

EL COMPOST, UN INSUMO VITAL PARA LA AGRICULTURA ALTERNATIVA

Luisa Villalba

Centro de Ecología Aplicada, Instituto Zoología y Ecología Tropical (IZET),
Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Av. Los Ilustres. Caracas
1041. Venezuela. luisa.villalba@ciens.ucv.ve

RESUMEN

La agricultura ecológica o "agroecología", surge a raíz del cuestionamiento de la agricultura convencional, el uso intensivo de la tierra y la aplicación indiscriminada de agroquímicos. El impacto de este tipo de agricultura, ha planteado la necesidad de conocer y comprender el agro ecosistema; ante estos análisis, han surgido una serie de tendencias que promueven una agricultura menos contaminante, sin el uso de agroquímicos, que considere más los componentes biológicos que en ella interactúan. Dentro de estos componentes biológicos, el suelo y la materia orgánica presente en él, representan la base de su funcionamiento, constituida por las distintas relaciones existentes entre los microorganismos presentes en el suelo y las plantas. Debido al empobrecimiento de los suelos por las malas prácticas de la agricultura convencional, es necesario hoy en día incorporarle a los suelos materia orgánica por medio de enmiendas, como es el caso del compost; por otra parte, la producción agrícola bajo condiciones controladas, en ciertas ocasiones requiere de sustratos orgánicos. Es así que, este trabajo se planteó como objetivo, el demostrar que el compost es una biotecnología que permite por una parte aprovechar los residuos orgánicos, los cuales debido a su mal manejo están relacionados con una serie de problemas ambientales y sanitarios; y por otra parte representa el insumo vital que permite suplir las demandas de enmiendas y sustratos orgánicos, garantizando a su vez, la incorporación al suelo de materia orgánica que mejore su estructura, así como su fertilidad y salud.

Palabras clave: residuos, enmiendas, sustratos, aprovechamiento, biotecnología.

Compost, a vital input for alternative agriculture

Abstract

Organic farming or "agroecology" arises through the questioning of conventional agriculture, intensive land use and indiscriminate use of agrochemicals. The impact of this type of agriculture, has raised the need to know and understand the agro-ecosystem; against these analysis, there have been a number of trends that promote cleaner agriculture without the use of agrochemicals, considering the most biological components which interact in it. Among these biological components, the soil and the organic matter present in it, represent the basis of its functionality, which is conformed by the different relationships between microorganisms in soil and plants. Due to the impoverishment of soil by wrong conventional agriculture practices, it is necessary today to incorporate soil organic matter through amendments, such as compost; on the other hand, agricultural production under controlled conditions, on certain occasions requires organic substrates. Thus, this work has the objective of demonstrate that the compost is a biotechnology that allows one hand take organic waste, which as a consequence of their mismanagement are related to a number of environmental and health problems; and on the other hand it represents the vital input that can meet the demands of amendments and organic substrates, whilst ensuring the incorporation of organic matter to the soil that improve its structure, fertility and health.

Keywords: waste, amendments, substrates, exploitation, biotechnology.

INTRODUCCIÓN

Según Martínez (2004), el término “agricultura alternativa” se refiere a la agricultura biológica (en el mundo latino y germano), orgánica (en el mundo anglosajón), ecológica (en Escandinavia y España) y agroecológica (en países del tercer mundo); a su vez son todas aquellas que no utilizan productos químicos. Cada concepto tiene un origen y una concepción filosófica (agricultura biodinámica, orgánica-biológica, natural, permacultura o agricultura permanente), pero se puede decir que en general la aplicación a la agricultura de esta conciencia y sensibilidad se denomina “alternativa”, y tiene varios principios.

Entre estos principios, los más conocidos son: mayor incorporación de los procesos naturales, como el ciclo de nutrientes, fijación de nitrógeno, relaciones depredador presa, etc., en los procesos de producción agrícola; reducción en el uso de los insumos con mayor potencial de perjudicar el ambiente y la salud de los agricultores y los consumidores; incremento del uso productivo del potencial biológico y genético de las especies de plantas y animales; sostenibilidad de los actuales niveles de producción adecuando el modelo y el potencial productivo a las limitaciones físicas de las tierras de cultivo; y el que más nos interesa para este artículo, la eficiencia productiva con énfasis en la mejora del manejo y la conservación del suelo, agua, energía y los recursos biológicos.

Por otra parte, la problemática asociada al mal manejo de los residuos sólidos, la necesidad de reducir la superficie destinada a los vertederos y la búsqueda de alternativas para el reciclaje de los residuos de origen orgánico, afectan a la sociedad en general. En tal sentido, la transformación de los residuos en sustratos y el uso adecuado de los mismos para fines hortícolas (y agrícolas en general) surge como una alternativa viable, técnica y económica (Cruz *y col.*, 2013).

Los residuos orgánicos transformados en sustratos mediante técnicas tales como el compostaje o vermicompostaje proveen propiedades adecuadas para el crecimiento de los cultivos, como la reducción del tamaño de partículas que lleva a una mayor retención del agua por el sustrato, el incremento de la capacidad de intercambio catiónico y mejora de la capacidad de aireación, las cuales dependerán de la naturaleza de los materiales (Cruz *y col.*, 2013).

El presente trabajo consistió en una revisión que sustenta el por qué el compost representa un insumo vital para la agricultura alternativa. En este sentido, los temas desarrollados fueron: los residuos orgánicos y su aprovechamiento; la importancia de añadir compost en los suelos y aprovechar los residuos como fuente de retorno de la materia orgánica; el compost como insumo en la agricultura alternativa (enmiendas y sustratos); y los sistemas controlados y la agricultura alternativa.

LOS RESIDUOS ORGÁNICOS Y SU APROVECHAMIENTO

Los residuos sólidos se clasifican desde varios puntos de vista, una de esas clasificaciones depende de su naturaleza y su biodegradabilidad, de allí que se consideran en orgánicos e inorgánicos. Los residuos orgánicos se caracterizan porque pueden descomponerse, esto es volver a la naturaleza transformados por agentes externos y microorganismos. Cuando esto sucede se dice que son biodegradables.

La naturaleza cumple un ciclo perfecto de reutilización de los residuos (Ley del retorno, según Suárez, 1981), es decir, la materia orgánica es biotransformada en condiciones aeróbicas, mediante los procesos de descomposición, mineralización y humificación y produce moléculas orgánicas e inorgánicas, así como compuestos húmicos, que reincorporan al suelo nutrientes y mejoran su estructura para un mejor funcionamiento (Moreno y Moral, 2008). El hombre ha alterado este proceso (relativo al rol de los descomponedores en la cadena trófica), al desincorporar del suelo los residuos orgánicos que son la fuente de carbono y nutrientes para los descomponedores. Desarrollar acciones de aprovechamiento de los compuestos orgánicos presente en los residuos sólidos, como es el caso del compostaje, es una manera de retomar este ciclo (Villalba, 2011).

Como se puede observar en la Figura 1, aparte de la clasificación de los residuos según su composición (orgánicos o no), también se pueden clasificar de acuerdo a su origen, es decir, de qué actividad humana se originan, -así podemos a la vez apreciar que en algunos casos según su naturaleza se pueden compostar y en otros no-. Por ejemplo, los residuos de construcción representan en su mayoría restos de cemento, material que no es compostable; los desechos peligrosos que se generan en algunas industrias, así como en los centros de salud y hospitales deben ser manejados cuidadosamente bajo la normativa que regula los desechos peligrosos y no se recomienda sean compostados; sin embargo los restos de actividades agrícolas, de la poda de árboles, del desmalezamiento en el mantenimiento de las áreas verdes, o de los restos de hortalizas de los mercados, de los restaurantes o de las casas (domicilios, comercios), si se pueden compostar, así como los lodos o sedimentos del tratamiento de aguas o que se almacenan en las alcantarillas.

En tal sentido, como se puede apreciar en la Figura 1 este tipo de residuos (los compostables) representan una fuente de materia prima para elaborar compost que no se está aprovechando actualmente y permitiría resolver por una parte los problemas en los sitios de disposición final (exceso de materiales a disponer con sus consecuentes efectos de contaminación ambiental por generación de gases y lixiviados), así como en el proceso de almacenamiento y recolección de los mismos, ya que representan un volumen considerable, -en la composición de los residuos sólidos urbanos más del 50% de los mismos (Villalba, 2011)-; a la vez de producir un insumo de gran importancia para la agricultura alternativa como lo es el compost.

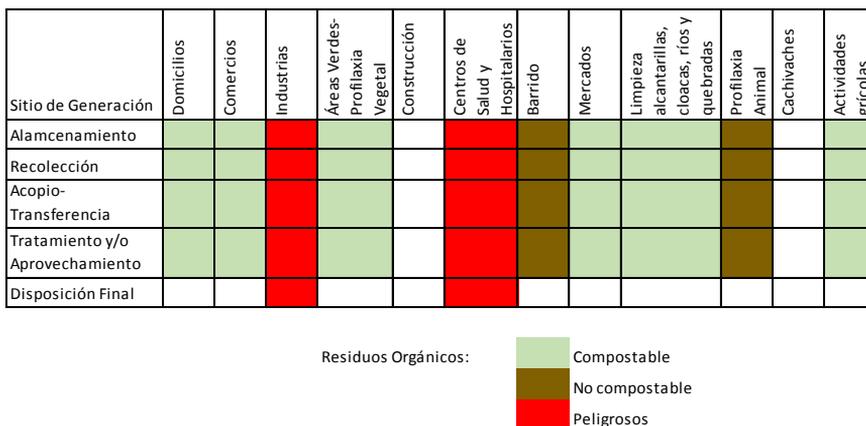


Figura 1. Sitios de generación para las distintas etapas de la gestión de los residuos orgánicos y su clasificación (tomado de Villalba, 2013).

Sin embargo, se debe entender, tal como se indica en la Figura 1, que el aprovechamiento ocurre si se consideran una serie de etapas concatenadas que contemplan: (a) la separación desde el sitio de generación (que no se contaminen los residuos orgánicos con otros desechos); (b) un sistema de almacenamiento (dónde colocar los materiales hasta su recolección); (c) un sistema de recolección selectiva (transporte de estos residuos separados desde el origen hasta los sitios en que serán aprovechados); y (d) centros de transferencia o acopio (espacio de almacenamiento, acopio y/o tratamiento primario cuando las distancias al sitio de aprovechamiento son muy distantes). Este esquema es válido para todos los tipos de residuos, no solamente los compostables, sino también para aquellos que se quieren y puedan reciclar (como es el caso de los inorgánicos), en este sentido, es importante contemplar el mercado del producto final, el posible uso del mismo y por lo tanto su calidad.

Existen muchas tecnologías para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, sin embargo, se promueve el compostaje, porque es un proceso natural, relativamente sencillo, que consiste en la descomposición bajo condiciones aeróbicas de la materia orgánica por medio de una sucesión de microorganismos que transforman los residuos en un producto estabilizado. Por otra parte, es el proceso para el tratamiento (aprovechamiento) de los residuos orgánicos más desarrollado y utilizado (Moreno y Moral, 2008). Cuando el compost está estabilizado químicamente, es el componente ideal para preparar sustratos, debido a que en ese estado presenta materia orgánica humificada y ausencia de patógenos, y las fracciones fenolíticas con propiedades fitotóxicas están menos presentes (Satoshi, 2013).

El compostaje es el método indicado para estabilizar y desinfectar subproductos orgánicos con la finalidad de valorizar los residuos orgánicos mediante su empleo como enmiendas de suelos o componentes de sustratos de cultivo. Pero muy probablemente la última etapa del proceso de reciclado, es decir, la comercialización de los productos obtenidos, todavía tiene algunas deficiencias derivadas de la aceptación final del compost. En muchas ocasiones esta falta de aprobación se debe a la falta de calidad del producto final o simplemente la desconfianza a la hora de utilizar un producto que no ha sufrido una evaluación correcta de sus propiedades y en ocasiones no se especifican sus características (Moreno y Moral, 2008).

LA IMPORTANCIA DE AÑADIR COMPOST EN LOS SUELOS Y APROVECHAR LOS RESIDUOS COMO FUENTE DE RETORNO DE LA MATERIA ORGÁNICA

La aplicación de compost al suelo modifica tanto las propiedades físico-químicas como las nutricionales, lo que obligatoriamente afecta los niveles poblacionales microbianos. Aunque existen diferencias en función de las características del compost aplicado, si el producto utilizado es de calidad, la microbiota edáfica suele responder con incrementos en la población, en el número de comunidades y en los niveles de actividad (Albiach *y col.*, 2000).

Este incremento en la microbiota edáfica es importante, debido a que la misma cumple un rol fundamental en la transformación de los residuos orgánicos que entran al suelo (Hernández-Hernández, 2008) y por ende a los procesos de transformación de estos residuos y a la constitución de la materia orgánica del suelo (MOS).

¿Qué es la materia orgánica?, según Primavesi (1984) es toda sustancia muerta en el suelo ya sea que provenga de plantas, microorganismos, excreciones animales (de la fauna terrestre), ya sea de la meso y macrofauna. Las raíces vivas no constituyen materia orgánica, como tampoco los animales que viven sobre el suelo. Por otro lado, ¡no sólo el humus es materia orgánica y no toda la materia orgánica es humus!

De acuerdo a Cooperband (2002), no toda la materia orgánica del suelo es igual, las frutas y restos de hojas de vegetales verdes como la lechuga y la espinaca, así como las conchas de verduras se degradan fácilmente porque contienen hidratos de carbono (azúcares simples en su mayoría y almidones). En contraste, las hojas, los tallos, cáscaras de nuez y corteza de árboles se descomponen más lentamente debido a que contienen celulosa, hemicelulosa y lignina. La facilidad con la que degradan compuestos se determina por la complejidad de los compuestos de carbono y, en general sigue el orden: carbohidratos> hemicelulosa> celulosa = quitina> lignina. En contraste con los residuos vegetales

frescos, el abono compostado se descompone lentamente cuando se añade al suelo porque ya ha sido objeto de una significativa cantidad de descomposición durante el proceso de compostaje.

La materia orgánica del suelo, posee un promedio del 58% de carbono (por eso el valor de conversión de 1,72), y se puede diferenciar en grupos o fracciones en función de su accesibilidad a la descomposición microbiana. La fracción activa tiene la más alta tasa de rotación: 1 a 2 años (como por ejemplo las hojas y las raíces muertas). El grupo intermedio se convierte otra vez en dos a cinco años (como los ácidos poliurónicos, que son productos intermediarios de la descomposición bacteriana). La recalcitrante o fracción estable es la materia orgánica que está bien descompuesta (sustancias húmicas), que es química o físicamente resistente a la descomposición, tardando más de 10 años en descomponerse.

Esta fracción de la materia orgánica bien descompuesta (las sustancias húmicas) ya no ofrece el mayor número de nutrientes para las plantas y los microbios del suelo como la fracción activa, pero juega una serie de roles importantes en el suelo, tales como la promoción de retención de agua y nutrientes, y en la estabilidad estructural (Primavesi, 1984; Cooperband, 2002).

Como se puede apreciar, la MOS tiene distintos componentes, en este sentido, esta composición puede variar cuando agregamos compost a un suelo. Según Moreno y Moral (2008), la influencia del compost sobre la población microbiana del suelo no se limita a aspectos cuantitativos, la estructura de dicha comunidad se ve afectada por el tratamiento con este tipo de enmiendas orgánicas, dado que factores determinantes en la evolución poblacional de los distintos grupos microbianos que colonizan este hábitat, tanto de carácter nutricional como físico-químico, son modificados como consecuencia de las propiedades específicas del compost adicionado. Esta variabilidad puede ser de especial interés en determinados procesos en los que se requiera una mayor participación de especies concretas, tal y como sucede en tratamientos de biorremediación y recuperación de suelos. En este sentido, Luna *y col.* (2014) señalan que el uso de enmiendas orgánicas, en particular el compost, aporta una mejora en la calidad de la materia orgánica de los suelos degradados.

Según La FAO (1999), en muchos países en vías de desarrollo, la pérdida de la fertilidad de los suelos es producto de la exportación continua de nutrientes extraídos por los cultivos sin una reposición adecuada, en combinación con prácticas no balanceadas de nutrición de las plantas. Esto plantea una creciente amenaza a la producción agrícola. De hecho ya hay descensos en los rendimientos, un problema muy serio al igual que los causados por otras formas de degradación ambiental. Si bien es cierto que el reciclaje y la transferencia de nutrientes provenientes de zonas no agrícolas y que los residuos de cultivos y el estiércol animal pueden

compensar parcialmente las extracciones de nutrientes que se producen con las cosechas, también es cierto que el uso de fuentes externas como los fertilizantes minerales, es esencial para satisfacer los requerimientos de los cultivos y aumentar la producción en muchos sistemas agrícolas.

Sin embargo, Primavesi (1984) plantea que si el papel de la materia orgánica fuese únicamente adicionar nutrientes al suelo, en especial nitrógeno, tendría poca importancia, ya que la fertilización mineral actúa con mucha mayor precisión y eficiencia. Pero, no obstante, la fertilización mineral, por más completa que sea, nunca consigue mantener la productividad del suelo, ya sea en clima templado o tropical, sin que exista un retorno sistemático y dirigido de la materia orgánica.

A su vez señala que la descomposición de la materia orgánica depende no sólo del clima y microorganismos, sino también del uso del suelo. En suelos tropicales el abandono del suelo (barbecho) se hace para recuperar el humus y la bioestructura (es una especie de compostaje en superficie, a campo abierto, Román *y col.* 2013), pero también existen otras prácticas de manejo que contribuyen a mejorar la estructura del suelo, tales como la rotación de cultivos y pasturas racionalmente planeadas.

De estas distintas prácticas que permiten mejorar la estructura del suelo y reponer su contenido de materia orgánica, hay que señalar la importancia, la posibilidad y la pertinencia de incorporar a los suelos los residuos orgánicos provenientes de las distintas actividades humanas (restos de podas de jardines y áreas verdes, lodos de plantas de tratamientos, restos de vegetales provenientes de mercados, restaurantes y residencias, entre otros), previamente compostados y bajo un manejo controlado según estándares de calidad. Esta alternativa representa una mejora en la estructura y fertilidad de los suelos, y por otra parte una disminución en la cantidad de residuos sólidos que se entierran en los vertederos generando una serie de problemas ambientales (generación de gases de efecto invernadero y de lixiviados que contaminan los cuerpos de agua), representando un retorno de materia orgánica a los suelos.

EL COMPOST COMO INSUMO EN LA AGRICULTURA ALTERNATIVA (ENMIENDAS Y SUSTRATOS)

Estadísticas recientes presentadas por la “International Federation of Organic Agriculture Movements”, sobre la certificación de áreas bajo producción orgánica, señalan que las mismas se han incrementado desde 10,6 Mha en el año 2000 a 37,2 Mha en el 2010, y aproximadamente 26% de este crecimiento ocurrió en Latinoamérica (Paul, 2015).

Este cambio en los modos de producción en la agricultura, en los cuales la implementación de prácticas orgánicas se hacen más comunes,

demandan a su vez de una serie de insumos, que les garanticen prácticas acordes con estos nuevos paradigmas, insumos tales como biofertilizantes, biocontroladores, y el uso de enmiendas y sustratos de calidad, como por ejemplo el compost.

En condiciones naturales la materia orgánica se puede descomponer (produciendo humus entre otros compuestos) y en determinadas condiciones compostar. La diferencia principal es que el compostaje se asume como un proceso artificial (es un proceso biológico de descomposición de la materia orgánica realizado por el hombre); es una biotecnología por el hecho de corresponder a una explotación industrial del potencial de los microorganismos; y 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. Se puede utilizar la fracción orgánica de la basura domiciliaria en forma controlada en instalaciones industriales llamadas Plantas de Compostaje.

Es así que, el compostaje se puede definir como un sistema de aprovechamiento, 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.

El compost, es el producto final de este proceso y tiene grandes propiedades como acondicionador de suelos. Es el resultado de la acción de la actividad microbiológica, es un compuesto parcialmente mineralizado y humificado (estable), inocuo, libre de sustancias fitotóxicas, similar al humus, de olor a tierra mojada y color oscuro, con un contenido importante de nutrientes que lo hacen un buen fertilizante natural (Moreno y Moral, 2008; Villalba, 2011).

Por lo antes expresado, el compost se puede utilizar en la agricultura como enmienda y como sustrato; entendiendo que una enmienda es un material orgánico y/o inorgánico que tradicionalmente se le añade a los suelos con la finalidad de mejorarlos (son considerados acondicionadores de suelos), sobre todo desde el punto de vista de su fertilidad, aun cuando no son fertilizantes, pero contribuyen a optimizar la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Por otra parte, un sustrato para el cultivo de plantas es todo material que puede proporcionar anclaje, oxígeno y agua suficiente para el óptimo desarrollo de las mismas, o en su caso nutrimentos, requerimientos que pueden cubrirse con un solo material o en combinación con otros, los cuales deberán ser colocados en un contenedor.

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. 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.

En tal sentido, 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 su uso, bien sea como enmienda o como sustrato. Según lo antes 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.

(A) Calidad del compost de acuerdo a su madurez y estabilidad.

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 lo tanto a un efecto depresivo en el rendimiento de los cultivos. Por lo tanto desde este punto de vista, 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).

Por otra parte, un compost altamente “humificado”, cuya materia orgánica ha evolucionado durante un largo período de tiempo de maduración hacia formas más resistentes a la biodegradación (y que presenta numerosas similitudes a las propiedades de la materia orgánica humificada del suelo), es un compost altamente maduro, que implícitamente está biológicamente estabilizado y además carece de sustancias orgánicas fitotóxicas. Por tanto, el término madurez conceptualmente engloba el término estabilidad. Es decir, cuando se indica que un compost es inmaduro implícitamente se entiende que no está estabilizado biológicamente (madurez = estabilización biológica +

“humificación”), criterio que debe entenderse como operativo o práctico para la utilización directa del compost.

Los compost maduros presentan concentraciones insignificantes de sustancias fitotóxicas de carácter orgánico (aquellas producidas durante la fase más activa del proceso de compostaje), como por ejemplo NH₃, o ácidos de cadena corta. Es así que un compost maduro, de acuerdo con Rivero (1999), debe de haber cumplido con la fase más activa del proceso (fase termófila), y recomienda determinar una serie de parámetros que garanticen el no producir efectos indeseables tales como la inmovilización de nitrógeno al aplicar el compost en el suelo.

Moreno y Moral (2008), señalan que la importancia de la determinación del grado de madurez del compost ha dado lugar en los últimos años a un importante cúmulo de información, muy dispersa en la literatura. Aparte de la disparidad de métodos propuestos, un problema importante para deducir índices de madurez reproducibles es la normalización de las condiciones analíticas, en tal sentido, el “US Composting Council”, desarrolló el “Tests Methods for the Examination of Composting and Compost” (TMECC), métodos que están siendo cada vez más adoptados en la actualidad, tal y como apreciamos en la normativa chilena (INN-Chile, 2004) y en la de USA (Thompson *y col.*, 2001).

En general, según Moreno y Moral (2008), los test o métodos propuestos para la evaluación del grado de madurez pueden agruparse en cinco tipos según la naturaleza del parámetro que evalúan, estos son:

1. Parámetros sensoriales de la madurez (test o criterios de tipo físico). En la Tabla 1, se aprecian los principales indicadores considerados como parámetros físicos, incluidos debido a su gran importancia y uso para determinar la madurez en los compost.

Tabla 1. Parámetros sensoriales de la madurez (test o criterios de tipo físico). Metodologías para compost.

Indicador	Método (Fuente)	Condiciones madurez (Fuente)
Temperatura	Test “Dewar”, de autocalentamiento (Thompson <i>y col.</i> (2001).	Máximo autocalentamiento: 10°C (Clase V), Temperaturas entre 20-30 °C (Costa <i>y col.</i> , 1991)
Color	Determinación del grado de luminosidad, valor Ypor medio del uso de la Tabla Munsell (Thompson <i>y col.</i> , 2001)	Marrón oscuro o casi negro. Valor Y (grado de luminosidad entre 11 y 13) (Costa <i>y col.</i> , 1991 y Sugahara <i>y col.</i> , 1979 citados por Moreno y Moral, 2008)
Olor	Evaluaciones de campo. Método TMECC 05.06 (Thompson <i>y col.</i> , 2001)	A tierra mojada, fresca. Ausencia de malos olores (Costa <i>y col.</i> , 1991; Moreno y Moral, 2008; y Thompson <i>y col.</i> , 2001)

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

La Biomasa microbiana es un componente importante del ecosistema del suelo, en la Tabla 2 se aprecian algunos métodos y las consideraciones de madurez de los compost. Debido a la falta de métodos adecuados y suficientemente estandarizados en la microbiología del suelo, la estimación de la biomasa microbiana fue descuidada.

Tabla 2. Métodos directos e indirectos para determinación de microbiota y criterios de madurez para compost.

Método (Fuente)	Condiciones madurez (Fuente)
Determinación de la biomasa microbiana (bacterias, hongos y actinomicetes) por el método de Conteo microbiano NMP (número más probable), UFC (unidades formadoras de colonias) (Rivero, 1999).	Disminución de la población microbiana (Corlay <i>y col.</i> 1999; y Moreno y Moral, 2008). Distintos reportes en UFC/g de compost: 9,75 x 106 (Villalba, 2005); 6,81 x 107 (Corlay <i>y col.</i> , 1999); 1.3x104 (Gebeyehu y Kibret, 2013); Bacterias Gram + (García y Polo, 1999); Bacterias Gram + y Gram - (Boulter <i>y col.</i> , 2000), (Rebollido <i>y col.</i> (2008), (Escobar <i>y col.</i> , 2013), (Villalba, 2005).
Determinación del C de la biomasa microbiana por el método de Fumigación-incubación (Jenkinson, 1976, citado por Armida <i>y col.</i> , 2005). Y el método de "fumigación y extracción" de Brookes <i>y col.</i> (1985) citado por Gómez <i>y col.</i> (2012). Producto: (kg de C ha ⁻¹ relativo al C total o CO ₂ producidos).	Disminución de la población microbiana (Corlay <i>y col.</i> 1999; y Moreno y Moral, 2008).
Determinación de N de la biomasa microbiana por el método de Fumigación y extracción kg de N ha ⁻¹ relativo al N total (Reyes y Vargas, 1999).	Disminución de la población microbiana (Corlay <i>y col.</i> 1999; y Moreno y Moral, 2008).
Biomarcadores moleculares. Los más utilizados son las técnicas PLFA (perfil de ácidos grasos de fosfolípidos), QP (perfil de quinonas) y algunas técnicas moleculares de ácidos nucleicos (sobre todo PCR-amplified 16S rDNA) (Moreno y Moral, 2008). Perfiles de ácidos grasos fosfolipídicos (PLFAs, por sus siglas en inglés) y de ADN (Aciego, 2013)	Disminución de la población microbiana (Corlay <i>y col.</i> 1999; y Moreno y Moral, 2008).

Sin embargo, varias técnicas para medir la biomasa microbiana han surgido durante las últimas tres décadas, según Odlare (2005):

- “Jenkinson y Powlson (1976) introdujeron el método cloroformo fumigación-incubación (CFI) y una versión modificada, el método de fumigación-extracción con cloroformo (CFE), fue descrito por Vance *y col.*, (1978).
- Un enfoque fisiológico para medir la biomasa microbiana fue la respiración inducida por el sustrato (SIR), fue propuesto por Anderson y Domsch (1978). La idea era derivada de estudios de cultivos puros. Los microorganismos responden a la oferta de sustrato disponible, tal como la glucosa, con un aumento inmediato en la respiración que se suponía que iba a ser linealmente relacionada con la biomasa C medido por CFI. Además de CFI y CFE, el SIR-técnica se ha convertido en el método más utilizado para determinación de la biomasa en el suelo.”

En las Tablas 3, 4 y 5, se observan algunos métodos basados en el estudio indirecto de la evolución de parámetros de la biomasa microbiana (que para algunos autores es sinónimo de madurez), entre ellos la respirometría (entre los métodos más utilizados), Tabla 3; los parámetros bioquímicos de la actividad microbiana (Tabla 4) y el análisis de constituyentes fácilmente biodegradables (Tabla 5).

Tabla 3. Métodos de respirometría para determinación de microbiota y criterios de madurez para compost.

Método (Fuente)	Condiciones madurez (Fuente)
Métodos estáticos: SOUR (Tasa –velocidad- específica de consumo de oxígeno), OD ₂₀ (consumo de oxígeno acumulado en 20 h), SRI (Respiración inducida por el sustrato) ¹ , RI _T (consumo de oxígeno a la temperatura del proceso) (Thompson <i>y col.</i> , 2001, y Moreno <i>y col.</i> , 2015).	Consumo de O ₂ (Método SOUR) < 1 mg O ₂ ·g ⁻¹ VS h ⁻¹ (Lasaridi y Stentiford, 1998).
Métodos dinámicos: DRI (Índice de Respiración Dinámica), RDRI (Índice de Respiración Dinámica Real), PRDRI (Índice de Respiración Dinámica Potencial) (Moreno <i>y col.</i> , 2015)	Entre 0,5 – 1 g O ₂ kg ⁻¹ MO h ⁻¹ (Barrena <i>y col.</i> 2006, citados por Barrena <i>y col.</i> 2014).
La respiración microbiana se midió a través de la determinación del CO ₂ desprendido en el tiempo, se empleó el método por titulación descrito por Anderson e Ingram (1993) empleando trampas de álcali (10g muestra + 10 mL NaOH 0,25M(25°C/24h)+2mL BaCl ₂ 0,5M+3ó4 gotas fenolftaleína y titulación con HCl 0,25M). Las titulaciones se realizaron diariamente durante quince días y luego se espació el tiempo a intervalos de 4, 8, 15 y 29 días sucesivamente, hasta culminar un tiempo de 106 días. La determinación de este parámetro permitió evaluar el proceso de mineralización de la materia orgánica (Acosta <i>y col.</i> 2006).	Emisión de CO ₂ < 5 mg CO ₂ -Cg ⁻¹ C-compost (peso seco) (García <i>y col.</i> , 1992); emisión de CO ₂ < 2 mg CO ₂ -C g VS ⁻¹ d ⁻¹ (Sullivan y Miller, 2005); y <= 8 mg C-CO ₂ /g de materia orgánica por día (INN-Chile, 2004).
Prueba SOLVITA® (Thompson <i>y col.</i> , 2001)	Para CO ₂ escala colorimétrica: 7-8 (equivalente a < 5 mg CO ₂ -Cg ⁻¹ – compost (Moreno y Moral, 2008).

Tabla 4. Métodos de parámetros bioquímicos de la actividad microbiana para determinación de microbiota y criterios de madurez en compost.

Método (Fuente)	Condiciones madurez (Fuente)
Determinación de ATP	Queda estabilizada en niveles mínimos (Pascual, 1992)
Actividades enzimáticas. Determinación de fosfatasa, deshidrogenasas, proteasas, celulasas, peroxidasa. Método TMECC 05.04 (Thompson <i>y col.</i> , 2001)	Debe disminuir su actividad (Pascual, 1992). Actividad deshidrogenasa < 35 mg TPF g ⁻¹ (Tiquia, 2005).

Tabla 5. Métodos para el análisis de constituyentes fácilmente biodegradables para determinación de microbiota y criterios de madurez para compost.

Método (Fuente)	Condiciones madurez (Fuente)
Polisacáridos solubles. ID (índice de degradabilidad), definido por la relación existente entre el Cot (Carbono orgánico total) y los PHs (carbohidratos solubles en agua caliente) (Moreno y Moral, 2008).	ID < 2 (García <i>y col.</i> , 1992).
Lípidos extraíbles, definidos por la relación DEE (lípidos extraíbles en dietil-éter / CHCl ₃ (Cloroformo) (Dinel <i>y col.</i> , 1996 citados por Moreno y Moral, 2008).	DEE/CHCl ₃ < 2,5 (Dinel <i>y col.</i> , 1996).

3. Estudio de la materia orgánica “humificada”. En el fraccionamiento de la materia orgánica, se forman en primer lugar sustancias tipo fulvoácidos, donde las cadenas alifáticas predominan sobre los núcleos aromáticos, y después, en una fase posterior, se forman ácidos húmicos por aumento del volumen de los núcleos y disminución de las cadenas alifáticas. La fracción de “AH” del compost sigue presentando una estructura eminentemente alifática, estructuralmente diferentes a los AH naturales, esto debido a que durante el compostaje de RSU (y otros residuos) no existe una auténtica síntesis *de novo* de sustancias húmicas y lo que ocurre es un incremento paulatino de la tasa de polimerización (incremento de la fracción de “AH”) por TRANSFORMACIÓN, REESTRUCTURACIÓN y CONDENSACIÓN de sustancias que solo desde un punto de vista exclusivamente operacional se pueden adscribir a “AF” (tipo fulvoácidos), es así que la fracción de “AH” se forma paulatinamente a partir de la fracción de “AF”, por lo tanto la relación AH/AF puede considerarse en sentido amplio como un índice de “humificación” y constituye por tanto un parámetro importante para deducir el grado de madurez del compost. Según Moreno y Moral (2008), valores de AH/AF > 1,9 se consideran compost maduros.

A raíz de la actividad metabólica de las sucesivas poblaciones microbianas, se produce una intensa mineralización primaria parcial de los materiales orgánicos y se van formando a la vez una serie de

compuestos secundarios que constituirán unidades estructurales o precursores de los “ácidos húmicos”, entre otros: polifenoles y productos de la degradación de la lignina, compuestos fenólicos secundarios producidos por microorganismos, taninos y pigmentos aromáticos, además de aminoácidos, péptidos, polisacáridos, ácidos grasos, alcanos, etc. El eslabón más importante del proceso de neoformación en el medio natural es la condensación de estas unidades estructurales, fundamentalmente de los polifenoles (Moreno y Moral, 2008).

De acuerdo con Zambrano *y col.* (2011), algunos autores sostienen que los ácidos húmicos (AHs) son mezclas de carbohidratos, proteínas y lípidos procedentes tanto de plantas como de microorganismos, junto con degradaciones parciales de lignina y taninos con materiales microbianos como melaninas; o son pseudoestructuras definidas como constituciones moleculares hipotéticas con elementos, estructuras y grupos funcionales parecidos y consistentes con alguna o todas las propiedades observadas. Algunos métodos que son ampliamente utilizados en muchos procesos industriales de control de calidad, también son aplicados en la evaluación de calidad de enmiendas orgánicas. El desarrollo de las diferentes técnicas espectrales - como la espectroscopia ultravioleta-visible, infrarroja con transformadas de Fourier (FTIR), resonancia magnética nuclear ^{13}C (NMR), entre otros - ha permitido avanzar ampliamente en el estudio y comprensión de la estructura de los AHs.

Se han seguido las mismas técnicas empleadas en el estudio del humus del suelo: técnicas espectroscópicas de fluorescencia, FTIR, ESR (electron spin resonance), NMR, técnicas degradativas con agentes oxidantes, Pyr-GC-MS (Pirólisis analítica y termoquimiólisis con TMAH).

La naturaleza de los compuestos “húmicos” extraídos del compost (definidos exclusivamente en términos operacionales) se corresponde, en parte, con el mismo tipo de compuestos sintetizados en las fases iniciales de la humificación por neoformación en el medio natural y son semejantes a materiales orgánicos poco evolucionados como ácidos húmicos de sedimentos lacustres o melaninas fúngicas. La cuantificación de sustancias húmicas mediante métodos químicos no refleja en la actualidad en muchos compost la “humificación” del material inicial, al incluirse en dicha determinación muchos compuestos no húmicos. Por ello se están introduciendo de forma creciente en el ámbito del compostaje técnicas instrumentales avanzadas de uso común en otras áreas, que facilitan y mejoran la interpretación del proceso y la evaluación de los productos finales (Moreno y Moral, 2008).

Según Zambrano *y col.* (2011), la información obtenida por cada una de estas técnicas de manera aislada no es por sí sola suficiente, dado que no hay 100% de especificidad, por lo que se requiere de combinación de éstas u otras técnicas analíticas adicionales (rayos X, espectroscopia de

fluorescencia, resonancia de spin electrón, microscopía electrónica). La combinación demuestra la presencia de las distintas estructuras o grupos funcionales.

4. Indicadores químicos de la madurez. Según Moreno y Moral (2008):

- i) Relación C/N (fase sólida, Cot/Not). Compost maduro, valores < 12.
- ii) Relación C/N (fase soluble en agua, Cw/Nw, Cw/Not). Compost maduro, valores < 6.
- iii) Carbono orgánico soluble en agua (Cw). Compost maduro, valores < 5 g Kg⁻¹.
- iv) Capacidad de intercambio catiónico (CIC). Compost maduro, valores de CIC/Cot > 1,9.
- v) Relación N-NH₄⁺/N-NO₃⁻. Compost maduro, valores < 0,16.
- vi) Presencia de compuestos reductores (amoníaco). Su presencia indica Compost inmaduros.

Thompson *y col.* (2001) proponen los siguientes indicadores: C/N, C/P, amonio/nitrato, C/S, Cd/Zn; así como un índice agrícola AI: $AI = (N + P_2O_5 + K_2O)/(Na + Cl_2)$, donde según sus valores se hacen recomendaciones para aplicar el compost en distintos tipos de suelos (de acuerdo al drenaje, salinidad, agua); y un índice de madurez CCQC (California Compost Quality Council), el cual se implementa utilizando un flujodiagrama con varios niveles de decisión, que permite clasificar al compost como maduro, muy maduro o inmaduro integrando la relación de distintos parámetros químicos y biológicos (TMECC 05.02-G).

La relación C/N, es el criterio más utilizado tradicionalmente para establecer el grado de madurez del compost y definir la calidad agronómica del mismo, siendo necesario un valor en torno a 30 en el material inicial, y menor a 20 o preferiblemente menor a 15 en el producto final.

5. Métodos biológicos (test de fitotoxicidad). Diversos factores pueden causar toxicidad; algunos se originan durante el proceso de compostaje (amoníaco, ácidos orgánicos u óxido de etileno), en etapas intermedias de la transformación de la materia orgánica, o como consecuencia de una mala gestión del proceso, pero otros componentes tóxicos pueden deberse a los materiales que se compostan (sales, metales pesados, fenoles hidrosolubles). Por ello los ensayos biológicos se consideran más bien como indicadores de madurez -entendida ésta como la no restricción del crecimiento de las plantas- que de estabilidad (disminución de la actividad biológica).

Los ensayos biológicos permiten evaluar el efecto combinado de las propiedades físicas y químicas sobre el crecimiento de las plantas, y se justifican especialmente por el empleo que habitualmente se le da al compost como enmienda de suelo, mulch, componente de sustratos de

cultivo o fertilizante (Moreno y Moral, 2008). Los análisis biológicos más comunes son las pruebas de campo y la determinación del índice de germinación (IG), conocido como índice de toxicidad o test de Zucconi, el cual con base en la germinación y elongación de raíces establece que un compost está maduro cuando: $GI \geq 80\%$ (Zucconi y col., 1981).

(B) Calidad del compost como fertilizante.

Una enmienda orgánica aplicada al suelo se puede considerar un "fertilizante" o acondicionador de suelos, en general, depende de su efecto sobre la nutrición vegetal. Los fertilizantes son una fuente de nutrientes fácilmente disponibles y tienen un efecto directo, a corto plazo sobre el crecimiento de las plantas. Los acondicionadores de suelo, afectan indirectamente el crecimiento de la planta mediante la mejora de las propiedades físicas y biológicas del suelo, tales como la retención de agua, la aireación y la actividad microbiana. La diversidad de abonos con base en estiércoles animales y los biosólidos (lodos de depuradora) son buenos ejemplos de enmiendas orgánicas con valor fertilizante. Ambos pueden suministrar muchos nutrientes como N, P y K según las necesidades de los cultivos porque más del 25% del contenido total de N, P y K están en formas fácilmente disponibles para la absorción de los cultivos. Las enmiendas como residuos municipales de jardín, cortezas de árboles y compost son ejemplos de acondicionadores del suelo. Ellos no se consideran sustitutos de fertilizantes, pero mejoran las propiedades del suelo mediante la construcción de la materia orgánica del suelo, tal y como se aprecia en la Figura 2 (Cooperband, 2002).

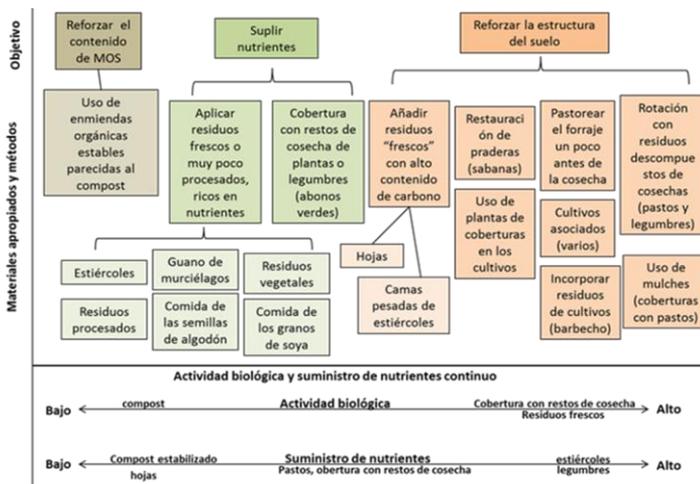


Figura 2. ¿Cuál es el objetivo en el manejo del suelo? (Adaptado de Cooperband, 2002).

En la Figura 2 se observa cuáles materiales y cuáles métodos debemos aplicar a un suelo, de acuerdo a lo que deseamos lograr con relación a la presencia de nutrientes. ¿Cuál es el uso del suelo? ¿Va a ser un uso agrícola, va a ser un uso forestal, se va a construir una infraestructura, queremos remediar algún daño?, es decir, definir nuestro objetivo en cuanto al suministro de nutrientes, actividad biológica y al tipo de manejo a realizar. Para tomar estas decisiones, previamente debemos conocer las características del suelo que tenemos y los requerimientos del cultivo (en el caso de que el fin sea agronómico). Lo interesante de la figura, es que ilustra que no siempre la elaboración y aplicación de compost es lo recomendable, y que el manejo de los residuos orgánicos es muy variado y ofrece distintas alternativas, según el objetivo a lograr.

El concepto de fertilidad del suelo, no solamente se debe referir al contenido de nutrientes, ya que el mejorar la estructura y capacidad de retención de nutrientes, también contribuye con la fertilidad del suelo, en este sentido, la FAO (2002) considera que la mejor respuesta al uso de fertilizantes se obtiene si el suelo tiene un nivel elevado de fertilidad. Los principales factores determinantes de la fertilidad del suelo son: la materia orgánica (incluyendo la biomasa microbiana), la textura, la estructura, la profundidad, el contenido de los nutrientes, la capacidad de almacenamiento (capacidad de adsorción¹), la reacción del suelo y la ausencia de los elementos tóxicos (por ejemplo: aluminio intercambiable). Los suelos difieren ampliamente en estos factores. Para saber cómo mejorar la fertilidad baja o moderada del suelo, los agricultores deberán tener un conocimiento básico de su suelo.

Según la FAO (1999), los fertilizantes, son sustancias minerales u orgánicas, naturales o elaboradas que se aplican al suelo, al agua de irrigación o un medio hidropónico para proporcionarle a la planta los nutrientes. Los *fertilizantes* contienen como mínimo el 5 por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P₂O₅, K₂O). A los productos con menos del 5 por ciento de nutrientes combinados, se les denomina fuente de nutrientes.

Por otra parte, Stalin Torres (comunicación personal, 2015), de la Facultad de Agronomía de la UCV en Maracay, plantea que el concepto de fertilizante debiese ser más amplio y no sólo tomar en cuenta los macronutrientes, sino su capacidad para mejorar la estructura de los suelos y su actividad biológica. Así, si aplicamos a los suelos un producto que le permite mejorar la retención de nutrientes y su disponibilidad para las plantas, estamos contribuyendo a mejorar la fertilidad del mismo, por ende ese producto, como lo puede ser el compost debería considerarse como un fertilizante.

¹ *Adsorción* en los suelos se refiere a la atracción / adhesión de las moléculas del agua y de iones en la superficie de partículas de materia orgánica o de arcilla. *Absorción* se refiere a la penetración a través la superficie cuando el agua y los nutrientes son captados por las raíces de las plantas.

En otro orden de ideas, la fertilidad de los suelos también está relacionada con la presencia de organismos vivos en él; de acuerdo a Paul (2015), la promoción de microorganismos benéficos para el crecimiento de las plantas puede ser a través de la creación de asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, producción de fitohormonas, inducción de resistencia sistémica, supresión de patógenos, producción de antibióticos, y reducción de toxicidad por metales pesados. Muchos de estos microorganismos están naturalmente presentes en el suelo, pero por medio de algunas circunstancias, puede ser necesario que se incrementen sus poblaciones al modificar las condiciones del ambiente del suelo, o a través de inoculaciones, mejorando su abundancia y actividad.

La aplicación de compost al suelo modifica tanto las propiedades físico-químicas como las nutricionales, lo que obligatoriamente afecta los niveles poblacionales microbianos (Moreno y Moral, 2008). Estudios realizados en este sentido apuntan mayoritariamente a un incremento de la biomasa microbiana; Jaramillo *y col.*, (2012), reportan mejoras de la capacidad nutricional de los suelos enmendados, con mayor crecimiento de las plantas a mayor dosis de compost aplicada, relacionada con la presencia de *Sinorhizobium melioli*. Por otra parte, Barreiro *y col.* (2012), señalan que la adición de compost modificó de forma muy significativa tanto la biomasa como la estructura o diversidad de la comunidad microbiana, lo que pone de manifiesto que es necesario prestar atención a los efectos que genera la adición de compost sobre el principal agente responsable de la fertilidad del suelo, la microbiota edáfica, y por consiguiente, sobre el funcionamiento del ecosistema edáfico.

Por otra parte, Dibut (2009), define a los biofertilizantes como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo o potencialmente de diversos nutrientes (conocidos como microorganismos promotores del crecimiento vegetal - MPCV-), que se utilizan para aplicar a las semillas o al suelo, con el objetivo de incrementar el número de estos microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y el rendimiento de los cultivos. En este sentido, los compost contribuyen con el desarrollo de estos microorganismos (MPCV), por ende, con la fertilidad en los suelos, lo que nos llama a reflexionar sobre sus propiedades como biofertilizantes, siempre y cuando cumplan con lo antes señalado.

De acuerdo a la Norma Venezolana (COVENIN, 2004), en su Anexo A sobre los principios de la producción orgánica, menciona en su aparte 5 que la fertilidad y actividad biológica del suelo se deberán mantener y mejorar, cuando corresponda, mediante:

- i) El cultivo de leguminosas, abonos vegetales o plantas de raíces profundas en un programa apropiado de rotación multianual de cultivos;
- ii) La incorporación al suelo de materias orgánicas, compostadas o no, procedentes de fincas cuya producción se ajusta a estas directrices. Los derivados de la ganadería, tales como el estiércol de granja, pueden utilizarse si proceden de granjas cuya producción se ajusta a estas directrices. Así como las sustancias especificadas en el Anexo B, Tabla 1 de la Norma Venezolana (COVENIN, 2004).
- iii) Para la activación del compost se pueden utilizar microorganismos apropiados o preparaciones a base de plantas.
- iv) Para los fines indicados en el apartado 5 pueden emplearse también preparaciones biodinámicas a base de cuesco (hueso de fruta) molido, estiércol de granja, o plantas.

En este orden de ideas, aparte de los análisis químicos de macro y micronutrientes, los parámetros biológicos que nos permiten evaluar la disponibilidad de nutrientes de una enmienda o sustrato son:

- Determinación de microorganismos presentes (Microorganismos promotores del crecimiento vegetal – MPCV).
- Pruebas de campo.

(C) Calidad del compost de acuerdo con su inocuidad.

Moreno y Moral (2008) señalan que los requerimientos de la calidad del compost deberían ir dirigidos a conseguir: aspecto y olor aceptables; higienización correcta; impurezas y contaminantes a nivel de trazas; nivel conocido de componentes agronómicamente útiles; y características homogéneas y uniformes.

Un compost inocuo, es decir que no genera problemas de contaminación ni de transmisión de enfermedades es aquel que está libre de contaminantes por malezas; por compuestos orgánicos (herbicidas, dioxinas y furanos, pesticidas organoclorados, bifenilos policlorados, compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles); y sin presencia de patógenos (nematodos, bacterias, hongos) (INN-Chile, 2004 y Thompson *y col.*, 2001).

Según Román *y col.* (2013), en diferentes países latinoamericanos basados tanto en estándares de Estados Unidos (EPA) como de la Unión Europea (EU), han desarrollado normativas para definir la calidad del compost y su uso, tal y como se ilustra en la Tabla 6. Chile, Colombia, México, además de definir la calidad del compost, diferencian en dos clases, A y B, con o sin restricciones de uso, basados en la presencia de patógenos y metales pesados. Uno de los problemas del uso del compost está relacionado con la posibilidad de contener bacterias patógenas como *Salmonella* spp. y *Escherichia coli*, así como *Listeria monocytogenes*, y huevos de parásitos que pueden llegar a los consumidores a través del consumo de frutas y vegetales contaminados. Por eso es importante

asegurar que un compost que se utilice, en especial para el cultivo de hortalizas de tallo corto o de hoja, así como para la producción de frutas, no contenga estos patógenos e indicadores de contaminación fecal. La presencia de los patógenos en el compost viene en gran medida por el uso de estiércoles, seguido del uso de aguas contaminadas y de las personas que manipulan el compost. Uno de los métodos para el control de estos es el empleo de temperaturas elevadas, de ahí la importancia en el control del tiempo y temperatura de la fase termofílica de la elaboración del compost.

Tabla 6. Límites microbiológicos para determinar la inocuidad de un compost según diferentes normas (Adaptado de Román y col. 2013).

Microorganismo	Límite de Tolerancia				
	Chile NCh 2880/04	EU European Union	Colombia 5167/04	México NTEA-006-SMA-R3-2006	
	A	B			
Coliformes fecales	<1000 NMP/g	<2000 NMP/g	< 1 x 10 ³ NMP/g	< 1000 ufc/g enterobacterias totales	< 1000 NMP/g
<i>Salmonella</i> spp.	Ausente en 25 g de producto	Ausente en 25 g de producto	Ausente en 25 g de producto	Ausente en 25 g de producto	< 3 /g en bs
<i>Enterococcus faecalis</i>	-	-	1000 NMP/g	ND	-
Huevos viables de Helminto / <i>Ascaris</i>	Ausente en 1 g	Hasta 1 g	Ausente en 1 g	ND	< 10 /g bs
Hongos fitopatógenos	-	-	Algunos países incluyen <i>Plasmodiaphora brassicae</i>	Ausente según especie vegetal	Ausente

NMP= número más probable; ufc=unidades formadoras de colonias; bs=base seca.

Según los mismos autores, otro aspecto fundamental es la presencia de metales pesados en compost, pues son compuestos que no se destruyen ni se descomponen, y pueden ser asimilados por las plantas, y luego por los animales y el hombre, a lo largo de la cadena trófica. La garantía de que el compost no contenga estos patógenos o metales pesados, además de hidrocarburos y otros materiales tóxicos, es lo que se denomina inocuidad y ofrece la certificación al usuario del compost de que no va a contaminar los alimentos que abona.

También es importante considerar la presencia o no de partículas o pedazos de materiales no degradables (impurezas), tales como vidrio y metales; o de degradación muy lenta como el caso de los plásticos, los cuales ocasionan mal aspecto e inclusive, le pueden dificultar a las plantas su crecimiento y buen desarrollo.

LOS SISTEMAS CONTROLADOS Y LA AGRICULTURA ALTERNATIVA

Según Jaimez *y col.* (2015) tradicionalmente los invernaderos se han usado como estructuras para proteger las plantas del medio ambiente, lo que ha permitido aumentar los rendimientos, y conseguir productos de mayor calidad.

Los invernaderos son sistemas de producción donde a diferencia de otros agroecosistemas el ambiente es adaptado al cultivo para maximizar la productividad. Estos sistemas paulatinamente se han establecido en todas las latitudes y se han convertido en una estrategia para producir en cualquier época del año.

En condiciones tropicales, y dependiendo de la región donde estén instalados, también es una protección a periodos de altas precipitaciones, altas radiaciones y en consecuencia también a las altas temperaturas. En la Tabla 7 se aprecia la distribución de la superficie de cultivo en ambientes controlados (invernaderos y otras estructuras con cobertura) en las principales regiones del mundo que lo utilizan, y en el Cuadro 8, se aprecia cómo han ido aumentando estos ambientes controlados en Venezuela comparando los años 2004 y 2011.

Tabla 7. Área total de invernaderos (invernaderos de plástico, túneles altos y bajos + invernaderos de vidrio) de algunos de los mayores países productores en el mundo (Adaptado de Jaimez *y col.*, 2015).

País (año)	Invernaderos de plástico y túneles elevados. Superficie (ha)
España (2004)	46.852
Italia (2004)	61.900
Japón (2003)	49.049
USA (2004)	9.250
Canadá (2004)	600
Ecuador (2004)	2.700
Venezuela (2004)	52

Como se puede observar en las Tablas 7 y 8, Venezuela tiene un desarrollo incipiente en la construcción de ambientes controlados en comparación con otros países del mundo, como Italia, España y Japón, en los cuales esta agrotecnología se encuentra más extendida. La producción agrícola en ambientes controlados ha ido en aumento, esto a su vez es un mercado que requiere de varios insumos, entre otros los sustratos. Según Jaimez *y col.*, (2015), inicialmente en la década del 90, la técnica de hidroponía basada en sustratos inertes o uso exclusivo de agua era la usada en los invernaderos, pero progresivamente los productores comenzaron a utilizar sustratos orgánicos, tales como compost

fermentado de estiércol de caballo, concha de coco, los cuales se usan en canteros, bolsas, o envases plásticos donde se siembran las plantas. Los sustratos inorgánicos (perlita, lana de roca) no se usan y en pocas instalaciones se siembra en suelos directamente, para evitar problemas de enfermedades fúngicas o inconvenientes de drenaje por la textura del suelo. En Venezuela, como en muchos países, no existen métodos oficiales normalizados, para la caracterización de sustratos y materiales orgánicos en general.

Tabla 8. Área y distribución de invernaderos en Venezuela por regiones para el año 2004 y 2011. (Adaptado de Jaimez y col., 2015).

Región	Estados que se incluyen	Ha (2004)	%	Ha (2011)	%
Los Andes	Mérida, Táchira, trujillo	20,1	39	40	13,5
Centro-Occidente	Lara, Yaracuy	1,7	3,2	44,7	15,1
Central	Distrito Federal, Aragua, Miranda, Carabobo	24,8	48	180	60,8
Llanos	Apure, Barinas, Portuguesa	No registrado	-	9	3
Oriental	Sucre, Monagas, Anzoátegui	4,8	9	20	6,75
Sur	Bolivar	0,4	1	3	1
	Total	51,9		296,7	

A la vez, es importante señalar, como se aprecia en la Tabla 8, que el mayor desarrollo de esta agrotecnología, se encuentra en la región central del país. Muchos de estos invernaderos ubicados en las adyacencias de la autopista regional del centro y en estado de abandono, ya que se hicieron las estructuras, pero no se acompañaron de preparación de personal calificado, ni de los insumos y asesoramiento técnico necesarios.

A manera de reflexión, es bueno acotar, que por una parte el creciente desarrollo de la agricultura bajo ambientes controlados, puede promover prácticas de agricultura “alternativa”, sin el uso de agroquímicos y lograr altos rendimientos; sin embargo, vale la pena evaluar, cuando se contempla una gran extensión de plásticos que sustituyen el paisaje natural, como la que se aprecia en la Figura 3, ¿Cuán ecológicas son estas prácticas? ¿Se justifican estas tecnologías para la producción de alimentos? ¿Son sostenibles en el tiempo? ¿Cuánto impactan al ambiente?

Según Gonzalez (2005), aunque el cultivo ecológico bajo invernadero reduce el impacto ambiental en el suelo y el agua, al suprimir y sustituir los insumos químico-sintéticos en la producción, no se disminuye el consumo de energía no renovable en el caso de los invernaderos auxiliados

con calefacción en invierno, ni el impacto en el paisaje que provocan. Algunas opiniones, más radicales, se oponen también al cultivo en invernadero por su “artificialidad”, que atribuye una disminución al contenido nutricional del producto ecológico final.



Figura 3. Foto aérea de área de producción agrícola con invernaderos en Almería, España. Fuente: Yann Athus-Bertrand, 2013.

Normalmente la producción convencional en invernadero se caracteriza por realizarse fuera del suelo sobre materiales que posibilitan un control exacto de los aportes de nutrientes a los cultivos. Sin embargo, el cultivo fuera del suelo, ignora los principios fundamentales de la producción ecológica relacionada con la salud del suelo y sus conexiones con la sanidad de los cultivos y productos vegetales y su entorno ambiental. La producción en sustratos también afecta al tema de la sostenibilidad, ya que una producción en contenedores, es altamente dependiente de recursos externos, especialmente de fertilizantes, que ofrezcan una nutrición adecuada a los cultivos. Si se aceptara la producción fuera del suelo, se cuestionaría fuertemente el principio fundamental de trabajar con los ciclos biológicos naturales.

En otro orden de ideas, Altieri y Nicholls (2000), señalan que mientras la modernización agrícola avanzó, la relación entre la agricultura y la ecología se debilitó en la medida en que los principios ecológicos fueron ignorados y/o sobrepasados. Hoy los monocultivos se han expandido dramáticamente a través del mundo, caracterizados porque año tras año se produce la misma especie de cultivo sobre el mismo suelo.

Es así, que en muchos casos la producción en ambientes controlados (invernaderos), no rotan los cultivos, sino los suelos, al cambiar los sustratos en cada ciclo de un nuevo cultivo. Generando grandes cantidades de residuos tales como sustratos ya utilizados, plásticos

producto de las coberturas y sistemas de riego y envases de los productos utilizados (nutrición de las plantas y controles de plagas y enfermedades). En cuanto al paisaje, cambiamos las grandes extensiones de monocultivos al aire libre, por grandes extensiones de plásticos, con todas las consecuencias ambientales que ésto implica.

Como se puede apreciar, son muchas las dudas y reflexiones entre la búsqueda de un equilibrio y respeto por la naturaleza y la seguridad alimentaria, ciertamente un gran reto para estos tiempos y para nuestra sociedad.

CONCLUSIONES

Existe actualmente un gran desarrollo de la “agricultura alternativa”, y como se ha explicado, representa una demanda de insumos (como es el caso del compost), que permitan el retorno al suelo de residuos orgánicos que contribuyan con el aumento de la materia orgánica y por ende de su mejor funcionamiento ecológico.

Por otra parte, el mal manejo de los residuos sólidos orgánicos, ha hecho que los mismos terminen enterrados en vertederos en el mejor de los casos, ocasionando una serie de problemas al ambiente y a la salud humana. El compostaje representa una alternativa para el aprovechamiento de estos residuos, lo que permite a su vez incorporar de nuevo estos materiales al suelo, contribuyendo así con la “Ley del retorno” y con el enriquecimiento de la materia orgánica en los suelos. Estas prácticas conllevan a una serie de beneficios, siempre y cuando el producto final, “el compost”, presente una buena calidad, es decir, esté maduro, sea inocuo y contribuya en la mejora de la fertilidad de los suelos.

Es importante señalar, que se encuentran actualmente en el mercado una gran variedad de productos denominados “compost”, sin embargo, no existe una normativa que defina cuándo un compost está maduro, qué usos se le pueden dar; en fin, en Venezuela, como en muchos países, no existen métodos oficiales normalizados para la caracterización de sustratos y materiales orgánicos en general, razón por la cual se hace necesario fortalecer las distintas iniciativas existentes en este sentido y concretarlas en la generación de normas técnicas que permitan poder discernir entre un compost de calidad y otros productos, así como sus posibles usos y recomendaciones.

De allí el gran reto de promover el compostaje como alternativa para el reciclaje de los residuos orgánicos y para suplir las demandas de la “agricultura alternativa” de este insumo, vital por sus múltiples beneficios (mejoras de la estructura de los suelos, en la asimilación de nutrientes, en la presencia de MPCV, en la presencia de microorganismos benéficos para el control biológico, entre muchas otras más).

LITERATURA CITADA

- Aciego, J. 2013. *Indicadores microbianos de la calidad del suelo*. Trabajo presentado en el Tercer Taller “Unificación de métodos y procedimientos analíticos para la determinación de propiedades biológicas en abonos orgánicos y enmiendas: hacia una normalización”, celebrado en Mérida, 19 y 20 sept. 2013. (Informe técnico del INIA-Mérida, institución promotora junto con el CIDIAT). 7 pp.
- Acosta, Y., J. Cayama, E. Gómez, N. Reyes, D. Rojas y H. García. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias* 6(3):220-227.
- Albiach, R., R. Canet, F. Pomares y F. Ingelmo. 2000. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Biores. Technol.* 75(1):43-48.
- Altieri, M. y C. Nicholls. 2000. *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. 1º edición. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México. 257 pp.
- Athus-Bertrand, Y. 2013. *The greenhouses of Almeria*. Recuperado el 12 de septiembre de 2016 de: <http://www.amusingplanet.com/>.
- Armida-Alcudia, L., D. Espinosa-Victoria, D. Palma-López, A. Galvis y S. Salgado-García. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de Vertisoles cultivados con caña azucarera. *Terra Latinoamericana*. 23(4):545-551.
- Astier, M.; M. Maass y J. Etchevers. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36:605-620.
- Barreiro, A., A. Lombao, A. Martín, T. Carballas, R. Basanta, A. De Varennes y M. Díaz-Raviña. 2012. Estructura de la comunidad microbiana en suelos no adicionados y adicionados con residuos orgánicos. 473-482 p. En: *Avances en la investigación sobre compost. Materias primas, procesos, calidad y usos*. Editado por el Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Farmacia. Campus Vida. Universidad de Santiago de Compostela. A. Coruña, España. 618 pp.
- Barrena, R., X. Font, X. Gabarrell y A. Sánchez. 2014. Comparación de la calidad de compost de autocompostaje doméstico y de compostaje industrial. 302-306 p. Memorias de las IV Jornadas de la Red Española de Compostaje REC-2014 “De Residuo a Recurso. Estrategias de Gestión, Tratamiento y Valorización”. Murcia, España.
- Cooperband, L. 2002. *Building Soil Organic Matter with Organic Amendments. A resource for urban and rural gardeners, small farmers, turfgrass managers and large-scale producers*. This report was published by the Center for Integrated Agricultural Systems (CIAS), College of Agricultural and Life Sciences, University of Wisconsin-Madison. 13 pp.
- Corlay, L., R. Ferrera-Cerrato, J. Etchevers, A. Echeagaray y J. Santizo. 1999. Cinética de grupos microbianos en el proceso de producción de composta y vermicomposta. *Agrociencia* 33(4):375-380.
- 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 pp.
- COVENIN. 2004. Norma venezolana COVENIN 3836:2004: Directrices para la producción, elaboración, etiquetado y comercialización de alimentos producidos orgánicamente.

- Cruz, E., A. Can, M. Sandoval, R. Bugarín, A. Robles y P. Juárez 2013. Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias* 2(2):17-26.
- Dibut, B. 2009. *Biofertilizantes como insumos en agricultura sostenible*. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical. La Habana, Cuba. Editorial Universitaria. 157 pp.
- Dinel, H., M. Schnitzer y S. Dumontet. 1996. Compost maturity: extractable lipids as indicators of organic matter stability. *Compost Sci. Util.* 4:6-12.
- Escobar, N., J. Mora y N. Romero. 2013. Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca, *Boletín Científico, Centro De Museos, Museo De Historia Natural*, 6(1):75-88.
- Estrada, B. y J. Gómez. 2004. La Eco-Biología del suelo. Su análisis y función en nuevos sistemas agrícolas. *Agricultura* 642-643.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1999. *Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas*. Edición de la Dirección de Fomento de tierras y aguas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 30 pp.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2002. *Los fertilizantes y su uso*. Asociación Internacional de la Industria de los fertilizantes. 83 pp.
- García, C., T. Hernández, F. Costa y M. Ayso. 1992. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.* 23:1501-1512.
- García, C. y A. Polo. 1999. Estudio de parámetros bioquímicos en procesos de estabilización de residuos orgánicos urbanos. *Residuos*. 51:76-81.
- Gebeyehu, R. y M. Kibret. 2013. Microbiological and physico-chemical analysis of compost and its effect on the yield of kale (*Brassica oleracea*) in Bahir Dar, Ethiopia. *Ethiop. J. Sci. & Technol.* 6(2) 93-102.
- Gómez, L., A. Valdes, G. Dueñas, J. Dantin, N. Chávez y M. Torres. 2012. Contenido de carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana en suelos de la Habana. *Agronomía Mesoamericana* 23(1):179-187.
- González, V. 2005. *Normativas para el cultivo ecológico en invernaderos. Propuesta para incorporar el punto de vista Mediterráneo (Documento de Trabajo)*. Sociedad española de Agricultura Ecológica (SEAE). Valencia. España. 17 pp.
- Hernández-Hernández, R.M. 2008. Dinámica y manejo de la materia orgánica en suelos de sabanas bien drenadas. *Acta Biol. Venez.* 25(1):69-84.
- Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN-Chile). 2004. *NCh 2880. Of2004. Norma chilena oficial de compost, clasificación y requisitos*. Servicio Agrícola Ganadero, Instituto Nacional de Normalización de Chile. 19 pp.
- Jaimez, R., M. Costa, O. Araque, M. Plaha y R. Salazar. 2015. Invernaderos en Venezuela: Situación actual y perspectivas de desarrollo. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 32:145-174.
- Jaramillo, C., R. García de la Fuente, A. Lidón, F. Fornes, R. M. Belda, I. Bautista y M. Abad. 2012. Aplicación de compost de alperujo como enmienda orgánica a un suelo calizo: potencial nutricional y efecto sobre un cultivo de alfalfa. En: *Avances en la investigación sobre compost. Materias primas, procesos, calidad y usos*. Editado por el Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Farmacia. Campus Vida. Universidad de Santiago de Compostela. A. Coruña, España. Pp: 463-471.
- Lasaridi, K. y E. Stentiford. 1998. A simple respirometric technique for assessing compost stability. *Water Res.* 32:3717-3723.
- Luna, L., I. Miralles, M. A. Domene, F. Bstida, M. T. Hernández, C. García y A. Benet. 2014. Biomasa microbiana del suelo y fracciones de materia orgánica en suelos restaurados de canteras calcáreas. 181-185 p. Memorias de las IV

- Jornadas de la Red Española de Compostaje REC-2014 “De Residuo a Recurso. Estrategias de Gestión, Tratamiento y Valorización”. Murcia, España.
- Martínez, R. 2004. Análisis de los estilos de agricultura ecológica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. N°72:10-21.
- 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.
- Odlare, M. 2005. Organic residues. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Department of Microbiology. Uppsala. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. 71. 51 pp.
- Pascual, J. 1992. Aspectos químicos y bioquímicos del compostaje. Universidad de Murcia, Facultad de Ciencias biológicas y Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.E.B.A.S.), Mimeografiado. Murcia. 225 p.
- Paul, E. 2015. *Soil microbiology, ecology, and biochemistry*. Fourth Edition. Academic Press is an imprint of Elsevier. Oxford, UK. 582 pp.
- Rebollido, R., J. Martínez, Y. Aguilera, K. Melchor, I. Koerner and R. Stegmann. 2008. Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. *Applied Ecology and Environmental Research* 6(3): 61-67.
- Primavesi, A. 1984. *Manejo ecológico del suelo*. “El Ateneo” Editorial. Buenos Aires, Argentina. 497 pp.
- Reyes, G. y E. Vargas. 1999. Leguminosas: calidad, mineralización y efecto sobre la biomasa microbiana. *Ciencias Naturales y Agropecuarias*. 6(3):305-311.
- Rivero, C. 1999. Materia orgánica del suelo. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* Alcance 57:212 p.
- Román, P., M. Martínez y A. Pantoja. 2013. *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Edición de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, Chile. 112 p.
- Satoshi, F. 2013. *Resíduos orgánicos e solos. Formulação, índices de maduração de substratos e compostos orgánicos voláteis alvos*. Tese Doutorado apresentada à Universidade Federal de Lavras, Programa Post-Gtaduação em Ciencia do Solo. Minas Gerais. Brasil. 146 pp.
- Suárez, O. 1981. *La Basura es un Tesoro* (Cultura del reciclaje, agricultura natural, no contaminante y otras vías hacia una sociedad ecológica). Edición de la Dirección de Desarrollo Social de la Gobernación del Distrito Federal y la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Caracas, Venezuela. 286 pp.
- Thompson, W.; P. Legee; P. Millner y M. Watson. 2001. *Test Methods for the Examination of Compostig and Compost (TMECC)*. Prepared for: the U.S. Composting Council Research and Education Foundation (USCCREF) and U.S. Department of Agriculture (USDA).
- Tiquia, S. 2005. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *J. Appl. Microbiol.* 99:816-828.
- Villalba, L. 2005. Caracterización físico-química y biológica de un compost elaborado con desechos generados en la USB. Tesis de grado de Maestría en la Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela. 174 p.
- Villalba, L. 2011. *Cuaderno 1. Caracas Sana. Ambiente y Residuos Sólidos*. Caracas: Asociación Civil Por la Caracas Posible. Caracas, Venezuela. 36 pp.
- Villalba, L. 2013. *La Gestión de residuos y desechos sólidos en el Área Metropolitana de Caracas*. Edición del ILDIS (Instituto Latinoamericano de Investigaciones

- Sociales). Caracas, Venezuela. 25 pp.
- Zambrano, A., F. Contreras, J. Paolini y C. Rivero. 2011. Caracterización espectroscópica de enmiendas orgánicas. *Avances en Investigación Agropecuaria.AIA* 15(3):67-85.
- Zucconi, F.; A. Pera; M. Forte y M. Bertoldi. 1981. Evaluating Toxicity of Immature Compost. *BioCycle* 22:54-57.