

ALGUNOS MÉTODOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE DOS COMPOST

Luisa Villalba¹* y Ariam Acosta²

¹Instituto Zoología y Ecología Tropical (IZET), Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Av. Los Ilustres. Caracas 1041. Venezuela.

²Postgrado de Ecología. Instituto de Zoología y Ecología Tropical (IZET), Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela (UCV) y Laboratorio de Ecología Humana y Social. Instituto Pedagógico de Caracas (IPC), Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). *luisavillalba.ucv@gmail.com

RESUMEN

La calidad del compost es difícil de definir; por cuanto su composición, depende fundamentalmente de los materiales que le dieron origen. El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad de dos compost, mediante la aplicación de una serie de pruebas, principalmente biológicas, y comparar los resultados con los valores estándares producto de la revisión y interpretación de las normativas, sobre la materia, de varios países. Se trabajó con un compost y un vermicompost elaborados en el vivero del Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Se determinó: pH, Conductividad Eléctrica, Porcentaje de Materia Orgánica, Carbono Orgánico Total, Porcentaje de Nitrógeno Total, Capacidad de Retención de Agua, el color, Índice de QBS-ar (quality biologic soil arthropods), Test "Z" de Minnesota, Respiración Basal, Análisis Cromatográfico Circular de Pfeiffer y el Test de Fitotoxicidad de Zucconi. Los resultados obtenidos, concluyen que se encuentran en rangos aceptables de madurez, para los compost estudiados. El compost es inmaduro por su alta relación C:N; según la CCP ambos compost no están bien estabilizados y el vermicompost presentó fitotoxicidad. De los análisis realizados, la relación C:N, la Respiración Basal, la CCP y el Test de Fitotoxicidad de Zucconi, representan pruebas sencillas que aportan elementos sustantivos para determinar la calidad de un compost. Es necesario ampliar las indagaciones en cuanto a la actividad enzimática; análisis de presencia de malezas, presencia de metales pesados y sustancias que generen toxicidad.

Palabras clave: compost, enmiendas, calidad compost, fitotoxicidad, compost inmaduro.

Some methods to determine the quality of two compost

Abstract

Compost quality is difficult to define; Because its composition depends fundamentally on the materials that gave rise to it. The objective of this research was to determine the quality of two composts, through the application of a series of tests, mainly biological, and to compare the results with the standard values resulting from the review and interpretation of the regulations on the matter from several countries. We worked with a compost and a vermicompost prepared in the nursery of the Institute of Zoology and Tropical Ecology, Faculty of Sciences, Central University of Venezuela. The following were determined: pH, Electrical Conductivity, Percentage of Organic Matter, Total Organic Carbon, Percentage of Total Nitrogen, Water Retention Capacity, color, QBS-ar Index (quality biological soil arthropods), Minnesota "Z" Test, Basal Respiration, Pfeiffer Circular Chromatographic Analysis and the Zucconi Phytotoxicity Test. The results obtained conclude that they are within acceptable maturity ranges for the composts studied. Compost is immature due to its high C:N ratio; According to the CCP, both composts are not well stabilized and the vermicompost presented phytotoxicity. Of the analyzes carried out, the C:N ratio, Basal Respiration, CCP and the Zucconi Phytotoxicity Test represent simple tests that provide substantive elements to determine the quality of a compost. It is necessary to expand the investigations regarding enzymatic activity; analysis of the presence of weeds, the presence of heavy metals and substances that generate toxicity.

Keywords: compost, amendments, compost quality, phytotoxicity, immature compost.

INTRODUCCIÓN

El compostaje, es un sistema de tratamiento/estabilización de los residuos orgánicos basado en una actividad microbiológica compleja, realizada en condiciones controladas (presencia asegurada de oxígeno - aerobiosis- y con alguna fase de alta temperatura) en las que se obtiene un producto utilizable como abono, enmienda o sustrato. En condiciones naturales, la materia orgánica se descompone y en determinadas condiciones, por la acción humana se puede compostar, como una estrategia que forma parte de la gestión integral de los residuos orgánicos. La diferencia principal es que el compostaje se asume como un proceso artificial, como una biotecnología por el hecho de corresponder a una explotación industrial del potencial de los microorganismos; También puede considerarse una ecotecnología, ya que permite el retorno al suelo de la materia orgánica y de los nutrientes vegetales, introduciéndola de nuevo en los ciclos biológicos (Moreno y Moral, 2008; Villalba, 2011).

El compost o producto resultante del proceso de compostaje es difícil de definir, ya que su composición depende mucho del material o materiales que se hayan utilizado como materia prima, en todo caso, debe cumplirse: una parte importante de su materia orgánica esté estabilizada, es decir, sea de lenta biodegradación (esté maduro); esté higienizado, es decir, sin patógenos animales o vegetales y sin semillas de malas hierbas; tenga un nivel mínimo de impurezas y contaminantes; presente un aspecto y olor agradables, un buen nivel de nutrientes para las plantas; no genere problemas ni durante su almacenamiento, ni durante su aplicación (Moreno y Moral, 2008; Moreno *y col.*, 2015).

Es pertinente tomar en cuenta que una cosa es estudiar el contenido de materia orgánica existente en el suelo y otra es el análisis de los sustratos y las enmiendas orgánicas, como el caso del compost. Rivero (1999), señala que la preocupación por conocer la calidad de un compost de manera previa a su incorporación al suelo, ha llevado a plantear el uso de una serie de técnicas e índices, que permitan obtener la seguridad de no producir efectos indeseables en el mismo tales como, inmovilización de nitrógeno. Este se da usualmente, cuando no hay una transformación completa de los materiales celulósicos, presencia de niveles tóxicos de productos de metabolismo o compuestos alelopáticos y altos contenidos de sales o metales pesados; La forma como se logra estimar la calidad de un compost va desde prácticas muy rudimentarias, hasta la determinación de parámetros químicos específicos o instrumentación de bioensayos.

La calidad de las enmiendas orgánicas, deben ser evaluadas para garantizar que su uso no ocasione problemas no deseados; En este sentido, es importante conocer la diferencia entre la salud y la calidad de un suelo. En este orden de ideas, Doran y Zeiss (2000), señalan la importancia y utilidad de los organismos del suelo como indicadores de la calidad y

determinantes de la salud del suelo, y plantean que, para evaluar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas, se necesita una evaluación de la salud del suelo utilizando diversos indicadores tales como organismos del suelo y parámetros bióticos.

El Comité para la Salud del Suelo de la Sociedad de Ciencias del Suelo de Estados Unidos de América (U.S.D.A., 1996), define la salud del suelo como la capacidad que este tiene para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat.

A su vez, la calidad de un compost, va a estar íntimamente relacionada con el uso que se le va a dar a ese producto y, por lo tanto, los análisis que se requerirán estarán de acuerdo con dicho uso, bien sea como enmienda o como sustrato. Según lo señalado, es importante que el compost que se va a utilizar, principalmente en la agricultura, cumpla con unos estándares de calidad, definidos principalmente: (a) por su madurez y estabilidad; (b) como fertilizante; y (c) por su inocuidad.

Moreno y Moral (2008), señalan que la calidad del compost se entiende en términos de estabilidad biológica y de “humificación”; así, en el caso de la estabilidad biológica, este término está más relacionado con el uso del compost, es decir cuando su incorporación al suelo no ocasiona problemas en el sistema suelo-planta asociados a un bloqueo biológico del nitrógeno asimilable del suelo por las poblaciones de microorganismos, lo cual puede dar lugar a graves deficiencias de N en la planta y por tanto a un efecto depresivo en el rendimiento de los cultivos. Por consiguiente, el grado de madurez puede determinarse simplemente mediante la respuesta vegetal, y se han propuesto numerosos bioensayos para este fin. El más popular es el método de Zucconi *y col.* (1981) o test de germinación de *Lepidium sativum L.*, el cual determina que resultados de germinación menores a un 80% indican que el compost está inmaduro (Thompson *y col.*, 2001).

Generalmente, se realizan análisis fisico-químicos más relacionados con la disponibilidad de nutrientes que con la actividad biológica del suelo (Bailón-Rojas y Florida-Rofner, 2021).

En cuanto a los valores que se asume deben alcanzar las variables físicas, químicas y biológicas para que el compost sea considerado estable o maduro, existen diferencias entre las propuestas de países como Chile, Estados Unidos, España, México, entre otros, reflejadas en los límites o rangos aceptados, o emplean los mismos valores indistintamente de las características de cada país. En algunos casos solo se consideran las propiedades fisicoquímicas y puede esto arrojar un buen resultado; sin embargo, el compost puede estar contaminado con organismos patógenos, por lo cual, si solo se hacen análisis físicos, se puede estar obviando datos

de concentración de metales pesados u otros elementos tóxicos. Ante esta problemática, surgen las siguientes interrogantes ¿Cuáles son las pruebas físicas, químicas y biológicas que permiten establecer la calidad de un compost? y de acuerdo con estas pruebas, debe plantearse la siguiente interrogante ¿Cuáles serán los intervalos adecuados para establecer que los resultados muestran un compost estable?

Se plantea entonces como objetivo de esta investigación determinar la calidad de dos compost, mediante la aplicación de una serie de pruebas, principalmente biológicas, y comparar los resultados con los valores estándares producto de la revisión e interpretación de las normativas, sobre la materia, de Chile, México, España y Estados Unidos. Al mismo tiempo, se lleva a cabo una serie de consideraciones y reflexiones sobre ¿Cuáles parámetros indican mejor la calidad del compost?

A tales efectos, se comparó un compost y un vermicompost elaborados en el vivero del Instituto de Zoología y Ecología Tropical (IZET), donde desde el año 2015, a partir del primer curso a la comunidad sobre compostaje se comenzó a hacer compost con la participación activa de los estudiantes de la UCV, lo cual se mantiene hasta la fecha; a estos compost, se les sometió a una serie de análisis en el marco del tópico del postgrado de Ecología del IZET-UCV denominado: “Formulación, caracterización y beneficio de enmiendas orgánicas”, en el cual se planteó un enfoque holístico en el análisis de calidad de los compost estudiados, con el fin de establecer la calidad de los mismos y evaluar si su incorporación como enmienda al suelo es recomendable, de allí surgieron consideraciones, las cuales se encuentran reflejadas en la presente publicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestras. Se tomó dos muestras diferentes, correspondiente la primera a un compost maduro, conformado principalmente por residuos vegetales de las podas y hojas caídas de árboles cercanos al vivero del IZET, en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela (UCV) y la segunda muestra perteneció a un vermicompost que ya estaba maduro, producto de la degradación por *Eisenia foetida*, de un material vegetal precompostado y “cama de caballerizas” (estiércol y purín de caballo con aserrín) elaborados en el vivero del IZET.

En cada caso se tomó una muestra compuesta de cinco puntos de la pila de compost y de igual manera para el vermicompost, hasta completar un kilogramo (1 kg) y se almacenó en bolsas plásticas con cierre hermético e identificadas, para posteriormente ser refrigeradas a 4°C. De estas muestras, una parte se conservó refrigerada para los análisis biológicos y la otra se secó a temperatura ambiente por una semana y luego se pasó por un tamiz de 2 mm.

Análisis realizados.

1. pH y Conductividad Eléctrica (CE). Método potenciométrico para el pH: se determinó la actividad de los iones de hidrógeno contra un electrodo de referencia en una suspensión del suelo en agua con una relación 1:5; y para la CE: la medida de la cantidad de corriente que pasaba a través de la solución del suelo (dS/m).
2. Porcentaje de Materia Orgánica (% MO) y Carbono Orgánico Total (COT). Se determinó el porcentaje de materia orgánica (%MO), el de carbono orgánico total (%COT) y el de humedad (%H) por el método de ignición (“Loss On Ignition” - LOI). Cada muestra se analizó por duplicado. Para realizar estos procedimientos, se colocaron 10 g de compost y 10 g de vermicompost en una mufla a 105°C hasta alcanzar peso constante; Luego se midió las masas para hallar el %H y se llevaron nuevamente a la mufla a 550°C hasta alcanzar peso constante y así determinar el %MO. $\%COT = \%MO / 1,724$.
3. Porcentaje de Nitrógeno Total (%Nt). Se utilizó el método Kjeldahl, en el cual la muestra fue digerida con ácido sulfúrico y empleando H₂O₂; por este procedimiento, las formas orgánicas de nitrógeno son transformadas a ion amonio, el cual se determina después de su destilación por arrastre de vapor con un ácido patrón. Los análisis se realizaron por triplicado.
4. Capacidad de retención de agua (WHC base al volumen y al peso). Se determinó solamente en el compost, de acuerdo a Thompson *y col.* (2001) al colocar el volumen de 50 cm³ de muestra fresca de compost en un embudo con papel de filtro, se humedeció durante 100 minutos gota a gota con agua destilada desde una bureta, luego se procedió a secar a 105°C y se determinó:

(a) La masa de agua contenida en la muestra al final del ensayo:

$$W = [M_w - M_d] - [P_w - P_d]$$

(b) La capacidad de retención de agua (volumen base):

$$WHC = W \div 50$$

(c) La capacidad de retención de agua (en base al peso):

$$WHC = W \div [M_d - P_d]$$

(d) La densidad aparente (masa seca/volumen)

Dónde:

WHC = capacidad de retención de agua, mL agua cm⁻³ secado al horno compost (en volumen), o g de agua g⁻¹ secado al horno compost (en peso),
 W = cantidad total de agua retenida por 50 cm³ de muestra de compost, ml = g,
 M = masa de muestra de compost sometida a prueba (w=húmedo; d=seco), g,
 [P_w - P_d] = masa de agua contenida en papel de filtro (w=húmedo; d=seco), gramo,
 [M_w - M_d] = cantidad total de agua contenida en la muestra y el filtro papel, ml = g,
 [M_d - P_d] = peso seco (determinado a 105°C) de los 50 cm³ muestra de abono y
 50 = 50 cm³ de muestra sometida a gotas de agua.

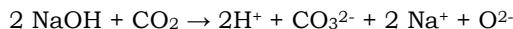
5. El color. Se determinó de acuerdo con la carta de colores del suelo de Munsell (Munsell Soil-Color Charts, 2023).

6. Índice QBS-ar (quality biologic soil arthropods). De acuerdo a Staffilani *y col.* (2021), el índice de calidad biológica del suelo está basado en los artrópodos presentes en el suelo y es utilizado como indicador de la biodiversidad del suelo; debe tenerse presente que los valores del índice

están directamente relacionados con el uso y estado del suelo, lo que permite obtener conclusiones sobre el impacto en el suelo de las prácticas de manejo. Se utilizó el método del embudo Berlese-Tullgren (Palacios y Mejía, 2007), el cual se basa en la extracción de los artrópodos por el propio movimiento de estos; se trata de un método selectivo o dinámico, en el que se utilizan los tactismos de los animales en respuesta a un estímulo, que puede ser termodinámico, luminoso o de gravedad y son los siguientes: fototropismo, en donde la luz es el principal estímulo; termotropismo, son aquellos movimientos debidos a la acción del calor; geotropismo, esto es, la tendencia de los organismos a responder al estímulo de la gravedad. Se colocó una muestra fresca de compost en una trampa de luz con recipientes de recepción con alcohol 70% y otra de un suelo tomado en las áreas del estacionamiento del IZET para establecer una comparación; Los organismos colectados en la trampa se observaron en lupa estereoscópica y se clasificaron en familias, en el caso del vermicompost, no se le aplicó esta prueba.

7. Test "Z" de Minnesota para medir la toxicidad de la MO. De acuerdo al protocolo establecido por Thompson *y col.* (2001), se colocaron tres organismos de *E. foetida* por montaje a un 60% de humedad; se realizó por duplicado para compost y para vermicompost; con el propósito de determinar la diferencia en las masas de estas al final de los 7 y 14 días de observación.

8. Respiración basal (CO₂.C). Se utilizó el método descrito por Trautmann y Krasny (1997), el cual permite determinar si la materia orgánica estaba completamente descompuesta, con base en la producción de CO₂. La prueba de respiración proporciona una medida de si la tasa de producción de CO₂ había disminuido lo suficiente como para que el compost se considerara estable; eso funciona capturando el gas de CO₂ que posteriormente reaccionó con el NaOH en solución para producir ácido carbónico, como se muestra en la siguiente ecuación:



En frascos de vidrio bien limpios, se colocaron 25 g. de compost debidamente humedecido (50%) y en el frasco o espacio especial se colocó una trampa de álcali con 20 ml de NaOH. Luego de cuatro días, se midió la cantidad de CO₂ absorbido por cada trampa de NaOH mediante la titulación con HCl 1M. Se calculó la masa de CO₂ generado por la muestra de compost, mediante la fórmula:

$$\text{CO}_2 \cdot \text{C}(\text{mg}) = (\text{HCl}_b - \text{HCl}_s / 1000 \text{ ml/l}) \times \text{molaridad HCl (ml/l)} \times 12 \text{ g C/mol} \times 1000 \text{ mg/g}$$

Donde:

HCl_b = ml HCl usado en la titulación del blanco.

HCl_s = ml HCl usado en la titulación de la muestra

CO₂.C = masa de CO₂-carbón generado.

Cada muestra se analizó por duplicado.

9. El análisis Cromatográfico Circular de Pfeiffer (CCP). Se realizó de acuerdo al método de Pfeiffer, descrito por Restrepo y Pinhero (2011), lo que permitió analizar la actividad enzimática, diversidad mineral, disponibilidad nutricional y humus permanente. Pfeiffer, encontró que una solución de hidróxido de sodio (NaOH), preparada al 1% en una muestra de suelo vivo era suficiente para solubilizar las sustancias nitrogenadas del metabolismo de los microorganismos presentes en ella, las cuales reaccionaban por la cantidad de N/NH₃/NO₂/NO₃, al ser expuestas sobre un papel de filtro especial impregnado con nitrato de plata, y luego revelaban una serie de colores y distancias específicos. Cuanto mayor es el contenido de sustancias nitrogenadas, mayor el anillo de compuestos y la intensidad de colores presentes, los cuales varían conforme la presencia de oxígeno (oxidante) o azufre (reductor) antagónicos, liberados por los microorganismos predominantes en el momento de la recolección de la muestra de suelo. Este método también conlleva evaluar los minerales, los que por su solubilidad, valencia y grado de oxidoreducción forman diferentes círculos radiantes sobre el papel impregnado o cromatograma. Para la interpretación de CCP, se consideran las distintas zonas que lo comprenden, como se puede apreciar en la Figura 1.

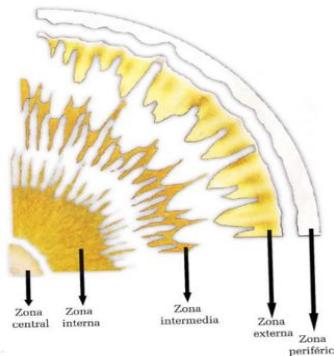


Figura 1. Zonas para la identificación y análisis de cromatograma (Restrepo y Pinhero, 2011).

10. Test de fitotoxicidad de Zucconi. Se determinó el índice de germinación de acuerdo al método de Zucconi y col. (1981) y a Trautmann y Krasny (1997), usando semillas de lenteja (*Lens culinaris*) y de lechuga (*Lactuca sativa L.*) con tres y cinco réplicas respectivamente; utilizando 5 ml para las lentejas y 3 ml para las lechugas del extracto de compost y vermicompost; éste se obtuvo pesando en tubos de centrífuga 5 gramos de substrato en 25 mL de agua, agitando por 2 horas y centrifugando por 10 minutos a 3000 rpm.

11. Análisis estadísticos. Para el análisis de los resultados, se empleó la estadística descriptiva, específicamente el cálculo de los valores promedios con la respectiva desviación estándar.

Para la evaluación final del compost y el vermicompost, se utilizó la matriz propuesta por Thompson y col. (2001) presentada en la Figura 2, en la cual, a) se toma un análisis referido a la estabilidad, al respecto se utilizó la Respiración Basal (CO_2C); y b) otro análisis con respecto a la madurez: en este caso, se empleó el Test de Fitotoxicidad de Zucconi. Luego los resultados se cruzan en la matriz, el producto final se puede clasificar en muy maduro, maduro e inmaduro.

		Indicador de Madurez		
		Muy Maduro	Maduro	Inmaduro
Indicador de Estabilidad	Muy Maduro	Muy Maduro		
	Maduro		Maduro	
	Inmaduro			Inmaduro

Figura 2. Matriz de evaluación de madurez. Se aplica cuando la relación C:N es igual o inferior a 25:1 (Modificado de Thompson *y col.*, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros analizados, se resumen en las Tablas 1 y 2, presentadas a continuación:

Tabla 1. Resultados de los análisis fisico-químicos realizados al compost y al vermicopost.

Parámetro medido	Compost	Vermicompost
pH	7,6	7,4
CE (dS/m)	1,3	1,6
%MO	$40,67 \pm 2,74$	$37,11 \pm 0,38$
%H	$7,71 \pm 0,24$	$6,44 \pm 0,23$
%COT	$23,59 \pm 1,59$	$21,52 \pm 0,22$
%Nt	$0,65 \pm 0,05$	$0,91 \pm 0,02$
C:N	36,3	23,7
W (g)	12,22	*
WHC (g) y (ml)	0,54 y 0,25	*
DA (g/ml)	0,47	*
Color	5YR2,5/1	5YR2,5/1

Fuente: Elaboración propia

± Desviación Estándar

* No se le realizó este análisis.

Tabla 2. Resultados de los análisis biológicos y bioquímicos realizados al compost y al vermicompost.

Parámetro medido	Compost	Vermicompost
Índice QBS-ar (grupo taxonómico/N ° organismos)	Coleópteros / 7 Colémbolos / 23 Ácaros / 10 Dípteros / 1 Hemíptera / 1 Otros / 2	*
Test "Z" de Minnesota (% ganado en peso por las lombrices)	- A los 7 días: -10.54% - A los 14 días: -5.83%	- A los 7 días: 1.25% - A los 14 días: -1.53%
Respiración basal (mg CO ₂ /g carbono orgánico/día)	0,03	0,01
Cromatografía Circular de Pfeiffer (CCP)		
Test de fitotoxicidad de Zucconi	- Lenteja: 112.01% - Lechuga: 319.4%	- Lenteja: 12.48% - Lechuga: 35%
- Lenteja - Lechuga		

Fuente: Elaboración propia.

± Desviación Estándar

* No se le realizó este análisis.

En algunos países, se han establecidos normativas que indican cómo deben ser los protocolos a seguir para el análisis del compost y cuáles son los valores que se deben esperar para verificar que el material esté apto para su aplicación en suelos destinados al cultivo de rubros alimentarios. Por lo que, producto de la revisión de las normativas de Chile, México, España y los Estados Unidos, se construyó la Tabla 3, lo que permitió fundamentar unos valores propuestos para determinar una buena calidad del compost, de acuerdo con el parámetro analizado.

Tabla 3. Valores propuestos para analizar la calidad del compost.

Parámetro (metodología)	Valor (referencia)	Propuesta
%MO (LOI)	25% (legislación española: Costa y col., 1991) > o igual a 20% - Norma Chilena sobre compost y compostaje, NCh2880 (2004) 50% base seca. (Norma mexicana para humus de lombriz, NMX-FF-109-SCFI-2007).	Mayor o igual a 20%
Ntotal (Kjeldahl)	(0,4 –1,8 %.) (Nogales cit. Rivero, 1999) 1% (legislación española: Costa y col., 1991) > o igual a 0,5% (expresado en base seca). Norma Chilena sobre compost y compostaje, NCh2880 (2004) 1 – 4% (Norma mexicana para humus de lombriz, NMX-FF-109-SCFI-2007).	Mayor o igual a 0,5 % (expresado en base seca)
C:N	entre 15 y 20 (Centro de Técnicas Agrarias, 2001) <25% (maduro); >25% inmaduro (TMECC)	Menor o Igual a 25%
pH	7 – 8 (Centro de Técnicas Agrarias, 1981) Entre 5 y 8,5 - Norma Chilena sobre compost y compostaje, NCh2880 (2004); (Norma mexicana para humus de lombriz, NMX-FF-109-SCFI-2007).	Entre 5 y 8,5
CE	Turba: 440 mS/cm Estiércoles de pollo: 6.590mS/cm (Centro de Técnicas Agrarias, 2001) Se debe intentar mantener valores < 1,5 dS/m (Moreno y Moral, 2008) < o igual a 4 dS/m. (Norma mexicana para humus de lombriz, NMX-FF-109-SCFI-2007).	Menor o igual a 3 dS/m*
DA	0,5 –0,7 g/cm3. (Nogales cit. Rivero, 1999) 0,4 a 0,9 g/ml. (Norma mexicana para humus de lombriz, NMX-FF-109-SCFI-2007).	0,4 a 0,9 g/ml.
Temperatura	20 – 30°C (Centro de Técnicas Agrarias, 1981)	20 – 30 °C
Humedad	<40% (legislación española: Costa y col., 1991) Entre 30 y 45% -Norma Chilena sobre compost y compostaje, NCh2880 (2004)	<40%
Fitotoxicidad (TMECC)	>50% (Zucconi, 1981) >90% (muy maduro); 80 – 90 % (maduro); < 80% inmaduro (TMECC)	Mayor o igual a 80% de germinación.
Test Z de Minnesota (Lombrices – TMECC)	< 20% (muy maduro); 20 – 40 % (maduro); > 40% inmaduro (TMECC) % ganado en peso por las lombrices)	Menor o igual a 40% de peso ganado
Respirometría (mg CO ₂ -C/g/día)	<2% (muy estable); 2 – 4 % (estable); >4% inestable (TMECC) Emisión de CO ₂ < 5 mg CO ₂ -C/g C-compost (peso seco) (García y col., 1992). < 2 mg CO ₂ -C/g carbón orgánico/día muy estable; 2 – 5 estable; 5 – 10 moderadamente estable; 10 – 20 inestable; > 20 extremadamente inestable (Trautmann y Krasny, 1997)	Menor o igual a 5 mg CO ₂ -C/g/ día (peso seco)

Fuente: Elaboración propia

*De acuerdo con la Norma Chilena sobre compost y compostaje, NCh2880 (INN, 2004), se definen dos clasificaciones:

-Compost Clase A: Producto de alto nivel de calidad que cumple con las exigencias de metales pesados, su CE < 3 dS/m y su relación C:N menor o igual a 25. Sin restricciones de uso.

- Compost Clase B: Producto de nivel intermedio de calidad que cumple con las exigencias de metales pesados, su CE < 8 dS/m y su relación C:N menor o igual a 30. Este producto puede presentar algunas restricciones de uso si su CE es >3dS/m.

Nota: TMECC (Thompson *y col.*, 2001).

De acuerdo con la data contenida en las Tablas 2 y 3, se efectuó el análisis pertinente de los resultados obtenidos para el compost y el vermicompost; así, para los parámetros analizados, se tiene:

El pH es adecuado en ambos compost (ligeramente alcalino); de acuerdo a la CE, se pueden clasificar como Compost Clase A (Producto de alto nivel de calidad, su CE < 3 dS/m). En cuanto al pH y la conductividad eléctrica, es oportuno señalar que los valores del pH, deben estar en los intervalos neutros, de manera que sean cónsonos con las condiciones para el desarrollo de las plantas y demuestre que no hay ácidos en altas concentraciones en el medio o por el contrario altas cantidades de grupos alcalinos; mientras que la CE que se direcciona a mostrar la cantidad de partículas en suspensión que permiten el intercambio de electrones para conducir electricidad, estos valores resultaron ser bajos, lo que indica que hay pocos sólidos totales, capaces de transportar electricidad; en ambos casos, el pH y la CE, resultaros ser bajos, lo que coincide con lo planteado por Thompson *y col.* (2001), García (2012) y Barrera (2022).

En el caso del contenido de nitrógeno total, se obtuvo valores bajos, especialmente para el compost: 0.65% y un poco más alto para el vermicompost: 0.91%. Por esta razón, la relación C:N nos indica que el compost se encuentra inmaduro, con un valor de 36,3 el cual es mayor a 25; en cambio para el vermicompost, la relación C:N es de 23,7 que demuestra un producto maduro (menos de 25).

Estos bajos niveles de nitrógeno en el compost pueden ser signo de una alta actividad microbiana y por ende esto limitaría el N disponible para las plantas; pero al observar los resultados de la respiración para evaluar la cantidad de CO₂ producido por gramos de carbono total al día, los valores encontrados fueron muy bajos (0,03 compost y 0,01 vermicompost), entonces las muestras dan signos de baja actividad microbiana, posiblemente relacionada con la mineralización de materiales de degradación lenta como la celulosa y la lignina, los cuales inmovilizan parte del nitrógeno presente (Thompson *y col.*, 2001; García, 2012; Tighe *y col.*, 2014; Romero *y col.*, 2017).

Con relación a la capacidad de retención de agua, esta medida da una noción de las propiedades del compost para retener el agua; es decir, es un parámetro que demuestra en términos funcionales la calidad del compost. Otros aspectos tal como la porosidad, la densidad, y el tamaño del grano, por separado permitiría entender la estructura, pero en conjunto pueden interpretarse en la capacidad que tendrá el compost de almacenar agua. Esta no puede alcanzar un valor elevado ya que se generarian condiciones de hipoxia o anoxia, favoreciendo la supervivencia solo de aquellos microorganismos anaerobios. Adicionalmente, esta medida sola no sería determinante para establecer la calidad del compost (Thompson *y col.*, 2001).

La humedad en términos porcentuales es importante, ya que estaría incluida el agua generada por la respiración de los organismos y la que permanece en el compost por irrigación, dando así las condiciones para el movimiento de ciertas sustancias, así como procesos de osmorregulación, esto junto a la temperatura suelen cambiar durante la maduración del compost. En el momento de mayor actividad por parte de los microorganismos, la temperatura suele ser muy alta, y cuando disminuyen y se estabilizan dentro de los parámetros es porque se ha alcanzado la estabilidad o maduración de este.

La densidad aparente brinda información sobre la cantidad de materia en unidad de volumen de muestra seca, por lo que permite comprender el movimiento de sustancias y microorganismos a través del suelo o compost (García, 2012; Barrera, 2022).

Por su parte, el Test Z de Minnesota (Bioensayo con Lombrices – TMECC), arrojó que las muestras de compost y vermicompost están muy maduras, debido a que la diferencia entre la masa obtenida por las lombrices siempre estuvo por debajo del 20%, éstas ponen a prueba la calidad de la materia orgánica ya que la ingieren durante las dos últimas etapas del compostaje, por lo que el aumento de masa indica que tuvieron alimento para consumir (Thompson *y col.*, 2001).

Al calcular el índice QBS-ar (Tabla 4), se observa el rol ecológico de los artrópodos encontrados en el suelo, y de esta forma se pudo analizar la comunidad en el compost y en el suelo de referencia. Para esto se estableció un valor EMI (índice morfológico-ecológico) a los organismos que, de acuerdo con el método, se establece un valor entre 1 y 5 para organismos epígeos; es decir, superficiales o que no son del suelo. En los rangos intermedios se consideran los organismos hemiedáficos, o que están entre la zona de transición superficie-suelo. Finalmente, aquellos organismos propiamente edáficos, es decir, que sus adaptaciones son específicas para habitar y sobrevivir en el suelo, adquieren valores de 20 o cercanos a este. Se encontró mayor cantidad de especies edáficas y hemiedáficas en el compost que en el suelo, mientras que hubo mayor cantidad de especies epígeas en el suelo que en el compost (Menta *y col.*, 2018).

Tabla 4. Resultados del índice QBS-ar y los valores de EMI que determinan las formas de los artrópodos según sus adaptaciones al suelo.

Muestra	Grupo taxonómico	Nº de organismos	EMI	Forma
Suelo	Coleópteros	2	20	Edáfica
	Dípteros	5	1	Epígeas
	Himenóptera	3	5	Hemiedáficas
Compost	Coleópteros	7	20	Edáfica
	Colémbolos	23	20	Edáfica
	Acaros	10	5	Hemiedáficas
	Dípteros	1	1	Epígeas
	Hemíptera	1	1	Epígeas
	Otros	2	-	-

En cuanto al color de las muestras, se espera que un compost maduro esté en el rango de colores negro, marrón muy oscuro o marrón oscuro. Los tonos por debajo de esto suelen ser considerados como moderadamente maduros, y aquellos que arrojan tonos rojizos, grisáceos o amarillos suelen ser inmaduros. En los casos analizados, tanto el compost como el vermicompost fueron de color negro (5YR2.5-1), podría decirse entonces que son muestras que han alcanzado la madurez, coincidiendo con lo planteado por Thompson *y col.* (2001).

Para los análisis de las cromatografías circulares de Pfeiffer (CCP), se puede observar que en los dos casos hay zonas bien definidas, esto es coherente con muestras que no están degradadas, así como con una actividad enzimática alta para las muestras de compost y vermicompost debido a las "nubes" en los bordes entre cada uno de los círculos, esto último daría indicios de que aún no están estables o maduros estos abonos. En los dos casos, las dos primeras zonas que se corresponden al área central e interna se observa un buen color (blanco cremoso), y los caminos que marcan el paso de los minerales. Luego, en la zona intermedia para el compost se visualiza con mayor facilidad un tono marrón claro propio de la actividad enzimática, mientras que en el vermicompost es más oscuro y menos amplio. Aparentemente todos muestran una buena proporción de materia orgánica por las nubes enzimáticas que se forman al final de los surcos que se forman en el borde externo. Finalmente, en la zona externa denotada por ese círculo más claro que se difumina con el papel que son de color marrón claro, muestra que en el vermicompost hay alta actividad enzimática, pero en el vermicompost donde esos surcos no son tan marcados y al igual que en el compost son más redondeadas y menos diferenciadas (Restrepo y Pinhero, 2011).

Por otra parte, de acuerdo con Hernández-Rodríguez *y col.* (2021), el contenido de MO está relacionado con la zona central del cromatograma, si esta aumenta, refleja altos contenidos de MO, como ocurre para el compost y el vermicompost; por otra parte, la presencia de nubes en la zona externa del cromatograma se ha relacionado con la abundancia y variedad de nutrientes, que para los casos estudiados, no están muy desarrolladas; los mismos autores señalan, que el CCP es una herramienta sencilla y rápida para el análisis integral de propiedades físicas, químicas y biológicas.

En el Test de Fitotoxicidad de Zucconi, la determinación del índice de germinación (IG) para el compost resultó como maduro utilizando semillas de lenteja y de lechuga; en cambio el vermicompost resultó inmaduro para ambas semillas (12.48% para lenteja y 35% para lechuga). Se probó con semillas de lenteja, porque tenían un alto índice de germinación (90%), en cambio, la lechuga un 28%. Al utilizar las semillas de estas dos especies diferentes, los resultados fueron similares; sin embargo, de acuerdo con Illera *y col.* (2011), la lechuga es la especie que mejor muestra la evolución

de la fitotoxicidad a lo largo del proceso de compostaje. Moreno y Moral (2008) señalan que es difícil establecer la causa exacta de la fitotoxicidad de un compost por lo que reportan distintas posibles causas: presencia de compuestos inhibidores de la germinación, persistencia de compuestos tóxicos en condiciones de insuficiente aireación, presencia de altas concentraciones de componentes tóxicos tales como amoniaco, fenoles y lípidos y óxido de etileno.

CONCLUSIONES

En consideración al título del trabajo, el objetivo del mismo y los resultados de los diversos análisis, a continuación, se concluye:

1. Respecto a los parámetros analizados:
 - 1.1. Los datos obtenidos en los análisis del pH, CE, DA, % humedad, %MO y %COT, el color, la respirometría y el Test Z de Minnesota, se encuentran en rangos aceptables de madurez, tanto para el compost como el vermicompost.
 - 1.2. El Test Z de Minnesota y el índice QBS-ar mostraron evidencias de la salud de los compost analizados, dada su baja toxicidad para las lombrices rojas californianas (*E. foetida*) y por la variedad de artrópodos presentes.
 - 1.3. La relación C:N para los compost estudiados, indican que el vermicompost se encuentra maduro; en cambio el compost aún no, debido muy probablemente a la baja disponibilidad de Ntotal, por la inmovilización del nitrógeno del medio y a una baja actividad microbiana, relacionada con la degradación de compuestos tales como la celulosa y la lignina, materiales con los que se elaboró el mismo.
 - 1.4. Las cromatografías circulares de Pfeiffer (CCP), para los compost estudiados indican que las muestras no están bien degradadas, que presentan una actividad enzimática alta, por lo que aún no están estables o maduros.
 - 1.5. El Test de Fitotoxicidad de Zucconi, determinó que el compost resultó como maduro; en cambio el vermicompost inmaduro.
2. Al utilizar la matriz de evaluación de la madurez de un compost propuesta por Thompson y col. (2001), se puede concluir que el compost, está inmaduro y que el vermicompost alcanzó su madurez.
3. Al comparar los distintos resultados obtenidos para los compost analizados, se aprecia que es difícil definir la calidad de los mismos con un solo parámetro, de allí que se deben realizar distintas consideraciones que presenten una realidad y suficientes elementos para lograr conclusiones más precisas.
4. De los análisis realizados, la relación C:N, la Respiración Basal (CO₂.C), la Cromatografía Circular de Pfeiffer y el Test de Fitotoxicidad de Zucconi, representan pruebas sencillas y que aportan elementos sustantivos para determinar la calidad del compost.

Se recomienda ampliar las indagaciones en cuanto a la actividad enzimática; así como, análisis de presencia de malezas, presencia de metales pesados y sustancias que generen toxicidad.

AGRADECIMIENTOS

Gracias al FONACIT, por el aporte realizado en el marco del Proyecto: “Efecto de micorrizas arbusculares, compost y biol, en el componente microbiológico indicador de la fertilidad del suelo en cultivo de café (*Coffea arabica*), fase de implementación, Hacienda Cocollar, Caripe, Estado Monagas” CFP N° 2023000130; el cual permitió tener los equipos y reactivos que facilitaron la realización de los análisis. Por otra parte, gracias a los estudiantes Matías Hernández, Reyna Prieto, Carmen Camejo, Sebastián Cestari y Carlos Rodríguez, por participar en el curso del Postgrado de Ecología, del IZET-UCV, denominado “Formulación, caracterización y beneficio de enmiendas orgánicas”.

LITERATURA CITADA

- Bailón-Rojas, M. R. y N. Florida-Rofner. 2021. Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco. *Enfoque UTE* 12(1):1-11.
- Barrera, C. 2022. Evaluación de la Composta producida en la Planta de Compostaje de Zalapa Veracruz. [Proyecto de Especialización] Universidad Veracruzana. Recuperado de: <https://cdigital.uv.mx/>.
- Centro de Técnicas Agrarias, Dirección General de Tecnología Agraria, Departamento de Agricultura, Gobierno de Aragón. 2001. Producción y gestión del compost. Informaciones Técnicas, N° 88, año 2000. Segunda Edición. Zaragoza, 32 p.
- Costa, F., C. García, T. Hernández y A. Polo. 1991. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. En: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Editorial CEBAS - CAJA MURCIA. España, 181 p.
- Doran, J. y M. Zeiss. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15:3-11.
- García, J. 2012. Efectos de los Compost sobre las Propiedades del Suelo: Evaluación Comparativa de Compost con Separación en Origen y Sin Separación en Origen. [Tesis de Maestría] Universidad Politécnica de Cartagena Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/60425637.pdf>
- Hernández-Rodríguez, A., B. Ochoa-Rodríguez, D. Ojeda-Barrios, J. Jiménes-Castro, R. Sánchez-Rosales, M. Rodríguez-Roque y E. Sánchez-Chávez. 2021. Patrones para estimar la fertilidad del suelo mediante la técnica de cromatografía de Pfeiffer. *Terra Latinoamericana* 39:1-12. E844.
- Illera-Vives, M., A. López-Fabal y M.E. López-Mosquera. 2011. Evaluación de la fitotoxicidad de un sustrato a base de compost de algas y restos de pescado. *Actas de horticultura* 59:28-31.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 2004. *Compost. Clasificación y requisitos. Norma Chilena Oficial, NCh2880.Of2004. Chile.* 27 pp.
- Menta, C., F. Conti, S. Pinto y A. Bodini. 2018. Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Ecological Indicators* 85:773-780.

- Moreno, J. y R. Moral. 2008. *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 570 pp.
- Moreno, J., R. Moral, J. García, J. Pascual y M. Bernal. 2015. De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad. Edición de la Red Española de Compostaje Ediciones Mundi-Prensa, S.A. 290 p.
- Munsell Soil-Color Charts, 2023. Produced by Munsell Color X-rite. Michigan, USA. Munsell.com.
- NMX-FF-109-SCFI-2007, Dirección General de Normas de México. 2007. Humus de Lombriz (Lombricomposta) - Especificaciones y métodos de prueba. Dirección General de Normas de México, México, DF. 29 pp.
- Palacios, J. y B. Mejía. 2007. Técnicas de colecta, montaje y preservación de microartrópodos edáficos. 1º Edición. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, México 04510, D. F.
- Restrepo, J. y S. Pinhero. 2011. *Cromatografía, Imágenes de vida y destrucción del suelo*. Impresora Feriva. Cali, Colombia. 240 pp.
- Rivero, C. 1999. Materia orgánica del suelo. *Rev. Fac. Agron. (Maracay) Alcance* 57:212.
- Romero, A., E. Suárez, M. Macías, Y. Gómez y L. Lozano. 2017. Diseño Experimental para la Obtención de Compost apto para uso Agrícola a Partir de Lodo Papalero Kraft. *Espacios* 38(2) Recuperado de: <https://www.revistaespacios.com/>.
- Staffilani, F., C. Menta y F. Conti. 2021. QBS-ar in soil biodiversity monitoring: the experience of Emilia-Romagna Region. Cartel publicado en: Global Symposium on Soil Biodiversity, 19-22 april. Descargado el 18 de julio de 2021 de: <http://www.fao.org/>.
- Tighe, R., G. Leonelli, R. Montalba, C. Cavieres y D. Morales. 2014. Caracterización de Compost a Base de Espinillo en Relación a la Norma Chilena N°2880. *Agronomía Mesoamericana* 25(2):347-355.
- Thompson, W., P. Leege, P. Millner y M. Watson. 2001. Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC). Prepared for: the U.S. Composting Council Research and Education Foundation (USCCREF) and U.S. Department of Agriculture (USDA).
- Tratmann, N. y M. Krasny. 1997. Composting in the classroom. Funding: National Science Foundation, Cornell Waste Institute and Cornell Center for the Environment. Edition: Kendall/Hunt Publishing Company. USA. 116 p.
- U.S.D.A. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. Versión 3.0. Washington DC, United States of America.
- Villalba, L. 2011. *Cuaderno 1. Caracas Sana. Ambiente y Residuos Sólidos*. Caracas: Asociación Civil Por la Caracas Posible. Caracas, Venezuela. 36 pp.
- Zucconi, F., A. Pera, M. Forte y M. Bertoldi. 1981. Evaluating Toxicity of Immature