



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE  
VENEZUELA FACULTAD DE CIENCIAS  
POSTGRADO EN ECOLOGIA**



**Seminario de Grado de Doctorado**

**PARÁMETROS BIOLÓGICOS PARA  
EVALUAR LA CALIDAD DE SUSTRATOS Y  
ENMIENDAS ORGÁNICAS**

**Autora:**  
**MSc. Luisa Villalba**

**Tutora: Dra. Marcia Toro (IZET/UCV)**

**Jurado Evaluador:**

- **Dr. Ismael Hernández (IZET/UCV)**
- **Dra. Rosa Mary Hernández (UNESR)**
- **Dr. Jorge Paolini (IVIC)**

**Caracas, marzo de 2016.**

## 1) Introducción.

La producción orgánica de alimentos es una alternativa para los consumidores que prefieren alimentos libres de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, inocuos y con un alto valor nutricional. No obstante, la certificación orgánica indica un período de transición de tres a cinco años sin aplicación de ningún producto sintético al suelo, período que la mayoría de los productores, no están dispuestos a aceptar, porque implica arriesgar el capital. Por otro lado, señala Márquez y col. (2008), que el tomate orgánico en México alcanza un precio de 5.84 veces mayor que el convencional, producirlo en invernadero, aumentaría los rendimientos y por ende el beneficio económico para el productor. Sin embargo, es necesario un sustrato, que además de sostén, aporte cantidades considerables de elementos nutritivos que satisfagan las demandas del cultivo. Una alternativa es el compost, que al mezclarlo con medios inertes, mejora sus características físicas y químicas evitando la hipoxia.

De acuerdo a Cruz y col. (2013), un aspecto importante en la producción en invernadero es el medio que se utiliza para el crecimiento de la planta, que puede ser el suelo o un sustrato orgánico o inorgánico. Una de las ventajas que representa el uso de los sustratos regionales es la disponibilidad y menor costo, y más aun los de origen orgánico dada la tendencia al manejo de sistemas de producción con enfoque sustentable.

Los mismos autores señalan, que existen diversas actividades tales como la minera, la industrial y la agropecuaria, que producen materiales de desecho, los cuales pueden ser explotados como sustratos, aunque algunos de ellos deban pasar por un proceso de acondicionamiento previo a su utilización. Sin embargo, dado el escaso conocimiento sobre la utilidad para la producción agrícola de diversos materiales, su explotación es escasa, por lo que es importante difundir qué es un sustrato así como los requerimientos a considerar para su uso y las ventajas del mismo. A la vez de enfatizar que antes de decidir por el uso de un sustrato se debe caracterizar, es decir, analizar sus diferentes propiedades (físicas, químicas y biológicas).

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 (Hidalgo *et al.*, 2009). En tal sentido, la transformación de los residuos en sustratos y el uso adecuado de los mismos para fines hortícolas surge como una alternativa viable, técnica y económica (Cruz y col. 2013).

La aplicación directa de residuos orgánicos al suelo puede ocasionar pérdidas de nutrientes, daños fisiológicos a las plantas, pérdida de nitrógeno por volatilización entre otros efectos negativos asociados al descarte inadecuado o al uso de esos materiales sin considerar criterios técnicos (Satoshi, 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 partícula que lleva a una mayor retención del agua por el sustrato, el incremento de la capacidad de intercambio catiónico y mejora la capacidad de aireación, las cuales dependerán de la naturaleza de los materiales (Cruz y col. 2013).

En ese sentido, el compostaje es un proceso natural que permite la estabilización de esos materiales, es el proceso para el tratamiento (aprovechamiento) de los residuos orgánicos más desarrollado y utilizado. Esta técnica 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.

Cuando el compost está estabilizado químicamente, es el componente ideal para preparar sustratos, ya 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)

De allí, que poder determinar cuándo un sustrato o una enmienda orgánica están aptos para ser utilizados es la inquietud que determina este trabajo, particularmente en lo referido a la determinación de parámetros biológicos.

En tal sentido, la finalidad de este trabajo es conocer qué son los sustratos y las enmiendas orgánicas, así como cuáles son los principales parámetros biológicos -y sus metodologías-, utilizados para determinar su calidad.

## **2) La calidad de los sustratos y enmiendas orgánicas.**

Bautista y col. (2004), refieren que la calidad y la salud del suelo (aplicable en nuestro caso para sustratos y enmiendas orgánicas) son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos, y consideran que:

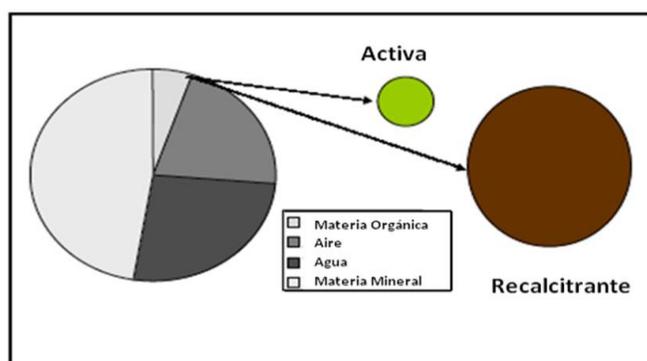
- La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo. El estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular constituyen la salud del suelo.

- El concepto de calidad del suelo ha estado asociado con el de sostenibilidad.
- Al considerar la capacidad del suelo para funcionar, la calidad del suelo es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso.

Para comprender por qué es importante la calidad de los sustratos y enmiendas orgánicas, debemos primero conocer una serie de términos relacionados, tales como:

#### a) **Materia Orgánica.**

De acuerdo a Cooperband (2002), el suelo es tridimensional y muy dinámico, a la vez contiene abundante vida vegetal y animal. Tiene cuatro componentes principales: materia mineral, materia orgánica, aire y agua (Fig. 1). La materia orgánica del suelo es una propiedad dinámica, no estática, incluye plantas y animales (fracción viva) así como materiales en diversas etapas de descomposición (fracción muerta).



**Figura 1.** Los cuatro componentes del suelo (Adaptado de Cooperband, 2002).

No toda la materia orgánica del suelo es igual, las frutas y residuos vegetales se degradan fácilmente porque contienen hidratos de carbono (azúcares simples en su mayoría y almidones). En contraste, las hojas, los tallos, cáscaras de nuez, corteza y 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 orgánico (enmiendas) se descompone lentamente cuando se añade al suelo porque ya han sido objeto de una significativa cantidad de descomposición durante el proceso de compostaje. Por lo tanto la materia orgánica del suelo 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. El grupo intermedio se convierte otra vez en dos a cinco años. La recalcitrante o fracción estable es la materia orgánica que está bien descompuesta, que es química o físicamente resistente a la descomposición, teniendo más de 10 años.

Esta fracción de la materia orgánica bien descompuesta 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 evitar la compactación del suelo y la formación de costras.

El mismo autor nos señala cómo la materia orgánica del suelo afecta la calidad del suelo:

1. Favorece la retención y suministro de nutrientes para las plantas (N P K y micronutrientes; aumenta la capacidad de intercambio de cationes).
2. Estabiliza y mantiene las partículas del suelo juntas como agregados.
3. Ayuda al suelo a resistir la compactación, promueve la infiltración de agua y reduce la escorrentía.
4. Ayuda al crecimiento de cultivos mediante la mejora de la capacidad de la tierra de almacenar y transmitir el aire y el agua, medido por la mejora de la porosidad; capacidad de retención de agua y la resistencia a la sequía.
5. Hace que el suelo sea más friable y más fácil de trabajar de manera que las raíces de las plantas pueden penetrar en el perfil del suelo mejor.
6. Proporciona una fuente de carbono y energía para los microorganismos del suelo por medio de los ciclos de los nutrientes y la competencia con los agentes patógenos que causan las enfermedades de las plantas.
7. Reduce los efectos ambientales negativos de los pesticidas, metales pesados y otros contaminantes.

#### **b) Sustrato.**

En general, podemos resumir que 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 (Cruz y col., 2013)

El sustrato es el medio en el cual las raíces puedan crecer y también sirve como soporte a la planta, puede estar constituido de un solo material o mezclas. Un sustrato adecuado para el crecimiento de las plantas debe presentar alta capacidad de retención de agua, fácil drenaje y una apropiada aireación (Puerta y col., 2012)

Según estos autores, el uso de sustratos debe considerar:

- La sustitución del suelo mineral, como un medio de cultivo, por sustratos artificiales ha proporcionado importantes aumentos en la producción y productividad.
- Para garantizar sustratos con calidad adecuada al desarrollo de las plantas, es esencial la caracterización de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los materiales.

- La elección de los sustratos depende de varios factores que afectan el crecimiento de la plántula, como pH, CIC, porosidad, salinidad y a factores operativos como costo, disponibilidad, uniformidad, facilidad de manejo, etc.

Existen diversas razones que justifican el uso del cultivo en sustratos entre las que se encuentran: 1) la necesidad de transporte de plantas de un lugar a otro, 2) problemas del cultivo intensivo por agotamiento de los suelos agrícolas, salinidad y enfermedades.

Actualmente, debido a aspectos relacionados con la conservación del medio ambiente la concepción del uso de los sustratos cambió, por lo que hay otros factores a considerar al seleccionar un material como sustrato, tales como: agua, suelo y reciclaje de materiales de desecho.

En general, al cultivo sin suelo, en el que se incluye el uso de los sustratos, se considera como una técnica agronómica amigable con el medio ambiente y con el ser humano, dado que mediante estos sistemas de producción, además de obtener rendimientos altos y productos de calidad, se logra un producto sano.

No obstante, un inconveniente en lo que respecta a la caracterización de sustratos es la falta de estandarización en las metodologías para tal fin, lo cual dificulta la comparación de resultados de un laboratorio a otro. (Cruz y col., 2013).

Los sustratos se pueden clasificar como materiales orgánicos e inorgánicos (Cruz y col. 2013):

Materiales orgánicos. Los materiales orgánicos a la vez se pueden subdividir en:

1. De origen natural (turba o *peat moos*).
2. De síntesis (espuma de poliuretano, poliestireno expandido).
3. Residuos y subproductos de diferentes actividades, aunque este tipo de materiales deben ser previamente acondicionados mediante un proceso de compostaje o vermicompostaje. Entre algunos ejemplos de este tipo de materiales se encuentra el bagazo de caña, bagazo de agave, aserrín o serrín, corteza de arboles, orujo de uva, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, cascarilla de arroz, paja de cereales, fibra y polvo de coco, entre otros.

Materiales inorgánicos o minerales. Estos materiales también se subdividen en:

1. De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, como por ejemplo: rocas de tipo volcánico como el jal, tezontle, piedra pómez, arena, grava.
2. Materiales transformados o tratados industrialmente. Son obtenidos a partir de rocas o minerales mediante tratamientos físicos y a veces químicos, que modifican las características de los materiales de partida. Algunos ejemplos de estos son la perlita, vermiculita, arcilla expandida y lana de roca.

3. Residuos y subproductos industriales, como las escorias de horno alto, estériles de carbón.

Una desventaja que presentan los materiales orgánicos en relación a los inorgánicos es que son susceptibles de continuar su descomposición en mayor o menor medida en el contenedor, lo cual dependerá del buen o mal proceso de compostaje o vermicompostaje, que puede afectar el volumen del sustrato.

**c) Enmienda orgánica.**

Tradicionalmente a los suelos se les añaden enmiendas con la finalidad de mejorarlos, sobre todo desde el punto de vista de su fertilidad, es así que se tienen entonces enmiendas orgánicas e inorgánicas -como el caso de la cal agrícola- (Foth, 1990).

La fertilidad se puede mejorar al incorporarle al suelo nutrientes (fertilizantes químicos y/o biológicos); al mejorar su estructura, como han sido los ensayos de añadir emulsiones asfálticas (Ojeda y col., 2012); o al añadir distintos materiales orgánicos e inorgánicos, frescos o procesados, solos o mezclados, que permitan mejorar la capacidad de adsorción de los nutrientes en el suelo y por ende su disponibilidad para las plantas.

De acuerdo a Cooperband (2002), la adición de enmiendas orgánicas contribuye con la construcción de la materia orgánica del suelo. No hay fin a la serie de posibles enmiendas orgánicas que se pueden incorporar a un suelo, tales como los productos "de desecho" o subproductos de empresas agrícolas, procesadores de alimentos, generados en los municipios o industria (Cuadro 1). Pueden ser aplicados en bruto o después de algún tipo de procesamiento como la digestión anaeróbica, compostaje o secado / granulación.

**Cuadro 1.** Algunos ejemplos de enmiendas orgánicas y consideraciones para su uso (Cooperband, 2002).

Tipo de enmienda	Consideración
En la granja: residuos de estiércol, residuos de cultivos, en mal estado paja, heno y ensilaje	El estiércol se puede aplicar en bruto o en abono. El compostaje cambia las cualidades del estiércol. Por ejemplo, la disponibilidad de nutrientes será menor después del compostaje, pero el estiércol compostado es mucho más estable biológicamente. Esto significa que los efectos de la materia orgánica serán más duraderos, libre de patógenos, de olores, semillas de malezas y puede ser almacenado durante un tiempo más largo.
Los residuos municipales: desechos de jardín y biosólidos (aguas residuales lodos).	Las preocupaciones potenciales incluyen la presencia de organismos patógenos tales como bacterias, protozoos y virus, el exceso de sales, la presencia de metales pesados tales como cobre, plomo, cadmio y la presencia de contaminantes orgánicos como los bifenilos policlorados (PCB o dioxinas), y los compuestos de tipo "alterador endocrino".
Desechos de alimentos de consumo (restaurantes, institucional cafeterías).	
Pre-consumo desechos de	

alimentos de las tiendas de comestibles y supermercados.	
Los residuos orgánicos de los procesadores de alimentos: verduras, carne, pescado, productos lácteos.	El suero de leche contiene azúcares de la leche que se degradan con facilidad, lo que resulta en una demanda biológica de oxígeno (DBO) muy alta cuando se aplica al suelo. Esto puede ser tóxico para los cultivos si se aplica poco antes de la siembra. Si el suero se escurre por los campos de cultivo hacia los arroyos, la elevada DBO puede privar de oxígeno para los peces. La mayor preocupación acerca de enmiendas orgánicas de las industrias de pescado, carne y aves de corral son los olores, el exceso de nutrientes y alta DBO. Algunos procesadores de carne venden sus desechos a otros procesadores que convierten estos materiales en productos fertilizantes o enmiendas orgánicas del suelo, tales como la harina de plumas y emulsión de pescado y otros productos compostados.
Los residuos orgánicos de las fábricas de papel y la industria maderera.	Las preocupaciones sobre el uso de los residuos de las fábricas de papel en los suelos se refieren principalmente a la relación C: N del material y la presencia potencial de toxinas orgánicas. También hay preocupaciones sobre el aumento de pH del suelo.
Las turbas y los compost.	La turba es un material vegetal parcialmente descompuesto, que poco a poco se acumula en el fondo de estanques y lagos, así como áreas de pantano. Pueden retener el agua y los nutrientes de diez a quince veces su propio peso cuando está completamente saturado, y aún así puede mantener 40% de aire. Tienen poco valor nutritivo en sí mismos, pero son excelentes en la retención de nutrientes para evitar la lixiviación. La turba musgo es el componente comercial predominante de mezclas para macetas.

De acuerdo a la Norma Venezolana (COVENIN, 2004), en su Anexo A sobre los principios de la producción orgánica, menciona en su aparte 5:

La fertilidad y actividad biológica del suelo se deberán mantener y mejorar, cuando corresponda, mediante:

- a)** El cultivo de leguminosas, abonos vegetales o plantas de raíces profundas en un programa apropiado de rotación multianual de cultivos;
- b)** 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.

Las sustancias especificadas en el Anexo B, Tabla 1 (ver Cuadro 2), podrán aplicarse solamente si no es posible brindar una nutrición suficiente al cultivo o al suelo mediante los métodos establecidos en 5(a) y b) *supra* o, en el caso del estiércol, si no se dispone del procedente de producción orgánica.

c) Para la activación del compost se pueden utilizar microorganismos apropiados o preparaciones a base de plantas.

d) 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.

**Cuadro 2. Sustancias que pueden emplearse como fertilizantes y acondicionadores del suelo (COVENIN, 2004)**

<b>Sustancia</b>	<b>Descripción; requisitos de composición; y condiciones de uso</b>
Estiércol de establo y avícola	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación, si no procede de sistemas de producción orgánica. Fuentes de agricultura industrial no permitidas.
Estiércol líquido u orina	Si no procede de fuentes orgánicas, necesidad reconocida por el organismo inspector. Emplear de preferencia después de fermentación controlada y/o dilución apropiada. Fuentes de agricultura industrial no permitidas.
Excrementos animales comportados, incluido estiércol avícola	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de inspección. Fuentes de agricultura industrial no permitidas.
Estiércol de establo y estiércol avícola Deshidratados	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación. Fuentes de agricultura industrial no permitidas.
Guano	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Paja	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Compost de sustratos agotados procedentes del cultivo de hongos y la vermicultura	Necesidad reconocida por organismo inspector. La composición inicial del sustrato
Compost de desechos domésticos Orgánicos	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Compostes procedentes de residuos Vegetales	-
Productos animales elaborados procedentes de mataderos e industrias pesqueras	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Subproductos de industrias alimentarias y Textiles	No tratados con aditivos sintéticos. Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Algas marinas y sus derivados	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Aserrín, cortezas de árbol y desechos de Madera	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Cenizas de madera	-
Roca de fosfato natural	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación. El cadmio no deberá exceder 90mg/Kg P205.
Escoria básica	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Potasa mineral, sales de potasio de extracción mineral (por ej. cainita, sylvinite)	Menos de 60% de cloro.
Sulfato de potasa (por ej. Patenkali)	Obtenido por procedimientos físicos pero no

	enriquecido mediante procesos químicos para aumentar su solubilidad. Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Carbonato de calcio de origen natural (por ej. Creta, marga, maerl, piedra caliza, creta fosfato)	-
Roca de magnesio	-
Roca calcárea de magnesio	-
Sales de Epsom (sulfato de magnesio)	-
Yeso (Sulfato de calcio)	-
Vinaza y sus extractos	Vinaza amónica excluida.
Cloruro sódico	Sólo de sal mineral.
Fosfato cálcico de aluminio	Máximo 90 mg/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Oligoelementos (por ej. Borón, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, zinc)	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Azufre	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Polvo de piedra	-
Arcilla (por ej. Bentonita, perlita, ceolita)	-
Organismos biológicos naturales (por ej. Gusanos)	-
Vermiculita	-
Turba	Excluidos los aditivos sintéticos; permitida para semilla, macetas y compostes modulares. Otros usos, según lo admita el organismo o autoridad de certificación
Humus de gusanos e insectos.	-
Ceolitas	-
Carbón vegetal	-
Cloruro de cal	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación.
Excrementos humanos	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación. De ser posible, aireados o compostados. No aplicables a cultivos para consumo humano.
Subproducto de la industria azucarera (por ejemplo vinaza)	Necesidad reconocida por el organismo o autoridad de certificación
Subproductos de las palmas oleaginosas, del coco y del cacao (incluyendo los racimos de cáscaras de frutas, efluentes de la producción de aceite de palma (pomo), turba de cacao y las mazorcas vacías del cacao.	-
Subproductos de industrias que elaboran ingredientes procedentes de agricultura orgánica.	Necesidad reconocida por el organismo autoridad de certificación.

#### d) ¿Enmienda o fertilizante?

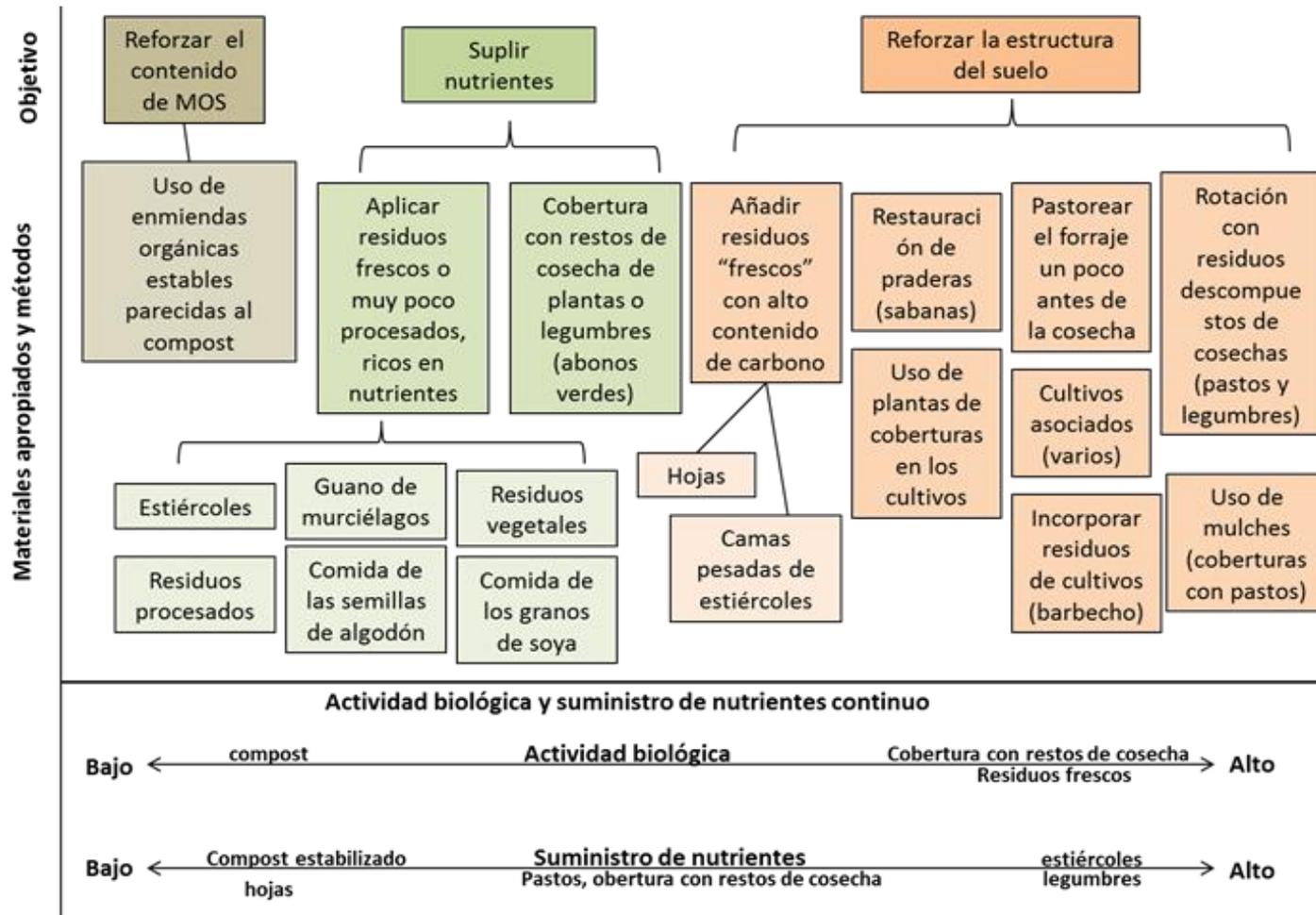
Una enmienda orgánica aplicada al suelo se puede considerar un "fertilizante" o acondicionador de suelos, en general, depende de su efecto sobre la nutrición vegetal. Los fertilizantes son una fuente de nutrientes fácilmente disponibles y tienen un efecto directo, a corto plazo sobre el crecimiento de las plantas. Los acondicionadores de suelo, afectan indirectamente el crecimiento de la planta mediante la mejora 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 de 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, corteza 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).

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 adsorción<sup>1</sup>), la reacción del suelo y la ausencia de los elementos tóxicos (por ejemplo: aluminio libre). 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.

---

<sup>1</sup> *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.



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

En la Figura 2, se observa de acuerdo a lo que deseamos lograr, qué tipo de manejo debemos aplicar al suelo, incluyendo la enmienda recomendada. 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).

### **3) Parámetros biológicos y metodologías para determinar la calidad de los sustratos y enmiendas orgánicas.**

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 función de esto, las pruebas de calidad se clasifican en tres grandes grupos: pruebas prácticas, obtención de parámetros químicos y bioensayos.

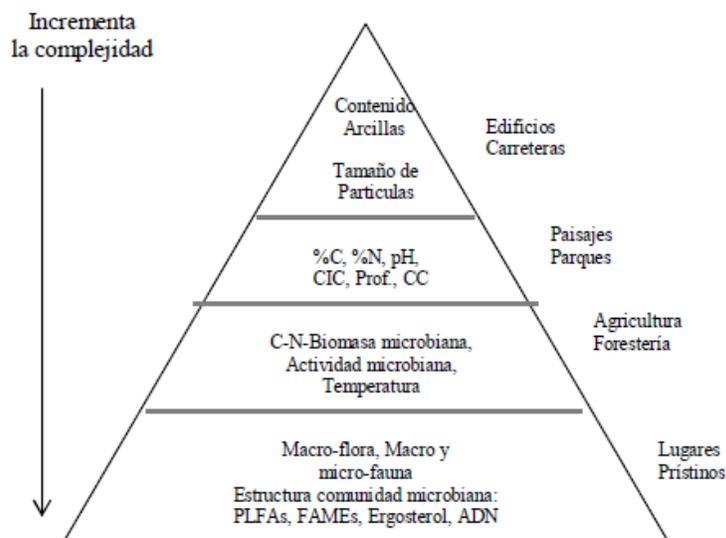
Señalan Cruz y col. (2013), que las definiciones más recientes de calidad del suelo (aplicable a los sustratos y enmiendas orgánicas) se basan en la multifuncionalidad del suelo y no sólo en un uso específico, pero este concepto continúa evolucionando y actualmente el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America la define como la capacidad del suelo 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.

Es así que al hablar de calidad del suelo, según los autores antes citados, podemos entonces referirnos también a que los sustratos y las enmiendas orgánicas que se utilicen, deben de cumplir con una serie de criterios, tales como:

- a) Que posea propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para el crecimiento de los cultivos.
- b) Se debe considerar la relación beneficio/costo.
- c) Disponibilidad en la región o zona.
- d) Facilidad de manejo o compatibilidad, en el caso de realizar mezclas de materiales.
- e) Que presenten supresividad respecto a patógenos. Que estén libres de patógenos.
- f) Que sean reciclables.
- g) Que eviten el lavado de nutrientes.

- h) Que optimicen el consumo del agua.
- i) Evitar que causen daño al ambiente.

Al evaluar los indicadores de la calidad de un suelo, de acuerdo a Aciego (2013), se aprecia una complejidad creciente, ya que las demandas por una mejor calidad del suelo se incrementan a medida que los requerimientos por mayor complejidad de los ecosistemas aumentan. De este modo, el uso de indicadores como los perfiles de ácidos grasos fosfolipídicos (PLFAs, por sus siglas en inglés) y de ADN, permitirían evaluar el efecto de prácticas de manejo del suelo sobre la estructura de sus comunidades microbianas, así como comparar la biodiversidad microbiana de suelos bajo diferentes usos con suelos “prístinos”, es decir, no perturbados por alguna actividad humana (Figura 3).



**Figura 3.** Pirámide jerárquica de indicadores de calidad de suelo (Aciego, 2013).

Por otra parte Astier-Calderon y col. (2002), plantean que un indicador de calidad de suelos (aplicable también para el caso de los sustratos y las enmiendas orgánicas), se concibe como una herramienta de medición que debe dar información sobre las propiedades, procesos y características.

Los mismos autores señalan una serie de condiciones que deben cubrir los indicadores de calidad de suelos:

- a) Ser descriptores de procesos de los ecosistemas; integrar propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos del suelo;
- b) Ser accesibles a los diferentes usuarios y aplicables en diversas condiciones de campo;
- c) Ser sensibles a las variaciones de manejo y de clima; y

d) Provenir de bases de datos existentes.

Otra consideración interesante es la señalada por Estrada y Gómez (2004), quienes plantean que la información del estado eco-biológico de los suelos evaluada en un contexto dinámico, puede representar un elemento clave y un termómetro de la “salud”, “calidad” y “capacidad de uso de los suelos”, que cumpliría las siguientes funciones:

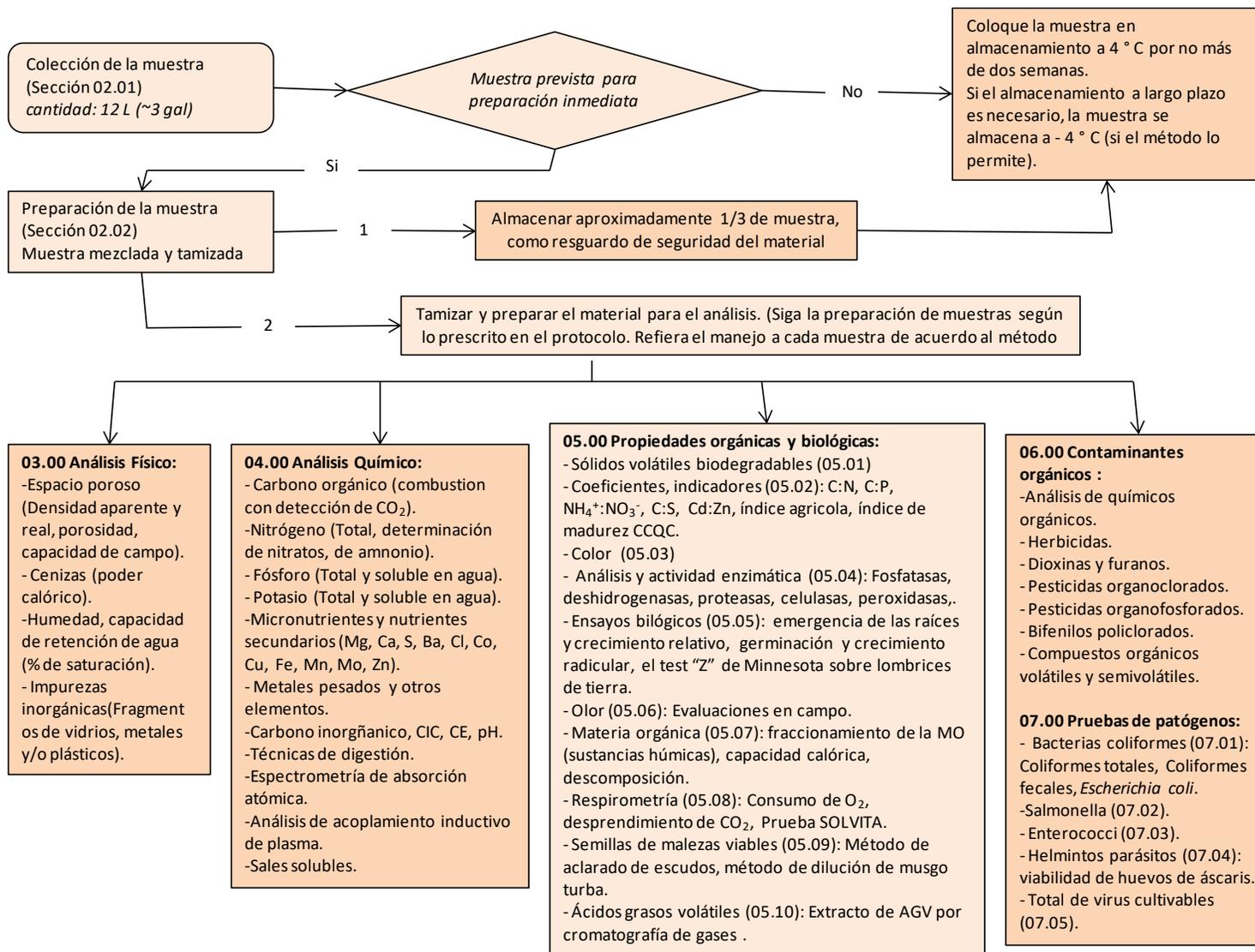
- Diagnosticar el equilibrio del suelo y su status de salud.
- Definir la adaptación de los cultivos (al suelo) y compatibilidad (del suelo y el cultivo) con fertilizantes y enmiendas y tratamientos fito-sanitarios.
- Evaluar y recomendar las prácticas agronómicas más adecuadas a cada suelo, cultivo y situación: enmiendas, fertilización, tratamientos y prácticas fito-sanitarias, rotación de cultivos, laboreo...

En este sentido, el análisis eco-biológico de suelos revela el papel clave en la movilización y disponibilidad de nutrientes, la prevalencia de plagas y enfermedades y una idea completa del estado del suelo y los cultivos. Es una parte funcional de un marco general que podría denominarse como “análisis de biodiversidad”.

¿Por qué utilizar la expresión eco-biología? Principalmente porque se basa en las determinaciones biológicas (sobre todo de tipo microbiológico) en el contexto del suelo como una cadena trófica (“the soil foodweb”) y como un ecosistema. Así puede conseguirse una visión global de la actividad, diversidad y densidad de la vida microscópica del suelo y sus interrelaciones con el cultivo. No se corresponde exactamente con las clásicas medidas de actividad biológica a través de los “índices metabólicos” de respiración, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, etc...tampoco representa una medida de la gran “biodiversidad” de especies del suelo para la que habría que usar las muy costosas y complejas técnicas moleculares, aún restringidas al campo de la investigación, pero puede ser de gran utilidad por su bajo coste y simplicidad. Los parámetros que deben ser analizados rutinariamente:

- Biomasa bacteriana total y activa
- Biomasa fúngica total y activa
- Protozoos
- Nematodos (y su clasificación en grupos)
- Microartrópodos

Por otra parte, al revisar los Test Methods for the Examination of Compost and Compost (TMECC), desarrollados por Thompson y col. (2001), podemos visualizar en la Figura 4, un resumen de los principales parámetros posibles a evaluar:



**Figura 4.** Destino de las muestras de compost y posibles análisis, adaptado de Thompson y col. (2001).

Así, de acuerdo con la Figura 4 y tomando en cuenta los distintos aspectos ya señalados que influyen en la calidad de un sustrato o una enmienda orgánica, podemos agrupar como los principales parámetros biológicos, los relacionados con A) la madurez y la estabilidad, B) la disponibilidad de nutrientes (fertilidad), y C) la inocuidad.

#### **A. Madurez.**

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 Zucchini y col. (1981) o test de germinación de *Lepidium sativum* L.

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  $\text{NH}_3$ , ó 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), tal y como

se indicó en la Figura 4, 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 los mismos autores, 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).** (Cuadro 3)

**Cuadro 3.** Parámetros sensoriales de la madurez (test o criterios de tipo físico). Metodologías para sustratos y enmiendas orgánicas.

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

**2) Evolución de parámetros de la biomasa microbiana.** (Cuadro 4)

**Cuadro 4.** Parámetros de la biomasa microbiana. Metodologías para sustratos y enmiendas orgánicas.

Indicador	Consideraciones	Método (Fuente)	Condiciones madurez (Fuente)
Cuantificación de la microbiota y biomarcadores de la diversidad microbiana <sup>1</sup>  Métodos indirectos:	Solo un pequeño porcentaje de microorganismos que constituyen la microbiota total del compost (como ocurre con la microbiota edáfica) puede crecer en medios de cultivo; por otra parte la técnica clásica para determinar biomasa-C en suelos (fumigación-extracción) produce a veces resultados no reproducibles en la misma muestra de compost (debido a su heterogeneidad) y no es muy utilizada. Por ello actualmente se utilizan con más frecuencia biomarcadores moleculares que	Determinación del C de la biomasa microbiana por el método de Fumigación-incubación (Jenkinson, 1976, citado por Armida y col., 2005). Y el método de “fumigación y extracción” de Brookes <i>et al.</i> (1985) citado por Gómez y col. (2012)  Producto: (Kg de C ha <sup>-1</sup> relativo al C total o CO <sub>2</sub> producidos)	Disminución de la población microbiana (Corlay y col. 1999; y Moreno y Moral, 2008).
		Determinación de N de la biomasa microbiana por el método de Fumigación y extracción Kg de N ha <sup>-1</sup> relativo al N total (Reyes y Vargas, 1999)	Disminución de la población microbiana (Corlay y col. 1999; y Moreno y Moral, 2008).

	<p>permiten establecer con precisión los grupos de microorganismos predominantes, dependiendo del estado de madurez del compost. 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).</p>	<p>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)</p> <p>Perfiles de ácidos grasos fosfolipídicos (PLFAs, por sus siglas en inglés) y de ADN (Aciego, 2013)</p>	<p>Disminución de la población microbiana (Corlay y col. 1999; y Moreno y Moral, 2008).</p>
<p>Cuantificación de la microbiota y biomarcadores de la diversidad microbiana</p> <p>Métodos directos:</p>		<p>Determinación de la biomasa microbiana (bacterias, hongos y actinomicetes) por el método de Conteo microbiano NMP, UFC (Rivero, 1999)</p>	<p>Disminución de la población microbiana (Corlay y col. 1999; y Moreno y Moral, 2008).</p> <p>Distintos reportes en UFC/g de compost: <math>9,75 \times 10^6</math> (Villalba, 2005); <math>6,81 \times 10^7</math> (Corlay y col., 1999); <math>1.3 \times 10^4</math> (Gebeyehu y Kibret, 2013); Bacterias Gram + (García y Polo, 1999); Bacterias Gram + y Gram - (Boulter y col., 2000), (Rebollido y col. (2008), (Escobar y col., 2013), (Villalba, 2005).</p>
<p>Respirometría</p>	<p>La respiración del suelo se define como el CO<sub>2</sub> desprendido por los organismos del suelo. Típicamente, 90% de la respiración se origina a partir de microorganismos, mientras que el otro 10% se origina a partir del resto: la mesofauna y macrofauna del suelo. Es un método tradicional desde los</p>	<p>Métodos estáticos: SOUR (Tasa –velocidad- específica de consumo de oxígeno), OD<sub>20</sub> (consumo de oxígeno acumulado en 20 h), SRI (Respiración inducida por el sustrato)<sup>1</sup>, RI<sub>T</sub> (consumo de oxígeno a la temperatura del proceso) (Thompson y col., 2001, y Moreno y col., 2015)</p> <p>Métodos dinámicos: DRI (Índice de Respiración Dinámica), RDRI (Índice de Respiración Dinámica Real), PRDRI (Índice de Respiración Dinámica Potencial) (Moreno y col., 2015)</p>	<p>Consumo de O<sub>2</sub> (Método SOUR) &lt; 1 mg O<sub>2</sub>g<sup>-1</sup>VS h<sup>-1</sup> (Lasaridi y Stentiford, 1998 citados por Moreno y Moral, 2008)</p> <p>Entre 0,5 – 1 g O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> MO h<sup>-1</sup> (Barrena y col. 2006, citados por Barrena y col. 2014).</p>

	<p>primeros días de la microbiología del suelo, todavía se considera el mejor índice de la actividad metabólica de las poblaciones microbianas mixtas. En suelo no perturbado, hay un equilibrio ecológico entre los organismos y su actividad. (Odlare, 2005).</p>	<p>La respiración microbiana se midió a través de la determinación del CO<sub>2</sub> 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)+2mLBaCl<sub>2</sub> 0,5M+364 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 y col. 2006)</p>	<p>Emisión de CO<sub>2</sub> &lt; 5 mg CO<sub>2</sub>-Cg<sup>-1</sup> C-compost (peso seco) (García y col., 1992 citados por Moreno y Moral 2008); emisión de CO<sub>2</sub> &lt; 2 mg CO<sub>2</sub>-C g VS<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (Sullivan y Miller, 2005 citados por Moreno y Moral, 2008); y &lt;= 8 mg C-CO<sub>2</sub>/g de materia orgánica por día (INN-Chile, 2004)</p>
		<p>Prueba SOLVITA® (Thompson y col., 2001)</p>	<p>Para CO<sub>2</sub> escala colorimétrica: 7-8 (equivalente a &lt; 5 mg CO<sub>2</sub>-Cg<sup>-1</sup> – compost (Moreno y Moral, 2008)</p>
<p>Parámetros bioquímicos de la actividad microbiana</p>	<p>Estos parámetros complementan los test de respirometría, así por ejemplo la concentración de ATP, que se correlaciona bastante bien con la evolución de la temperatura, y por otra parte la actividad de enzimas hidrolíticas, tales como la fosfatasa alcalina, amilasa, invertasa, catalasa, y exoenzimas como las celulasas, hemicelulasas, proteasas, lipasas, que parecen correlacionarse con la variación de la temperatura durante el compostaje, descendiendo a medida que el compost se estabiliza (Moreno y Moral, 2008).</p>	<p>Determinación de ATP</p>	<p>Queda estabilizada en niveles mínimos (Pascual, 1992)</p>
		<p>Actividades enzimáticas. Determinación de fosfatasas, deshidrogenasas, proteasas, celulasas, peroxidases. Método TMECC 05.04 (Thompson y col., 2001)</p>	<p>Debe disminuir su actividad (Pascual, 1992). Actividad deshidrogenasa &lt; 35 mg TPF g<sup>-1</sup> (Tiquia, 2005 citado por Moreno y Moral, 2008).</p>
<p>Análisis de constituyentes fácilmente biodegradables</p>	<p>Moreno y Moral (2008), refieren que para Morel y col (1985), el parámetro que caracteriza en mayor medida el estado de maduración del compost es la relación existente entre el carbono orgánico total (Cot) y el porcentaje de carbohidratos solubles en agua caliente (PHs) por medio de un índice de degradabilidad (ID). También reseñan el método propuesto por Dinel y col. (1996) sobre la extracción</p>	<p>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)</p>	<p>ID &lt; 2 (García y col., 1992 citados por Moreno y Moral, 2008)</p>
		<p>Lípidos extraíbles, definidos por la relación DEE (lípidos extraíbles en dietil-éter / CHCl<sub>3</sub> (Cloroformo) (Dinel y col., 1996 citados por Moreno y Moral, 2008)</p>	<p>DEE/CHCl<sub>3</sub> &lt; 2,5 (Dinel y col., 1996 citados por Moreno y Moral, 2008)</p>

	secuencial de los lípidos extraíbles en dietil-éter (DEE) y cloroformo (CHCl <sub>3</sub> ).		
Determinación de distintas fuentes de nutrientes		<p>Determinación de Oligosacáridos, polisacáridos, almidón, hemicelulosa, celulosa, lignina. (Rivero, 1999), existen distintas metodologías</p> <p>Faccionamiento de la materia orgánica, método TMECC 05.07 (Thompson y col., 2001)</p> <p>Determinación del Índice de Humificación (método de Sequi y col. 1986)<sup>2</sup>: <math>IH = (CNH/CSH) \times 100</math></p> <p>Donde: CNH (carbono unido a las sustancias no húmicas, que son compuestos simples tales como carbohidratos, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, aminoácidos, etileno y sulfuro de hidrógeno que son fácilmente degradados por los microorganismos; y</p> <p>CSH (Carbono unido a las sustancias húmicas, que son moléculas orgánicas complejas)</p>	<p>Polisacáridos &lt; 30-50 mg glucocidos/g. peso seco y reducción de azúcares de 35% (Sztern y Pravia, 1999)</p> <p>IH ≤ 1, compost bien maduro (en promedio 0,32 como óptimo)</p> <p>IH = 2 – 1, compost parcialmente maduro</p> <p>IH &gt; 2, compost inmaduro (Rivero, 1999).</p>

- Según Odlare (2005), la Biomasa microbiana es un componente importante del ecosistema del suelo. Debido a la falta de métodos adecuados y suficientemente estandarizados en la microbiología del suelo, la estimación de la biomasa microbiana fue descuidada. Sin embargo, varias técnicas para medir la biomasa microbiana han surgido durante las últimas tres décadas:
  - 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 et al., (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. Odlare (2005), determinó la SIR utilizando la mezcla de un sustrato que consistió en glucosa, sulfato de amonio, fosfato de potasio y polvo de talco para cada muestra de suelo. Los parámetros SIR y la tasa de crecimiento específico ( $\mu$ SIR) fueron calculados a partir de los datos por regresión no lineal de acuerdo con la ecuación sugerida por Stenström et al. (1998). SIR se definió como la suma de actividad de los microorganismos activos (es decir el cultivo) y latentes (es decir, no de crecimiento).

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).

### 3) Estudio de la materia orgánica “humificada”. (Cuadro 5)

**Cuadro 5.** Parámetros para el estudio de la materia orgánica “humificada”. Metodologías para sustratos y enmiendas orgánicas.

Indicador	Consideraciones	Método (Fuente)	Condiciones madurez (Fuente)
Carbono extraíble (C “húmico”) <sup>1</sup>	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 13C (NMR), entre otros— ha permitido avanzar ampliamente en el estudio y comprensión de la estructura de los AHs (Mosquera <i>et al.</i> , 2007; Meissl <i>et al.</i> , 2008).	<p><b>Determinación de la Relación de humificación (RH):</b>  <math>RH = (CSH/Corg) \times 100</math>                      (Rivero, 1999)</p> <p><math>\%RH = ((\%CAH + \%CAF) \times 100) / \%CTotal</math>                      (Govi y col., 1993)</p> <p>Moreno y Moral (2008) reseñan que el concepto de humificación del compost no se puede adscribir al mismo tipo de proceso que ocurre en el medio natural, la expresión sustancias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas) solo se puede entender desde un punto de vista exclusivamente operacional, por ello, el porcentaje de C “húmico” total (Cex/Cot) no puede considerarse como un índice adecuado de humificación (maduración) de la materia</p>	%RH > 35%, compost maduro (Govi y col., 1993)
Relación AH/AF	industrial 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-	<b>La relación AH/AF</b> puede considerarse como un índice de “humificación” y constituye un parámetro importante para deducir el grado de madurez del compost (Moreno y Moral, 2008) <sup>2</sup>	AH/AF > 1,9 (Iglesias Jiménez y Pérez García, 1992b, citados por Moreno y Moral, 2008).
Técnicas instrumentales avanzadas	visible, infrarroja con transformadas de Fourier (FTIR), resonancia magnética nuclear 13C (NMR), entre otros— ha permitido avanzar ampliamente en el estudio y comprensión de la estructura de los AHs (Mosquera <i>et al.</i> , 2007; Meissl <i>et al.</i> , 2008).  Se han seguido las mismas técnicas empleadas en el estudio del humus del suelo: técnicas espectroscópicas de fluorescencia, FTIR, ESR, 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	<p><b>Espectroscopia de fluorescencia</b>                      Da una visión global de todas las especies fluorescentes existentes dentro de un rango espectral determinado (como una huella dactilar). (Moreno y Moral, 2008)                      Es una técnica basada en la emisión de luz asociada con el movimiento de electrones desde un estado excitado al estado fundamental. Las bandas de fluorescencia de sustancias “húmicas” son anchas y todavía no están suficientemente caracterizadas. Senesu y col. (1991) citados por Moreno y Moral (2008), refieren que las propiedades fluorescentes de las sustancias húmicas proporcionan criterios adecuados para su diferenciación y clasificación.</p> <p><b>Espectroscopia de resonancia magnética nuclear de sólidos.</b></p>	Las propiedades fluorescentes de las sustancias húmicas proporcionan unos criterios adecuados para su diferenciación y clasificación (Senesi y col., 1991, citados por Moreno y Moral, 2008).  Se produce un incremento de la región correspondiente a carbono alifático, una disminución de O-alkil y un

<p>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 (Moreno y Moral, 2008).</p> <p>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).</p> <p>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, espectroscopía de fluorescencia, resonancia de spin electrón, microscopía electrónica). La combinación demuestra la presencia de las distintas estructuras o grupos funcionales.</p>	<p>Analiza distintos espectros (carbono alifático, grupos metoxilos, O-alkil, di-O-alkil, carbono aromático, carbono fenólico , grupos carbonilo, grupos carboxilos) (Moreno y Moral, 2008)</p> <p>De acuerdo a Zambrano y col. (2011), esta técnica ofrece una descripción de las principales clases de grupos que contienen carbono en su estructura, de una manera simple ha contribuido considerablemente a la información en cuanto a la naturaleza de AHs.</p>	<p>pequeño incremento de carbono aromático (Moreno y Moral, 2008)</p>
	<p><b>Espectroscopia de infrarrojos mediante transformada de Fourier (FT-IR).</b> Se basa en la interacción de la luz infrarroja con la materia, siendo esta técnica muy sensible a diferentes grupos funcionales químicos presentes en las moléculas (Moreno y Moral, 2008)</p>	<p>Los espectros de infrarrojo de sustancias húmicas o de compost contienen una variedad de bandas que son características de estructuras específicas de las moléculas que las componen, tanto moléculas orgánicas como inorgánicas (Moreno y Moral, 2008)</p>
	<p><b>Técnicas de descomposición térmica:</b> Termogravimetría (TG), termogravimetría derivativa (DTG) y análisis térmico diferencial (DTA). (Moreno y Moral, 2008)</p> <p>Estas técnicas han sido aplicadas durante muchos años con el fin de elucidar las características estructurales de la materia orgánica natural. El DTA se basa en los cambios de temperatura que se producen en una pequeña muestra en comparación con una muestra inerte sujeta al mismo programa de temperaturas (Moreno y Moral, 2008).</p>	<p>Las curvas DTA proporcionan una importante información sobre las características químicas de la muestra y su evolución durante el proceso de compostaje (Moreno y Moral, 2008)</p>
	<p><b>Métodos colorimétricos,</b> se basan en la determinación de la densidad óptica de un extracto en pirofosfato de las sustancias húmicas a lo largo del proceso. Otro método similar es el cálculo de la absorbancia del extracto alcalino a 460 y 660 nm (E4/E6), cuya relación ha sido utilizada como índice de madurez (Departamento de Agricultura de la DGA, 2001).</p>	<p>Se pone de manifiesto una curva típica de variación que puede señalar la aparición de un "umbral de madurez" por el cambio de pendiente de la curva de densidad óptica frente al tiempo (Departamento de Agricultura de la DGA, 2001).</p>

		<b>Cromatografía circular</b> , consiste en aislar las sustancias húmicas extraídas de un compost y colocarlas sobre un papel de filtro, pretratado con nitrato de plata; los compuestos poco polimerizados son muy móviles y se alejarán del centro. (Departamento de Agricultura de la DGA, 2001).	Cuando el compost esté maduro, la mancha oscura que aparecerá en el papel se hará más intensa alrededor del centro y más clara en los bordes; si dicho producto no es estable, el centro aparecerá claro y el borde oscuro (Departamento de Agricultura de la DGA, 2001).
Transformaciones de la MO, por medio de liberación COV	La pirolisis del compost genera un amplio abanico de productos con diversas propiedades químicas relacionadas con su origen bioquímico (compuestos alifáticos, metoxifenoles, derivados de lignina, cetonas cíclicas y furanos derivados de polisacáridos, moléculas con nitrógeno provenientes de proteínas y ácidos orgánicos, etc.) (Moreno y Moral, 2008).	Pirólisis analítica y termoquimiolisis con TMAH. La pirolisis está acoplada a una cromatografía de gases (GC) y luego a una espectroscopia de masas (MS) (Moreno y Moral, 2008)  Extracto de ácidos grasos volátiles por cromatografía de gases, Método TMECC 05.10 (Thompson y col., 2001)	Py-GC-MS implica una separación cromatográfica de los productos de la pirolisis y datos de los espectros de masas para cada componente, es una metodología incipiente (Moreno y Moral, 2008)
		Sólidos Volátiles biodegradables TMECC 05.01 (Thompson y col., 2001)	Utilizado para determinar contenidos de cenizas y sólidos volátiles, debe disminuir (Thompson y col., 2001)

1. La muestra es extraída con una mezcla de pirofosfato - hidróxido de sodio. Los ácidos húmicos (AH) se obtienen por precipitación con ácido sulfúrico a pH 1-2 del extracto alcalino y el sobrenadante se hace percolar por una columna de polivinilpirrolidona (PVP) para la separación de ácidos fúlvicos (AF) y sustancias no humificadas (SNH). La relación del carbono no humificado al carbono humificado es el índice de humificación (Sequi y col., 1986).
2. 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.

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).

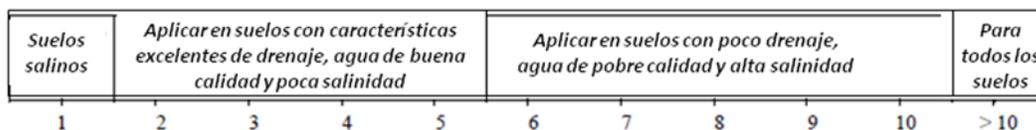
#### 4) Indicadores químicos de la madurez.

Según Moreno y Moral (2008):

- i) Relación C/N (fase sólida, Cot/Not).
- ii) Relación C/N (fase soluble en agua, Cw/Nw, Cw/Not)
- iii) Carbono orgánico soluble en agua (Cw).
- iv) Capacidad de intercambio catiónico (CIC).
- v) Relación  $N-NH_4^+/N-NO_3^-$
- vi) Presencia de compuestos reductores (amoníaco).

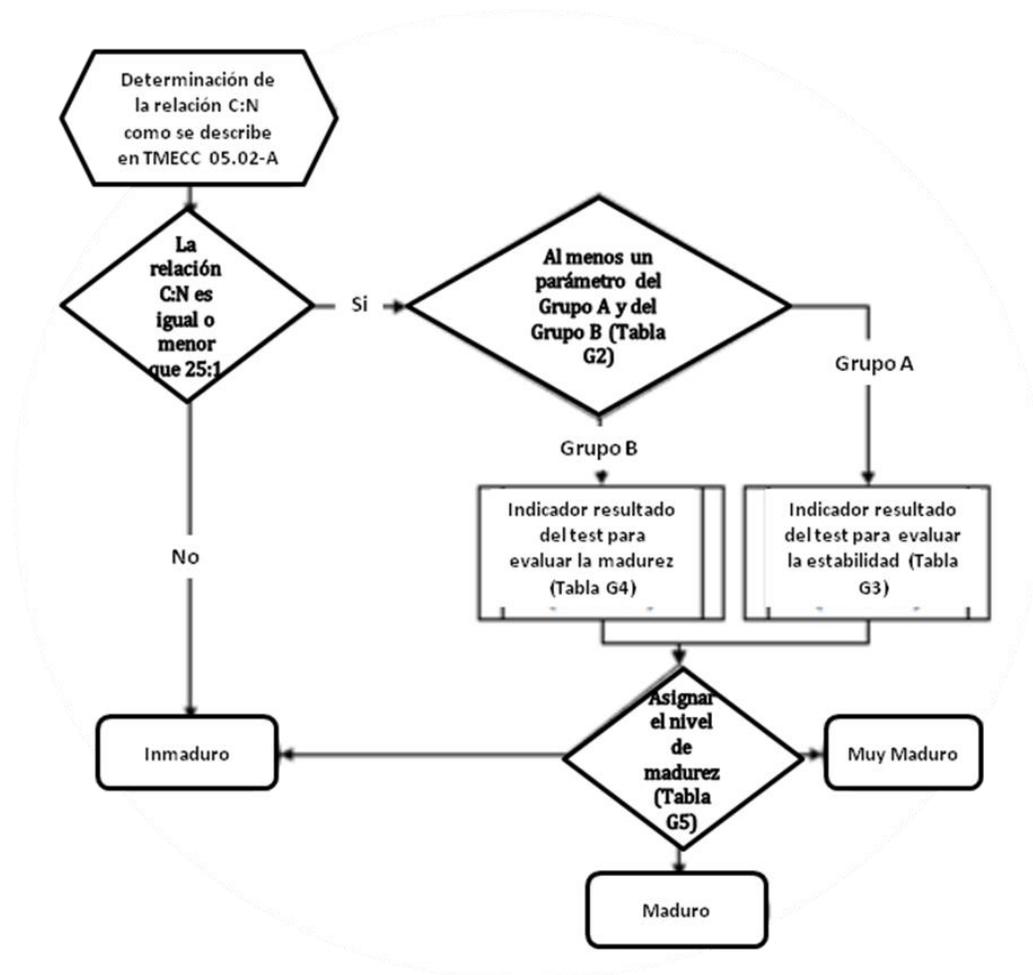
Thompson y col. (2001), proponen los siguientes indicadores: C/N, C/P, amonio/nitrato, C/S, Cd/Zn, así como un índice agrícola AI y un índice de madurez CCQC (California Compost Quality Council).

$AI = (N + P_2O_5 + K_2O)/(Na + Cl_2)$ , donde según sus valores se hacen recomendaciones para aplicar el compost en distintos tipos de suelos (de acuerdo al drenaje, salinidad, agua), tal y como se aprecia en la Figura 5.



**Figura 5.** Índice Agrícola interpretación y recomendaciones para las condiciones edáficas más comunes (Adaptado de Thompson y col., 2001).

El índice de madurez CCQC, 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), como se puede apreciar en la Figura 6.



**Figura 6.** Proceso de evaluación de la madurez de un compost (Adaptado de Thompson y col., 2001).

### 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). Algunos análisis biológicos:

i) Germinación y elongación de raíces (índice de germinación, IG) -5 días-.

Se determina mediante el Test de fitotoxicidad, el cual mide el Índice de Germinación – IG- (test con *Lepidium sativum* L.) (Zucconi, 1991, citado por Villalba, 2005)

$$\% = (A * B)/100$$

A = longitud media de las raíces. B = número de semillas germinadas

Este método está descrito en TMECC 05.05-A y uno muy similar el TMECC 05.05-B sobre germinación y crecimiento radicular (Thompson y col., 2001).

De acuerdo a este test, un compost se dice que está maduro cuando:

GI  $\geq$  80% (Zucconi y col., 1981b, citado por Moreno y Moral, 2008)

Y en el caso del test sobre germinación y crecimiento radicular, mide la longitud relativa de las semillas comparadas con un control (Thompson y col., 2001).

ii) Siembra directa.

Se realiza mediante pruebas de campo, que consiste en la siembra de distintos cultivos en campo o invernaderos utilizando enmiendas o sustratos y evaluando sus resultados.

Se determina si el compost está maduro mediante la evaluación de la producción del cultivo, desarrollo de biomasa y comparando con estándares previos y controles.

iii) El test “Z” de Minnesota sobre lombrices de tierra.

Métodos TMECC 05.05-C (Thompson y col., 2001)

Esta misma fuente define al compost como estable, si el peso de las lombrices es  $<$  40% comparado con el control sin celulosa.

## **B. Disponibilidad de nutrientes (Fertilidad).**

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, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O). A los productos con menos del 5 por ciento de nutrientes combinados, se les denomina fuente de nutrientes.

El término fertilizantes orgánicos se utiliza con frecuencia de manera incorrecta para describir las fuentes de nutrientes que contienen menos del 5 por ciento de al menos uno de los tres elementos primarios. En este sentido, algunos materiales de origen animal, (tales como el guano, la harina de hueso, la harina de pescado y la sangre) son verdaderos fertilizantes pero las fuentes orgánicas más comúnmente usadas, como el estiércol de establo, estiércol con orina, materia orgánica descompuesta (compost), cieno de alcantarillado, no lo son. El material orgánico puede ser usado para incrementar la cantidad

de materia orgánica en el suelo y, por ende, aumentar la capacidad de retención de agua, incrementar la capacidad del intercambio catiónico y mejorar las condiciones físicas del suelo.

En conversaciones sobre el concepto de fertilidad con el profesor Stalin Torres (de la Facultad de Agronomía de la UCV en Maracay), éste plantea que debiese ser más amplio y no solo tomar en cuenta los macronutrientes, sino 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.

Como señalamos anteriormente, según la FAO (2002) 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 adsorción), la reacción del suelo y la ausencia de los elementos tóxicos (por ejemplo: aluminio libre).

Mogollón y Martínez (2009), señalan que la actividad biológica es considerada como un índice de la fertilidad de los suelos, estos autores utilizaron en sus estudios la determinación del cociente metabólico ( $qCO_2$ ), que relaciona la respiración ( $C-CO_2$ ) y la cantidad de C-biomasa por unidad de tiempo, fue descrito por primera vez por Anderson y Domsch (1985) como un índice sencillo de la actividad biológica del suelo; está basado en la hipótesis de la optimización energética de los ecosistemas, derivada de la teoría ecológica de Odum (1985) sobre la sucesión de los ecosistemas y la eficiencia metabólica de la microflora edáfica. Así, en ecosistemas jóvenes (inmaduros) el valor de  $qCO_2$  debe ser elevado, y es bajo al referirse a ecosistemas maduros; es decir, la relación entre la respiración total y la biomasa total de un ecosistema debe disminuir progresivamente a medida que el ecosistema alcanza el estado de equilibrio o de estabilidad, salvo que las condiciones sean adversas para el buen funcionamiento del mismo. Valores más altos de  $qCO_2$  podrían indicar una menor calidad de los sustratos y una disminución en la eficiencia de los microorganismos.

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.

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, que se utilizan para aplicar a las semillas o al suelo (como sustratos o enmiendas) 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 parámetros biológicos que nos permiten evaluar la disponibilidad de nutrientes de una enmienda o sustrato son:

**a) Determinaciones de microorganismos presentes:**

Así, de acuerdo a lo antes señalado, existen distintas metodologías que nos permiten determinar la presencia de microorganismos específicos, los cuales son indicadores de distintos procesos bioquímicos. Según Galindo (2005), los métodos tradicionales de identificación de microorganismos se basan fundamentalmente en evaluaciones bioquímicas (tinción Gram y uso de medios nutritivos específicos de acuerdo a cada caso), que demoran la identificación definitiva varias semanas y en muchos casos es casi imposible realizar la identificación correspondiente de la especie; en cambio, la identificación molecular, se sustenta en la alta especificidad de las secuencias de ADN. Esta técnica representa el patrón de referencia de las identificaciones genotípicas, con la mayor base de datos disponible en la actualidad, con más de 20 millardos de secuencias disponibles (GenBank/Entrez, [www3.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/](http://www3.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/)).

Estas distintas metodologías nos permiten identificar los distintos microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV) que nos pueden servir como indicadores de los procesos con que se relacionan.

De acuerdo con Puente y col. (2009), los microorganismos promotores del crecimiento vegetal conocidos hoy como PGPM (Plant Growth-Promoting Microorganism), se definen como microorganismos habitantes de la rizósfera que estimulan significativamente el crecimiento de las plantas. Los mecanismos por los cuales los PGPM ejercen efectos positivos sobre las plantas son numerosos, entre ellos se pueden mencionar la fijación de N<sub>2</sub> –Fijación Biológica de Nitrógeno, FBN- (*Azospirillum*), la solubilización de fósforo (P) (*Pseudomonas sp.*), la capacidad de producir ácidos orgánicos (ácido oxálico, fumárico, cítrico) y fosfatasas facilitando la solubilidad del P y otros nutrientes. Además, la promoción del crecimiento de las plantas puede asociarse a la producción de fitohormonas y a la protección contra hongos patógenos (*Trichoderma*). En este orden de ideas, en el Cuadro 6 se aprecian algunos de los microorganismos más conocidos.

**Cuadro 6.** Listado de microorganismos PGPM más estudiados (Puente y col. 2009).

Género	Especies reconocidas	Hábitat	Mecanismos
Bacterias:			

<i>Azorhizobium</i>	<i>caulinodans</i>	Endófito	FBN, solubilización de P
<i>Azospirillum</i>	<i>amazonense, brasilense, irakense, lipoferum</i>	Rizósfera, endófito.	FBN, producción de fitohormonas, incremento en la absorción de nutrientes, producción de sideróforos, biocontrol y producción de vitaminas.
<i>Azotobacter</i>	<i>armeniacus, chroococcum, vinelandii</i>	Rizósfera	FBN, producción de fitohormonas, solubilización de P, producción de vitaminas y sideróforos.
<i>Bacillus</i>	<i>amyliloliquefaciens, subtilis</i>	Rizósfera	Promoción del crecimiento vegetal, biocontrol.
<i>Bradyrhizobium</i>	<i>japonicum</i>	Rizósfera, endófito.	FBN, producción de fitohormonas y sideróforos.
<i>Herbaspirillum</i>	<i>seropedicae</i>		FBN y producción de fitohormonas.
<i>Paenobacillus</i>	<i>polymixa</i>	Rizósfera, endófito.	FBN y producción de fitohormonas.
<i>Pseudomonas</i>	<i>fluorescens, aurantiaca, putida</i>	Rizósfera	Producción de fitohormonas, incremento en la absorción de nutrientes y producción de sideróforos.
<i>Rhizobium</i>	<i>leguminosarum, meliloti, phaseoli, sp.</i>	Endófito.	FBN, producción de fitohormonas, incremento en la absorción de nutrientes, solubilización de P, producción de vitaminas y sideróforos.
Hongos:			
<i>Penicillium</i>	<i>bilai</i>	Rizósfera	Solubilización de P
<i>Glomus</i>	<i>intraradicis</i>	Endosimbionte rizósfera	Incrementos en la absorción de P

Fuente: (Dobbelaere S.; Vanderleyden, J. and Okon, Y., 2003. Critical Reviews in Plant Sciences. 22 (2):107-149), citado por Puente y col., 2009.

Por otra parte, en la naturaleza están ocurriendo constantemente diversos ciclos de elementos tales como nitrógeno, azufre, fósforo, oxígeno y carbono. Ellos se llevan a cabo principalmente a través de actividades bioquímicas de microorganismos del suelo (Rocha y col. 1999).

Entre otras consideraciones sobre los distintos mecanismos mediante los cuales los MPCV operan, tenemos:

- **Microorganismos Solubilizadores de P.**

El compost realizado a partir de residuos domésticos separados en la fuente contiene cantidades relativamente altas de P disponible y varios estudios han demostrado que la

aplicación de compost aumenta significativamente el P disponible en el suelo (Steffens et al, 1996;.. Bosch et al, 1997; Ebertseder, 1997; Richter et al., 1997; citados por Odlare, 2005). Se pueden identificar distintos microorganismos entre los señalados en el Cuadro 6.

#### - **Microorganismos Simbiontes.**

La agricultura moderna e intensiva en los países subdesarrollados debe tender a combinar la utilización de cantidades reducidas de fertilizantes minerales con biofertilizantes de origen microbiano, debido a que los procesos microbiológicos implicados en su acción ofrecen ventajas al ser tecnologías limpias no contaminantes del medio ambiente. Así, los hongos micorrizogenos arbusculares (HMA), presentes en cerca del 80% de los cultivos agrícolas, constituyen uno de los biofertilizantes que deben ser considerados en el diseño de sistemas agrícolas sostenibles pues, además de ser componentes inseparables de los agroecosistemas donde tienen diferentes funciones en su asociación con las plantas, pueden constituir sustitutos biológicos de los fertilizantes minerales.

Las micorrizas arbusculares transportan varios elementos desde el suelo hasta la planta hospedadora. La simbiosis mejora la captación de fósforo, calcio, cobre, azufre, zinc y hierro, y esto es especialmente importante en el caso de los elementos inmóviles como fósforo, zinc y cobre, ya que su disponibilidad para la planta es limitada. A su vez, la mejora de la nutrición fosforada induce el crecimiento radical, aumenta la capacidad de absorción de agua y de nutrientes del sistema radical y afecta a procesos celulares en raíces (FENIAGRO, 2010).

Algunos microorganismos son capaces de fijar el nitrógeno molecular con lo que son compensadas las pérdidas por denitrificación, existen dos mecanismos de fijación de nitrógeno: La fijación simbiótica y no simbiótica. En el caso de la fijación simbiótica, es la consecuencia de la asociación íntima entre una bacteria y una planta, donde aisladamente ninguno de los participantes de esta simbiosis es capaz de fijar nitrógeno molecular, tal es el caso de las leguminosas con el género *Rhizobium* (Sztern y Pravia, 1999).

Por otra parte, de acuerdo a Bautista y Valdés (2008), el actinomiceto *Frankia*, establece simbiosis en las raíces de 25 géneros de plantas distribuidas en 8 familias que son llamadas colectivamente plantas actinorrízicas y que habitan en muy variados ecosistemas, la asociación se llama Simbiosis Actinorrízica y promueve la fijación biológica de nitrógeno.

#### - **Microorganismos Fijadores de nitrógeno.**

La otra forma de fijación del nitrógeno, aparte de la simbiótica ya explicada, es la no simbiótica, la cual es realizada fundamentalmente por algas verdeazuladas de los géneros *Anabaena* y *Nostoc* y por las bacterias aerobias estrictas de los géneros *Azotobacter* y *Beijerinckia* (Sztern y Pravia, 1999).

#### **b) Pruebas de campo.**

Las pruebas de campo nos permiten evaluar si el sustrato o enmienda utilizada contribuye con la disponibilidad de nutrientes, a la vez obtener información sobre los efectos ambientales a largo plazo, y por otra parte, convencer a los agricultores de las bondades en el uso de residuos orgánicos. Existen métodos como el (ORC) Organic Residues in Circulation, que consiste en la aplicación de distintos tipos de enmiendas (residuos orgánicos) al suelo y evaluar sus efectos en la disponibilidad de nutrientes en el suelo agrícola (Odlare, 2005).

En estudios de campo realizados por Márquez y col. (2008), las variables evaluadas fueron altura de planta, floración, rendimiento y calidad de fruto (peso de fruto, diámetro polar, diámetro ecuatorial, número de lóculos, espesor de pulpa y sólidos solubles). Para determinar las dinámicas de las variables altura y floración, evaluadas semanalmente, se realizó un análisis de regresión lineal. Para rendimiento y calidad de fruto se realizaron análisis de varianza y en su caso comparación de medias (DMS, 5%).

### **C. 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 agrónomicamente útiles; y características homogéneas y uniformes.

Al revisar la normativa legal existente, en cuanto a parámetros biológicos relacionados con la inocuidad del compost tenemos:

#### **- Contaminación por malezas**

Según INN-Chile (2004), un compost maduro debe de germinar un máximo de 2 propágulos de malezas por litro de compost, en cámara de crecimiento, por siete días.

Para la determinación de semillas de malezas viables, de acuerdo a Thompson y col. (2001), se utiliza el Método TMECC (05.09) de aclarado de escudos, método con base a dilución de musgo turba.

#### **- Contaminación por compuestos orgánicos.**

Para estas determinaciones, de acuerdo a Thompson y col. (2001), se utiliza el Método TMECC (06.00), para análisis químicos de contaminantes orgánicos, los cuales consideran la realización de análisis de una serie compuestos orgánicos para identificar herbicidas, dioxinas y furanos, pesticidas organoclorados, bifenilos policlorados, compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles.

Estos análisis se realizan de acuerdo al uso que se le dé a la enmienda o al sustrato y considerando con qué materiales fue elaborado.

#### **- Descarte de patógenos:**

De acuerdo a Moreno y Moral (2008), muchos materiales que se utilizan para compostaje pueden presentar virus, bacterias y hongos patógenos como parte de su microbiota natural. Gran parte de estos patógenos son eliminados durante el compostaje, por esta razón se considera actualmente un importante procedimiento para su control.

Según los mismos autores, la eliminación de patógenos durante el compostaje es el resultado de muchas y complejas interacciones microbianas entre las que destacan las siguientes:

- Las altas temperaturas generadas durante la fase termófila del proceso.
- La producción de compuestos antimicrobianos tales como los compuestos fenólicos producidos durante la degradación de material lignocelulósico.
- La actividad lítica de las enzimas microbianas.
- La producción de antibióticos por parte de antagonistas microbianos que reducen la capacidad de supervivencia y el crecimiento de los patógenos.
- La colonización del compost con diferentes microorganismos que compiten con los patógenos por los nutrientes.
- La pérdida natural de la viabilidad del patógeno con el transcurso del tiempo.

La causa considerada de mayor importancia para la eliminación de microorganismos patógenos es el aumento de temperatura, por esta razón, para asegurar la eliminación de patógenos, no sólo es necesario alcanzar altas temperaturas durante el proceso, sino que es imprescindible que sus niveles se prolonguen por cierto tiempo, así, la normativa estadounidense (EPA), recomienda que al menos se alcancen 55°C durante un mínimo de 3 días (Moreno y Moral, 2008).

Román y col. (2013), señalan que como consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas durante la fase termófila, se destruyen las bacterias patógenas y parásitos presentes en los residuos de partida. En esta fase se da la higienización del material. En el Cuadro 7, se presentan datos de tiempos y temperaturas necesarios para la eliminación de algunos patógenos, y en el Cuadro 8, los límites microbiológicos según diferentes normas.

**Cuadro 7.** Tiempos y temperaturas necesarios para la eliminación de algunos patógenos (Román y col. 2013).

Microorganismo	Temperatura	Tiempo de exposición
<i>Salmonella spp</i>	55°C	1 hora
	65°C	15-20 minutos
<i>Escherichia coli</i>	55°C	1 hora
	65°C	15-20 minutos
<i>Brucella abortus</i>	55°C	1 hora
	62°C	3 minutos
<i>Parvovirus bovino</i>	55°C	1 hora
Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	55°C	3 días

Fuente: Jones and Martin, 2003

**Cuadro 8.** Límites microbiológicos según diferentes normas (Román y col. 2013).

Microorganismo	Limite de Tolerancia				
	Chile NCh 2880/04		EU European Union	Colombia 5167/04	Mexico NTEA-006-SMA- RS-2006.
	A	B			
Coliformes fecales	<1000 NMP/g	<2000 NMP/g	< 1 x 10 <sup>3</sup> NMP/g	<1000 ufc/g enterobacterias totals	<1000 NMP/g
Salmonella 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
Enterococcus faecalis	-	-	1000 NMP/g	ND	-
Huevos viables de Helminto / Ascaris	Ausente en 1 g	Hasta 1 en 1g	Ausente en 1 g	ND	<10 /g bs
Hongos fitopatogenos	-	-	Algunos paises incluyen Plasmodiophora brassicae	Ausente segun especie vegetal	Ausente

NMP= Número mas probable, ufc= unidades formadoras de colonias, bs= base seca

○ **Mesofauna (Nemátodos) microartropodos**

Para estas determinaciones, de acuerdo a Thompson y col. (2001), se utiliza el Método TMECC (07.04), para helmintos parásitos, determina huevos viables de *Ascaris* en compost.

De acuerdo a INN-Chile (2004), deben de estar ausentes hasta en 1 g de compost los huevos de Helmintos / *Ascaris*, al igual que para la normativa de la Unión Europea, de acuerdo a Román y col. (2013), tal y como se aprecia en el Cuadro 6.

○ **Microorganismos:**

- **Bacterias:**

Para estas determinaciones, de acuerdo a Thompson y col. (2001), se utiliza el Método TMECC (07.00), sobre pruebas de patógenos, tal y como se indicó en la Figura 8, considerando para bacterias coliformes (07.01-1), entre los cuales están los métodos para determinar Coliformes totales (07.01-4), Coliformes fecales (07.01-6), *Escherichia coli* (07.01-8). Por otra parte los métodos para determinar *Salmonella* (07.02-1), *Enterococci* (07.03-1), Elminetos parásitos (07.04-1), y para virus (07.05-1).

En el Cuadro 8, se aprecian las especificaciones para definir la madurez de un compost de acuerdo a la normativa chilena, la colombiana, la mexicana y la de la Unión Europea.

- **Hongos:**

La mayor parte de los estudios que se han realizado sobre los sustratos que contienen algún tipo de turba o mezcla de éstas como único componente orgánico, muestran que son

conductivos a las enfermedades de origen edáfico, particularmente si son previamente desinfectados con vapor de agua, tratamiento generalmente necesario en sustratos que vayan a ser reutilizados para eliminar posibles patógenos. En este sentido, en la búsqueda que se ha realizado en el mundo de nuevos sustratos, obtenidos mediante compostado de restos orgánicos, se ha encontrado en no pocas ocasiones, la capacidad de reducir o suprimir la incidencia de determinadas enfermedades en las plantas cuando estos sustratos se emplean como medio de cultivo, así, que esta propiedad constituye una interesante alternativa en el control de los fitopatógenos del suelo, realizados por agentes de biocontrol y mediante distintos mecanismos de acción que generalmente se dan de forma simultánea, tales como (Santos, Diáñez y Tello, 2006):

- La inhibición de patógenos por compuestos antimicrobianos (antibiosis).
- La competición por el hierro mediante la producción de sideróforos.
- La competición por el espacio a colonizar y los nutrientes suministrados por semillas y raíces.
- La inducción de mecanismos de resistencia de las plantas.
- La inactivación de los factores de germinación de los patógenos presentes en los exudados de las semillas y raíces.
- La degradación de factores de patogenicidad de los patógenos, tales como toxinas.
- El parasitismo que entraña la producción de enzimas extracelulares (como quitinasas o  $\beta$  1-3 glucanasa) que degradan y rompen las paredes celulares de los patógenos.

Los mismos autores señalan que la composición final en géneros fúngicos de un compost está condicionada por las características químicas del material de partida del proceso compostado; así, en los compost de corteza de árboles, material rico en lignocelulosa, predomina *Trichoderma spp.*, mientras que en los que los materiales de partida son ricos en azúcares y pobres en celulosas, como sucede con el orujo de vid, predominan *Penicillium spp.* y *Aspergillus spp.*

Como se apreció en el Cuadro 8, los hongos fitopatógenos deben estar ausentes, sin embargo, se reportan estas dos metodologías:

- Test de *Chaetomium gracilis*, si el N° de cuerpos fructíferos < 300/25 ml de medio, el compost está maduro (Mathur y col., 1993).
- Test de *Verticillium* (su crecimiento se inhibe en compost inmaduros) (Mathur y col., 1993).

##### **5) Experiencias sobre la definición de normas que regulen la calidad de las enmiendas y sustratos orgánicos, en especial para el compost.**

En la búsqueda por regular la calidad de los compost, bien sea su uso como sustrato o enmienda orgánica, a la vez del aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos de

naturaleza orgánica, se han sucedido una serie de iniciativas en distintos países para normar, así podemos nombrar: La Norma Chilena (INN-Chile, 2004); la Norma Técnica Colombiana (INCOTEC, 2011); la Norma Mexicana (Dirección General de Normas Mexicanas, 2007); la Norma venezolana COVENIN 3836:2004 (COVENIN, 2004); y varias Normas en USA (Thompson y col. 2001).

Por otra parte, Romero y col. (2013), describen la situación en cuanto a normativa para compost en varios países en América Latina y Europa, tales como Brasil, Argentina, Alemania, Austria, Dinamarca, Holanda, Bélgica, Italia, Reino Unido y Suiza, tema sumamente interesante y complejo, digno de un análisis especial.

Los mismos autores señalan que para evaluar los índices de calidad de los compost y su relación con las reglamentaciones existentes en varios países europeos<sup>2</sup>, se han apuntalado cuatro conceptos diferentes, clasificados según qué parámetros determinan las normas, éstos son:

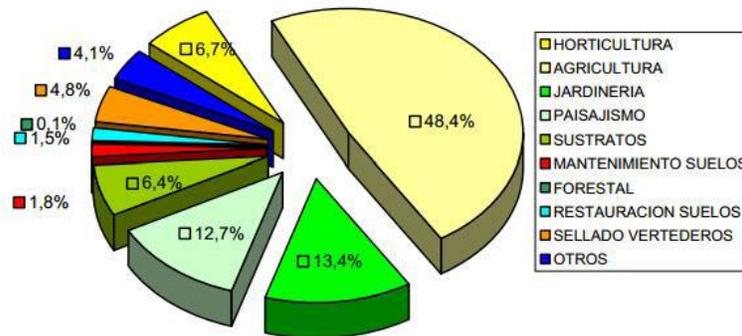
- a) A la entrada del proceso, tipo de residuo y su procedencia.
- b) Durante el proceso de compostaje, para asegurar un control de calidad de la instalación de compostaje, incluyendo las fases de tratamiento y/o la tecnología utilizada, tiempos de residencia y condiciones de control de temperatura y humedad.
- c) Al final del proceso relativas a los productos finales. Estas norman los umbrales límite para los elementos potencialmente tóxicos así como definen las características agronómicas del compost.
- d) Relativas a la calidad de los suelos que se van a regenerar.

En este sentido, en la Figura 7, se aprecian los principales destinos de los compost elaborados, de allí que bien sea como enmiendas o sustratos, las exigencias de calidad de los mismos va a depender de acuerdo a su uso final, tal y como se especifica en la mayoría de las normas antes referidas.

---

<sup>2</sup> La producción anual europea ronda las doce millones de toneladas, Alemania destaca por su elevada producción con casi la mitad del total. Si se suma a esa producción las de Reino Unido, Austria, Italia, Holanda y España se obtiene un 88% del total generado.

### DESTINO DEL COMPOST EN EUROPA (% PESO)



**Figura 7.** Destino del compost en Europa (Romero y col. 2013).

Los distintos destinos posibles dados al compost, nos permiten entender que los parámetros de calidad variarán de acuerdo a este fin, tema bastante amplio que en nuestro país ha sido abordado por un grupo de profesionales que se han reunido ya en cinco talleres denominados “Unificación de métodos y procedimientos analíticos para la determinación de propiedades biológicas en abonos orgánicos y enmiendas: hacia una normalización”, promovidos por el INIA y distintas universidades para estudiar y analizar una propuesta de normas de calidad para sustratos y enmiendas orgánicas y que dio como primer resultado el 1º Congreso Venezolano de Compostaje en octubre del 2014, creándose la Red Venezolana de Compostaje.

#### 6) Conclusiones.

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 nutrientes, requerimientos que pueden cubrirse con un solo material o en combinación con otros, los cuales deberán ser colocados en un contenedor (Cruz y col., 2013).

Una enmienda, es un material orgánico y/o inorgánico que tradicionalmente se le añade a los suelos con la finalidad de mejorarlos, sobre todo desde el punto de vista de su fertilidad (Foth, 1990).

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 (Moreno y Moral, 2008).

La determinación de las propiedades microbiológicas del suelo reveló una mayor sensibilidad que las propiedades químicas del suelo. (Odlare, 2005).

Aplicar un indicador universal de calidad de suelo a diversas situaciones de uso tendría poco sentido. Esto nos lleva al concepto de “más adecuado para el propósito”, y una

aproximación más real sería decidir los parámetros que lo indican. En el caso de los indicadores microbianos de calidad de suelos, lo más razonable sería estudiar varios que nos permitan evaluar las funciones claves del suelo, y la pregunta que sigue es: ¿estamos de acuerdo en cuáles son esas funciones? (Aciego, 2013).

De acuerdo a Moreno y Moral (2008), 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 agrónomicamente útiles; y características homogéneas y uniformes.

## 7) Referencias consultadas.

1. 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 p.
2. Acosta, Y.; Cayama, J.; Gómez, E.; Reyes, N.; Rojas, D. y García, H. (2006). Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias* 6(3):220-227.
3. Armida-Alcudia, Liliana; Espinosa-Victoria, David; Palma-López, David J.; Galvis Spinola, Arturo; Salgado-García, Sergio. (2005). Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de Vertisoles cultivados con caña azucarera. *Terra Latinoamericana*. 23(4):545-551.
4. Astier-Calderon, M.; Maass-Moreno, M. y Etchevers-Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*. 36:605-620.
5. Barrena, R.; Font, X; Gabarrell, X. y Sánchez, A. (2014). Comparación de la calidad de compost de auto compostaje 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.
6. Bautista, A.; Etchevers, J.; del Castillo, R. y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*. 13(2):90-97.
7. Bautista, H. y Valdés, M. (2008). *Frankia* y la simbiosis actinorrízica. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 50(3 y 4):90-102.
8. Boulter, J., Boland, G. y Trevors, J. (2000). Compost: A study of the development process and endproduct potential for supression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 16: 115-134.
9. 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 p.
10. COVENIN (2004). Norma venezolana COVENIN 3836:2004: Directrices para la producción, elaboración, etiquetado y comercialización de alimentos producidos orgánicamente.

11. Corlay, L., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers, J., Echegaray, A. y Santizo, J. (1999). Cinética de grupos microbianos en el proceso de producción de composta y vermicomposta. *Agrociencia*. 33(4):375-380.
12. Costa, F., García, C., Hernández, T. y Polo, A. (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.
13. Cruz, E.; Can, A.; Sandoval, M.; Bugarín, R.; Robles, A. y Juárez, P. (2013). Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias*. 2(2):17-26.
14. Departamento de Agricultura de la DGA (Diputación General de Aragón). (2001). Producción y gestión del compost. Segunda Edición. En: Informaciones Técnicas N° 88. Dirección General de Tecnología Agraria. Servicio de Formación y Extensión Agraria. Centro de Técnicas Agrarias. Departamento de Agricultura. Gobierno de Aragón. Zaragoza, España. 32 p.
15. Dibut, B. (2009). Biofertilizantes como insumos en agricultura sostenible. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical. La Habana, Cuba. Editorial Universitaria. 157 p.
16. Dirección General de Normas Mexicanas. (2007). La Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007. Humus de lombriz (lombricomposta) - Especificaciones y métodos de prueba vermicompost (worm casting) - specifications and test methods.
17. Escobar, N., Mora, J. y Romero, N. (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), p.75 – 88.
18. Estrada, B. y Gómez, J. (2004). La Eco-Biología del suelo. Su análisis y función en nuevos sistemas agrícolas. *Agricultura* 642-643.
19. FAO (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 p.
20. FAO (2002). Los fertilizantes y su uso. Asociación Internacional de la Industria de los fertilizantes. 83 p.
21. FENIAGRO (Federación de Cooperativas Agroindustriales de Nicaragua). (2010). *Proyecto: Biofertilizantes, bioprotectores y biorestauradores Micorrizicos para la producción agroecológica en las fincas de los Productores de café*. Managua, Nicaragua.: FENIAGRO, R.L.
22. Foth, H. (1990). *Fundamentals of soil science*. Eighth edition. John Wiley & Sons editions. 382 p.
23. Galindo, I. (2005). Creación de un laboratorio de referencia nacional para la detección e identificación molecular de microorganismos. *Biotecnología Agrícola*. Serie G, N°6: 58.
24. García, C. y Polo, A. (1999). Estudio de parámetros bioquímicos en procesos de estabilización de residuos orgánicos urbanos. *Residuos*. 51:76-81
25. Gebeyehu, R. y Kibret, M. (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.
26. Gómez, L.; Valdes, A.; Dueñas, G.; Dantin, J.; Chávez, N. y Torres, M. (2012) Contenido de carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana en suelos de la Habana. *Agromonía Mesoamericana*. 23(1):179-187.

27. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2011). Norma Técnica Colombiana NTC 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Segunda actualización. 32 p.
28. 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 p.
29. Márquez, C.; Cano, P. y Rodríguez, N. (2008). Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agric. Téc. Méx.* Vol. 34 Núm. 1. 69-74 p.
30. Mathur, S., Owen, G., Dinel, H. y Schnitzer, M. (1993). Determination of compost biomaturity. Literature review. *Biological Agriculture and Horticulture*. 10:65-68.
31. Mogollón, J. y Martínez, A. (2009). Variación de la actividad biológica del suelo en un transecto altitudinal de la Sierra de San Luis, Estado Falcón. *Agronomía Trop.* 59(4):469-479.
32. Moreno, J. y Moral, R. (2008). Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 570 p.
33. Moreno, J.; Moral, R.; García, J.; Pascual, J. y Bernal, M. (2015). De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad. Edición de la Red Española de Compostaje Ediciones Mundi-Prensa, S.A. 290 p.
34. 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 p.
35. Ojeda, A.; Dominguez, O.; Herrera, T.; Liendo, F. y Leal, E. (2012). Efecto de las emulsiones asfálticas sobre la adsorción de P en un Kandiusults de sabana. Memorias del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y del XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
36. 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.
37. Paul, E. (2007). Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry. Third edition. Academic Press in an imprint of ELSEVIER. USA. 582 p.
38. Puente, M.; García, J.; Rubio, E. y Peticari, A. (2009). Microorganismos promotores del crecimiento vegetal empleados como inoculantes en trigo. *Revista Horizonte A. Magazine de las ciencias agrarias*. 6(23):14-17.
39. Puerta, C.; Russián, T. y Ruíz, C. (2012). Producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en sustratos orgánicos a base de mezclas con fibra de coco. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (2): 298-306.
40. Rebollido, R.; Martínez, J.; Aguilera, Y.; Melchor, K.; Koerner, I. and Stegmann, R. (2008). Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. *Applied Ecology and Environmental Research* **6(3)**: 61-67.
41. Reyes, G. y Vargas, E (1999). Leguminosas: calidad, mineralización y efecto sobre la biomasa microbiana. *Ciencias Naturales y Agropecuarias*. 6(3):305-311.
42. Rivero, C. (1999). Materia orgánica del suelo. *Rev. Fac. Agron.* (Maracay) Alcance **57**:212 p.

43. Rocha, C.; Sajo, C.; Rodriguez, M.; y Concalvez, J. (1999). Laboratorio de Microbiología Ambiental BC. 6384. Guía mimeografiada del Departamento de Biología Celular, División de Ciencias Biológicas, Universidad Simón Bolívar. Venezuela. 76 p.
44. Román, P.; Martínez, M. y Pantoja, A. (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.
45. Romero, A.; Landa, J. y Oven, M. (2013). Experiencias internacionales en el composteo de residuos sólidos orgánicos. Mexico low emissions development program, Contract: AID-523-C-11-00001. USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional). 91 p.
46. Santos, m.; Diánez, F. y Tello, J. (2006). Control biológico de enfermedades mediante residuos compostados. *Vida rural* 13(239): 36-39.
47. Satoshi, F. (2013). Resíduos orgânicos e solos. Formulação, índices de maturação de substratos e compostos orgânicos voláteis alvos. Tese Doutorado apresentada à Universidade Federal de Lavras, Programa Post-Gtaduação em Ciencia do Solo. Minas Gerais. Brasil. 146 p.
48. Sequi, P., M de Nobili, K. Leita, G. y Cercignani, G. (1986). *A new index of humification. Agrochimica*. 30(1-2):174-179.
49. Sztern, D. y Pravia, A. (1999). Manual para la Elaboración de Compost Bases Conceptuales y Procedimientos. Organización Panamericana de la Salud, OPS/HEP/HES/URU/02.99. Unidad de Desarrollo Municipal. 69 p.
50. Thompson, W.; Leege, P.; Millner, P. and Watson, M. (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).
51. 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.
52. Woods End Research Laboratory (2005). Interpreting waste & compost tests. *Journal of the Woods End Research Laboratory*. 2(1):1-6.
53. Zambrano, A.; Contreras, F.; Paolini, J. y Rivero, C. (2011). Caracterización espectroscópica de enmiendas orgánicas. *Avances en Investigación Agropecuaria.AIA* 15(3):67-85.