from a semiarid soil to hydrocarbon contamination and its bioremediation using compost amendment. *Journal of Proteomics* 135, 162-169.
- Bayard, R., González-Ramírez, L., Guendouz, J., Benbelkacem, H., Buffière, P., Gourdon, R., 2015. Statistical analysis to correlate bio-physical and chemical characteristics of organic wastes and digestates to their anaerobic biodegradability. *Waste and Biomass Valorization* 6(5), 759-769.
- Bonanomi, G., Incerti, G., Giannino, F., Mingo, A., Lanzotti, V., Mazzoleni, S., 2013. Litter quality assessed by solid state ¹³C NMR spectroscopy predicts decay rate better than C/N and Lignin/N ratios. *Soil Biology and Biochemistry* 56, 40-48.
- Bremner, J., 1965. Total Nitrogen, in: Norman, A.G. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Monograph 9.2. ASA, SSSA, Madison, WI. doi:10.2134/agronmonogr9.2.c32
- Cardozo, R.P., 2010. Caracterización nutricional, físico-química y microbiológica de tres abonos orgánicos para uso en agroecosistemas de pasturas en la subregión Sabanas del departamento de Sucre, Colombia. *Revista Tumbaga* 1(5).
- Defrieri, R.L., Jiménez, M.P., Efron, D., Palma, M., 2005. Utilización de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de compostaje. *Agriscientia* XXII(1), 25-31.
- Eiland, F., Klammer, M., Lind, A.M., Leth, M., Bååth, E., 2001. Influence of initial C/N ratio on chemical and microbial composition during long term composting of straw. *Microbial Ecology* 41(3), 272-280.
- Franke-Whittle, I.H., Confalonieri, A., Insam, H., Schlegelmilch, M., Körner, I., 2014. Changes in the microbial communities during co-composting of digestates. *Waste Management* 34(3), 632-641.
- Haruta, S., Nakayama T., Nakamura, K., Hemmi, H., Ishii, M., Igarashi, Y., Nishino, T., 2005. Microbial diversity in biodegradation and reutilization processes of garbage. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 99(1), 1-11.
- Jara, M., Salazar, C., García, Y., García, Y., Rodríguez, Y., Chafía, A., 2017. Parámetros físico-químicos y contenido de coliformes de un compost obtenido a partir de residuos orgánicos del Camal Frigorífico Riobamba. *Revista Amazónica Ciencia & Tecnología* 5(3), 252-263.
- Jurado, M.M., Suárez-Estrella, F., López, M.J., Vargas-García, M.C., López-González, J.A., Moreno, J., 2015. Enhanced turnover of organic matter fractions by microbial stimulation during lignocellulosic waste composting. *Biore-source Technology* 186, 15-24.
- Komilis, D.P., Ham R.K., 2003. The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes. *Waste Management* 23(5), 419-423.
- León, G.G., Gutiérrez, M.V., 2017. Actividad microbiana en sustratos y análisis de crecimiento en almácigos de tomate en Guanacaste, Costa Rica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 11(1), 159-169.
- Miranda, J.P.R., Osorio, S.C.A., Castellanos, O.R., 2017. Comparación de la calidad del humus de material vegetal con el de residuos orgánicos domésticos, resultado del compostaje mediante el sistema de pilas. *Logos Ciencia & Tecnología* 8(2), 191-200.
- Murphy J., Riley, H.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemistry Acta* 27, 31-36.
- Pearson, K., 1896. Mathematical contributions to the theory of evolution on a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. *Proceedings of the Royal Society of London* 60(359-367), 489-498.
- Ramírez-Iglesias, E., Hernández-Hernández, R.M., 2013. Dinámica de macro y micronutrientes en residuos de compostación de cultivos de frutas y hortalizas en los bosques nublados de la cordillera de la costa. *Memorias. 2° Congreso Venezolano de Ciencia Tecnología e Innovación 7-10 de Noviembre de 2013, Caracas, Venezuela*, pp. 106.
- Ruíz, D.M., Martínez, J.P., Figueroa, A., 2015. Agricultura Sostenible en Ecosistemas de Alta Montaña. *Biocología en el sector Agropecuario y Agroindustrial* 13(1), 129-138.
- Sánchez-García, M., Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A., López-Cano, I., Moreno, B., Benítez, E., Cayuela, M.L., 2016. Compost vs biochar amendment: a two-year field study evaluating soil C build-up and N dynamics in an organically managed olive crop. *Plant and Soil* 408(1-2), 1-14.
- Van Soest, P., 1967. Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages. *Journal of Animal Science* 26, 119-128.
- Universidad Central de Venezuela (UCV). 1993. *Métodos de análisis de suelo y plantas utilizadas en el Laboratorio general del Instituto de Edafología. Cuadernos de Agronomía. Facultad de Agronomía, UCV (Maracay)*. 89 p.
- Watable, F.S, Olsen S.R, 1965. Test acid ascorbic methods for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society Proceedings* 29, 677-678.