



Agricultura Razonada®



West Analítica y Servicios S.A. de C.V.
Esmeralda No. 2847 Col. Verde Valle
C.P. 44550 Guadalajara, México
Teléfonos: (33)31231823, 31217925
Sitio Web: www.westanalitica.com.mx

Correos: eaguilar@allabs.com maldana@allabs.com
bzuniga@allabs.com mgarcia@allabs.com

Serie: Bio-productos

COMPOSTAS Y BIO-PRODUCTOS

Contenido:

- 1. Compostas y productos biológicos.**
- 2. Origen de las materias primas.**
- 3. Factores de Calidad de una composta.**
- 4. El concepto de Calidad en bio-productos.**
- 5. Relaciones Indicativas entre elementos.**
- 7. Microorganismos en Te de Composta.**
- 8. Normas.**

1. COMPOSTAS Y PRODUCTOS BIOLÓGICOS.

El compostaje de los residuos orgánicos en la situación actual de México tiene como objetivo el correcto manejo de residuos orgánicos con la finalidad de mantener una adecuada fertilidad de los suelos agrícolas. Al establecer los criterios para valorar la calidad de una composta se debe, por consiguiente, buscar parámetros que valoren el contenido y la estabilidad de las materias orgánicas, los elementos nutrientes, y la posible presencia de químicos tóxicos, así como diversos otros parámetros que se discutirán en el presente artículo. Todos éstos factores nos van a permitir evaluar las ventajas de su fabricación y comercialización, así como el coste social, ambiental y energético que conlleva.

La composta se define como: " *una materia orgánica que ha sido estabilizada hasta transformarse en un producto parecido a las sustancias húmicas del suelo, que está libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, que no atrae insectos o vectores, que puede ser manejada y almacenada sin ocasionar molestia y que es benéfica para el suelo y el crecimiento de las plantas*".

Esta definición abarca toda una serie de aspectos que son imprescindibles para dar a la composta su justo valor como abono y/o enmienda de suelo o bien como sustrato. Resulta evidente en el texto anterior que el destino final de la composta limita la gama de materiales a los que se debería aplicar el compostaje y condiciona las operaciones de producción. Los residuos o subproductos biológicos, para poder ser utilizados como materia prima de compostas, deben cumplir diversos requisitos, tanto para posibilitar el proceso, como para poder generar un producto con una determinada calidad.

Se denomina "Humus de Lombriz " (*Vermicomposta o Lombricomposta*) al producto resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica, mediante la crianza sistemática de lombrices de tierra. (La llamada " *lombricultura* ").

El nombre genérico de " *bio-productos* " hace referencia a todas aquellas sustancias biológicas de origen vegetal o animal que pueden ser utilizadas como enmiendas , aditivos agrícolas o materias primas para la producción de aquellos *bio-fertilizantes* y abonos que se desea certificar ante OMRI como " *productos orgánicos* ". Ejemplos de bio-productos son el bagazo de caña, el rastrojo, las algas, los estiércoles, la tierra de diatomeas, el aserrín, los lodos de plantas de tratamiento de agua, entre tantos otros.

2. ORIGEN DE LAS MATERIAS PRIMAS.

El hecho de que la composta contenga una gran cantidad de substancias distintas (muchas de ellas generadas en el transcurso del proceso biológico) hace que sea muy difícil analizar y comparar los distintos tipos de composta obtenidos. Estos difieren mucho

en su composición, según los materiales que se utilizaron en su fabricación, el porcentaje relativo de cada uno de ellos y las condiciones en que se realiza el proceso.

En función del origen de los materiales, podemos hablar de compostas provenientes de:

- La fracción orgánica de residuos municipales.
- La fracción procedente del tratamiento anaerobio de los residuos municipales.
- Lodos de plantas de tratamiento de agua.
- Diferentes tipos de estiércoles.
- Residuos vegetales solos o enriquecidos con algunas fuentes de nitrógeno.
- Mezclas muy variadas (estiércoles, cortezas, plumas, pelos, algodón etc.)

La composición del producto final dependerá mucho de cómo se ha controlado el proceso, más que de la tecnología. Puede tener variaciones importantes en la cantidad final de elementos *fito-nutrientes*, dependiendo de los contenidos iniciales en las materias primas utilizadas, y de las posibles pérdidas o transformaciones a lo largo del proceso. También el contenido en materia orgánica (M.O.) y su estabilidad, dependerá de cómo se ha llevado a cabo el proceso de compostaje.

3. FACTORES DE CALIDAD DE UNA COMPOSTA.

3.1 - El pH de las compostas.

Los rangos típicos de variación para el pH de una composta y la concentración de los principales nutrientes y factores de control, para compostas hechas a partir de rastrojos, usualmente tienen valores más o menos similares a los que se muestran en la Tabla 1. Las variaciones, sin embargo, pueden ser muy amplias, dependiendo de las materias primas que se hayan utilizado. La acidez o alcalinidad durante el proceso de compostaje es la fase más crítica. Un valor de pH situado entre 6.0 y 7.5 (cerca de la neutralidad) sería lo ideal. El nivel de acidez / alcalinidad de la composta afecta a la disponibilidad de nutrientes; a la solubilidad de los metales pesados y a la actividad metabólica de los microorganismos. El valor de pH de la composta es por consiguiente un parámetro muy importante. La aplicación de la composta al suelo puede alterar el pH del terreno, lo cual a su vez puede afectar a la disponibilidad de aquellos nutrientes que son necesarios para el buen desarrollo de la planta.

Un pH de 7.0 es neutral en la reacción. Un pH menor de 7.0 señala una condición ácida, mientras que un pH mayor de 7.0 es una condición alcalina. Las compostas a base de hojas y residuos vegetales tienden a ser levemente alcalinas, mientras que las compostas hechas a partir de residuos de coníferas son ácidas. La alteración del pH del suelo, cuando se mezcla con la composta, depende del pH del mismo terreno y de su capacidad tampón ("*buffer*"); del pH de la composta, de la cantidad de composta que se aplique y que tan íntimamente logran mezclarla con el terreno. El pH final de la mezcla de suelo con la composta, conviene determinarlo y guardarlo como parte de los registros históricos de las condiciones del cultivo.

3.2 - Nutrientes Importantes.

West Analítica y Servicios ha generado un diagnóstico muy completo donde se reportan las aportaciones de nutrientes al suelo que hace una composta específica. Dichas aportaciones se reportan en Kilogramos de Nutrientes por / tonelada de composta. Como ya se señaló, los resultados son substancialmente diferentes de un fabricante a otro o, en ocasiones, también de un lote de composta al otro aunque provengan del mismo fabricante. Ello depende de las características de los materiales orgánicos utilizados y de sus porcentajes relativos. Esto no quiere decir que unas compostas sean de mayor o menor calidad que otras, sino que algunas son más adecuadas para ciertos cultivos y condiciones del suelo que otras.

Las concentraciones de macro-nutrientes, nutrientes secundarios y de micro-nutrientes pueden ser determinadas en el laboratorio en forma muy precisa y reportadas al fabricante para que, utilizando estos valores, pueda establecer las especificaciones de calidad de su producto.

Tabla 1.
Valores típicos de parámetros de calidad
de compostas hechas a partir de desechos agrícolas

Valores promedio	
Parámetro de Prueba	Rango Promedio
pH	6.8-7.3
Sales Solubles	0.35 - 0.64 dS/m (mmhos/cm)
Nitrógeno	1.0-2.0%
Fósforo	0.6-0.9%
Potasio	0.2-0.5%
Contenido de agua	45-50%
Materia orgánica	35 -45%

Fuente: Promedios encontrados en Jalisco, Bajío y Michoacán 2013-2014.

El nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K), el calcio (Ca), el magnesio (Mg), y el azufre (S). se consideran los principales elementos nutrientes que aportan las compostas y las *vermicompostas*, o "Humus de lombriz". Los micro-nutrientes principales son: manganeso, hierro, zinc, cobre, y boro. La unidad de expresión está en porcentajes para los macronutrientes y nutrientes secundarios; y en partes por millón (ppm), o mg/kg para los micro-nutrientes. Todos éstos elementos nutrientes son importantes para el crecimiento de las plantas, pero desde luego, es obvio que los valores de macro-nutrientes y de nutrientes secundarios son de mayor interés por el volumen que consumen los cultivos. De los macro-nutrientes, la disponibilidad del nitrógeno a las plantas es quizá la

más compleja. En las compostas, el nitrógeno puede estar presente en las formas inorgánicas de Nitrógeno-nitrato y de Nitrógeno -amoniacal. Una composta *no madura*, (es decir donde la *bio*-degradación aún no se ha completado) contendrá más Nitrógeno-amoniacal que una composta madura. Esta es una manera de determinar el grado de madurez del producto.

La mayor parte del nitrógeno en la composta está limitado dentro de las moléculas orgánicas. Esta forma de nitrógeno se refiere a menudo como "*nitrógeno orgánico*". Las formas inorgánicas del nitrógeno están inmediatamente disponibles para la absorción por las plantas mientras que la disponibilidad de la forma orgánica depende de la acción de los microorganismos. El índice de variación depende de muchos factores, entre los que predominan la temperatura y la humedad. No todo el nitrógeno orgánico presente en la composta está disponible durante la primera etapa de crecimiento. Se estima que, dependiendo de la materia prima, aproximadamente de 10 % a un máximo de 30 % del nitrógeno orgánico está disponible para la planta durante esta etapa de crecimiento.. El nivel de nitrógeno (N) es uno de los elementos más importantes porque casi siempre es el más escaso.

El fósforo y el potasio son también nutrientes muy importantes en la composta. Un alto porcentaje de estos dos nutrientes está generalmente disponible para la planta durante la primera etapa de crecimiento. Sin embargo, la disponibilidad puede depender de la clase de suelo, la humedad y la temperatura del suelo. Los elementos secundarios, calcio y magnesio se comportan en forma similar al fósforo y al potasio.

Los valores de micro-nutrientes encontrados en la composta, y expresadas en partes por millón (ppm), dependen, nuevamente, de las materias primas utilizadas. Valores muy altos de micronutrientes pueden en algunos casos ser tóxicos a las plantas. Los dos micro-nutrientes potencialmente más tóxicos son el boro y el cobre. En los análisis de composta se reporta aluminio que, aunque no es un nutriente, es un elemento muy tóxico para las plantas por lo que su presencia en compostas y fertilizantes debe verificarse al adquirir éstos productos. Por ello mismo, en los programas de análisis de tejidos vegetales ("*Análisis Foliare*s") para el control del desarrollo de los cultivos, debe incluirse también en forma sistemática el análisis del contenido de aluminio en la planta. (Principalmente en hojas, y raíces).

En resumen, la calidad final obtenida en la elaboración de un lote de composta dependerá, en lo básico, del tipo de material orgánico utilizado y del proceso de compostaje. Es muy importante verificar la calidad de los lotes de compostas en proceso y de las compostas ya listas para salir al mercado. En compostas a base de residuos vegetales, se consideran con valores mínimos aceptables cuando el Nitrógeno (N) varía entre un 2.5% a 3.5% ; el fósforo (P) de 0.8% a 1.5% ; el potasio (K) de 2.5% a 3.0% ; el Calcio (Ca) de 2.5% a 4.0% ; el Magnesio (Mg) de 0.8% a 1.2% ; y el Azufre (S) de 0.7% a 1.0%. Otros elementos como los micro-nutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn, y B) contenidos en la composta, no son en general factores limitantes.

La aplicación de una composta comercial al suelo, que no reúna condiciones aceptables de calidad, (por ejemplo, inmadurez, contenido de patógenos...etc.) puede tener efectos muy contraproducentes de daño directo al cultivo y deterioro o contaminación del medio ambiente.

3.3. Sales Solubles. (" *Conductividad* ")

Es también muy importante analizar el contenido de sales solubles en las compostas. Una alta concentración de sales solubles es perjudicial para la germinación de las semillas y para el crecimiento vegetal. Una planta puede llegar a morir si los niveles de sales solubles son demasiado altos. El término "*sales solubles*" se utiliza para designar aquellos compuestos químicos, principalmente los nutrientes, que se disuelven en agua formando iones. Una vez que los compuestos se han ionizado pueden conducir la corriente eléctrica a través de la solución. Midiendo la conductividad eléctrica en un lixiviado o en un extracto líquido de una composta, se obtiene una evaluación indirecta del mayor o menor contenido de sales solubles. Así, ésta prueba a menudo se denomina "conductividad eléctrica." La unidad que usualmente se utiliza son los *mmhos/cm*. o deci-Siemens por metro (dS/m). Cuanto mayor es la conductividad eléctrica, mayor es la concentración de sales solubles. Es una medida de la cantidad combinada de sales solubles en la muestra de composta.

Las sales solubles que comúnmente se detectan en las compostas son, entre otras, los cloruros, varios nitratos, sulfatos y carbonatos; sodio, calcio, magnesio, y potasio. Las sales que resulten predominantes son consecuencia del tipo de materia prima utilizada. Las compostas a base de estiércoles tipo "gallinaza", usualmente arrojan resultados que son relativamente altos en sales solubles.

Estas compostas altas en sales solubles se pueden utilizar en el suelo, sin embargo, requieren mucha mayor supervisión con respecto a las compostas que no contienen una alta concentración de sales solubles. Las compostas altas en sales deben obviamente aplicarse al suelo en menor cantidad que las compostas con bajas concentraciones de sales solubles.

Ver más adelante el ejemplo del formato de reporte que se utiliza para expresar los resultados del contenido de nutrientes en compostas, lombri-compostas o en lixiviados y "bio-fertilizantes" líquidos. En los productos líquidos no se determina ni el carbono orgánico ni el contenido de materia orgánica. Las aportaciones de nutrientes se expresan en kilos del elemento nutriente por tonelada métrica de composta.

3.4.- El Carbono Orgánico.

El carbono es la fuente de energía para los microorganismos que se consideran heterótrofos, es decir para aquellos microorganismos que, a fin de poder asegurar su sobrevivencia, dependen directamente de las reservas de carbono existentes en la materia orgánica y no son capaces de utilizar el CO₂ de la atmósfera como lo hacen las plantas superiores. El que éste carbono sea biodegradable dependerá de la clase de molécula en que se encuentre. Por ejemplo el carbono contenido en el azúcar será más fácilmente descompuesto por muchos microorganismos; en cambio el carbono asociado con las ligninas presentes en el papel o en el aserrín puede ser descompuesto solamente por unos pocos microorganismos. El carbono contenido en los plásticos prácticamente no es biodegradable. Las formas de carbono más difíciles de descomponer formarán la matriz para la estructura física del producto final (la composta). En el Laboratorio se puede determinar tanto el Carbono Orgánico como el Carbono Total. Una composta de buena calidad, generalmente contiene más de 30% de Carbono total, o alrededor de 50-60 % de Materia orgánica.

3.5.- La Relación C / N.

La relación Carbono Orgánico /Nitrógeno Total en una composta no es una prueba única en sí misma, sino que requiere dos pruebas separadas: el análisis del contenido de carbono orgánico y la prueba para el contenido de nitrógeno total. Esta relación proporciona una indicación de la clase de composta y cómo debe ser manejada cuando se incorpore al suelo.

Generalmente, las compostas que tienen relaciones de Carbono Orgánico / Nitrógeno Total mayores de 25 a 1 requerirán nitrógeno adicional cuando se incorporan al suelo, con el fin de que las plantas sigan creciendo. Cuanto más grande sea éste cociente, mayor es la cantidad de nitrógeno necesario. En estos casos, el nitrógeno adicional es necesario agregarlo para permitir que los microorganismos del suelo se multipliquen rápidamente, sin tomar el nitrógeno del suelo y causar deficiencia de nitrógeno en la planta. La relación C:N debe ser establecida, como señalábamos, sobre la base de Carbono biodegradable o Carbono Orgánico. Como claramente indicado en el párrafo anterior, una relación igual o menor de 25:1 (Carbono:nitrógeno) se considera ideal.

Tabla 2.
Ejemplo de Reporte

ANÁLISIS DE COMPOSTA

Empresa:	Reporte N°
	Fecha de recepción: 25/05/2015
	Fecha de entrega: 03/06/2015
	Página: 1 de 1
	N° de Laboratorio:

Identificación de Muestra: # 1

PRUEBA	RESULTADO DEL ANÁLISIS	APORTACIONES EN KILOS / TM
	EN BASE A MUESTRA SECA SIN HUMEDAD	EN BASE A MUESTRA SECA SIN HUMEDAD
Nitrógeno, N%	1.19	11.9
Fósforo, P%	0.369	8.44 (P2O5)
Potasio, K%	2.67	32 (K2O)
Azufre, S%	0.528	5.28
Magnesio, Mg%	0.718	7.18
Calcio, Ca%	2.20	22
Sodio, Na ppm	7810	7.81
Hierro, Fe ppm	14400	14.4
Aluminio, Al ppm	7950	7.95
Manganeso, Mn ppm	597	0.597
Cobre, Cu ppm	35.9	0.0359
Zinc, Zn ppm	158	0.158
Boro, B ppm	41.0	0.041

PRUEBAS ADICIONALES:

PRUEBA	RESULTADO
Humedad en la Muestra, %	12.6
Materia seca en la Muestra, %	87.4
Carbono Orgánico Total, %	10.5
Materia Orgánica (Combustión), %	18.2
Relación C:N	8.8
pH	8.12
Conductividad Eléctrica, mmhos/cm	21.2

Métodos de Referencia:
 RMMA Recommended Methods of Manure Analysis, Peters et al, 2002, In Press.
 SSSA Methods of Soil Analysis, Part 3- Chemical Methods, 2nd Ed. Rev. Soil Science Society of America, Black, C.A. et al. 1982, pages 995-996.
 SW USEPA, SW-846, Test Methods for Evaluating Solid Wastes, Physical / Chemical Methods. 3rd. Ed. Current Revision

Tabla 3.

INTERPRETACIÓN DE CONCENTRACIONES DE SALES SOLUBLES	
Contenido de Sales Solubles	Interpretación del contenido
mmhos / cm	
0.00 - 0.12	Muy bajo; indica una baja aportación de nutrientes y un estado de nutrición deficiente ; las semillas pueden germinar
0.13- 0.34	Bajo; rango adecuado para algunas semillas y plantas muy sensibles. Los cultivos pueden crecer muy lentamente y mostrar deficiencias nutricionales.
0.35-0.64	Es el rango deseable para la mayoría de las plantas; un rango superior puede ser demasiado alto para
0.65-0.89	Rango más alto que el requerido por la mayoría de las plantas. Pérdida de vigor en los niveles más altos
0.90-1.10	Crecimiento vegetal y vigor reducidos; marchitez y quemadura de la hoja
1.10 +	Crecimiento vegetal seriamente impedido; las plantas generalmente mueren

Obviamente es más seguro utilizar compostas que contienen concentraciones de sales en el ya mencionado rango de 0.35 – 0.64. Los lixiviados generalmente muestran menores concentraciones de Sales Solubles.

Relaciones C/N más altas a 25:1 tienden a retardar el proceso. El aplicar al campo una composta con una relación C:N muy alta, es muy contraproducente porque los microorganismos disputarán con las plantas el poco nitrógeno disponible. Es importante que una composta comercial, lista para utilizarse, esté "*madura*", porque un producto inmaduro tiene un alto contenido de carbono lábil. Esto trae tres consecuencias:

- Un aumento de la actividad microbiana que provoca un incremento de la tasa de mineralización de la materia orgánica. Esto no tiene demasiada trascendencia, al menos al mediano plazo, ya que se recuperan rápidamente las condiciones iniciales.

- Por otro lado se provoca un bloqueo biológico del nitrógeno asimilable del suelo por las poblaciones de microorganismos, lo que puede generar déficit de N en el suelo. Esta inmovilización es consecuencia de una elevada relación C/N. Al haber tanto carbono se incrementa la biomasa microbiana lo que conduce a que aumente la competitividad por el N, no solo entre los microorganismos, sino también con la planta. Esta competencia se extiende a otros macro-elementos como el fósforo, el calcio y , pudiera ser, al azufre y al magnesio.
- Se produce además una disminución de oxígeno y por ende del potencial *redox*. Esto provoca que disminuya la velocidad de nitrificación y de pérdida por desnitrificación. Una baja del pH debida a la formación de ácido carbónico, da lugar a una mayor disponibilidad de metales pesados.

Las formas complejas del carbono en la biomasa se oxidan durante la descomposición, generando formas menos complejas. Los enlaces entre moléculas que contienen carbono se rompen y la energía química almacenada en los enlaces entre átomos de carbono, al romperse el enlace, provoca la conversión de la energía química en calor. A mayor ruptura de enlaces, mayor liberación de calor. El incremento de temperatura indica la velocidad de la actividad biológica.

4.- EL CONCEPTO DE CALIDAD EN UNA COMPOSTA.

El concepto de calidad en las compostas es difícil de definir ya que se ha de tener en cuenta múltiples aspectos y, además, puede ser siempre muy subjetivo. La calidad de la composta debe considerarse a partir de aquellas características que resulten de aplicar un tratamiento respetuoso con el medio ambiente, acorde con una gestión racional de los residuos y que tenga como objetivo fabricar un producto destinado para su uso como mejorador de suelo o como sustrato.

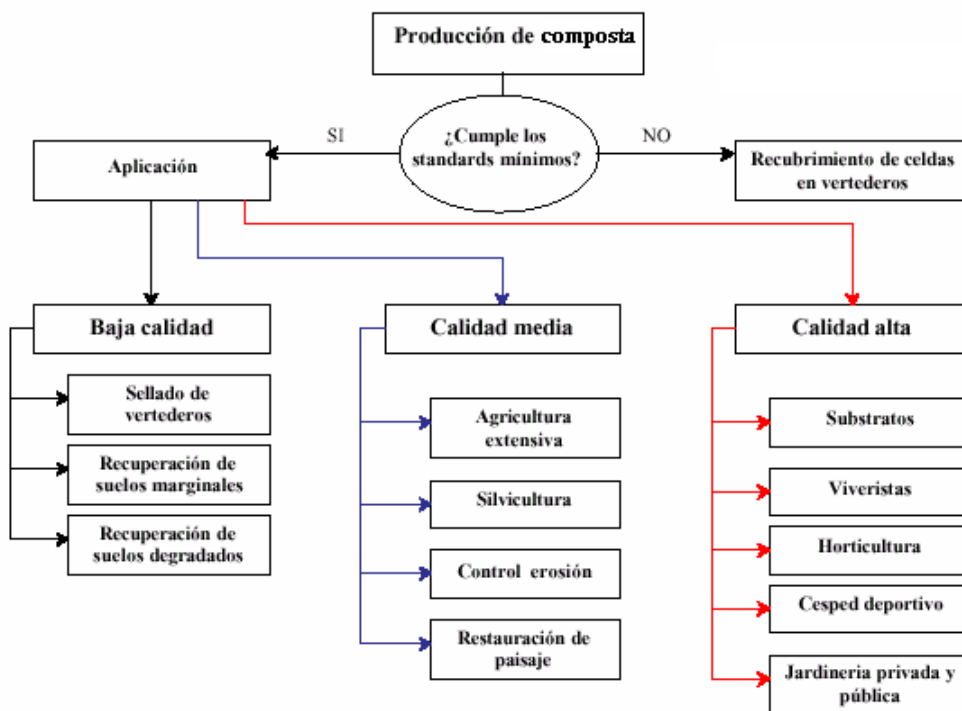
Dentro de los niveles de calidad deben o pueden establecerse distintas exigencias según el mercado al que vaya destinado; pero siempre habrá unos mínimos a cumplir para cualquier aplicación. Es necesario definir una calidad general de la composta (de acuerdo con los usuarios potenciales y las instituciones involucradas) y además establecer unos parámetros diferenciados para usos diversos, sin querer significar con esta afirmación que los máximos permitidos de contaminantes se puedan sobrepasar según el destino.

La calidad de la composta viene determinada por la suma de las distintas propiedades y características. Los criterios relevantes en la evaluación de la calidad son: destino del producto, protección del entorno, requerimientos del mercado.

Una composta de calidad tendrá salida, podrá aplicarse, aunque deberá en muchos casos competir con otros materiales (de mejor o peor calidad) debido a la gran variedad de materias primas factibles de utilizarse en compostas. Se originan por ello un gran número de mezclas posibles con calidades y posibilidades de uso muy diversos. (Ver cuadro)

El hecho de que en innumerables casos se haya usado incorrectamente el significado de la palabra composta ha llevado a una frecuente desorientación del posible consumidor y a que su uso y su comercialización encuentren, en ocasiones, serias dificultades. La estrategia para conseguir una determinada calidad común a todos los tipos y usos de composta no puede separarse de un planteamiento global de la gestión de los residuos. El mercado mexicano de la composta puede y debe desarrollarse al parejo de la conciencia de calidad entre productores y usuarios. Si se quiere potenciar el uso del compostaje y de la composta, las plantas de producción han de tener como uno de sus objetivos primordiales la obtención de composta de calidad.

Posibilidades de aplicación de la composta.



En la realidad, no siempre se produce composta para obtener un determinado producto sino que se gestiona el tratamiento de residuos con la intención de evitar problemas ambientales y, secundariamente, obtener un producto final comercializable: la composta. Algunas veces, esto se lleva a cabo ignorando los fundamentos

biológicos del proceso y obviando la relación entre el control del proceso y la calidad del producto comercial obtenido.

Los requerimientos de calidad de una composta deberían ir dirigidos a conseguir:

- Aspecto, olor y color aceptables.
- Higienización correcta
- Bajo nivel de impurezas y contaminantes. (Ver normas)
- Buen nivel de elementos agrónomicamente útiles.
- Uniformidad en las características físicas, químicas y biológicas.

Al plantear las características finales óptimas para una composta es difícil establecer niveles o rangos máximos y mínimos para lo que debería ser el contenido en nutrientes y materia orgánica (M.O), ya que éstos valores dependen mucho de los materiales tratados. En varias normativas o legislaciones de otros países, se establecen tan solo los contenidos en metales pesados, tóxicos para las plantas. Pero la calidad de la composta viene determinada por la suma de las distintas propiedades y características. En cualquier caso debe hablarse de:

Calidad física: existen 3 indicadores sensoriales de la madurez de una composta : A/ temperatura (medición del auto-calentamiento durante el proceso); B/. Un olor agradable (ausencia de ácidos grasos de bajo peso molecular); C/. Color y grado de luminosidad. Estas tres pruebas son tan solo orientativas para los propios operadores del proceso. Dan una idea aproximada del grado de madurez que se ha alcanzado. En las especificaciones de la composta comercial, usualmente se indica la densidad aparente; la ausencia visual de partículas extrañas (plásticos, metales, madera, vidrios y otros) y el % de humedad que contiene el producto ya envasado.

Calidad química, en la que pueden aparecer tres vertientes: contenido y estabilidad de la materia orgánica, contenido de los nutrientes esenciales y presencia o no de metales pesados, de contaminantes orgánicos o inorgánicos.

Calidad biológica: ausencia de semillas de malas hierbas, así como de fitopatógenos. Evaluación de la presencia de organismos fito-benéficos

Las autoridades establecen los contenidos máximos permitidos de contaminantes tóxicos. Estos niveles permitidos pueden variar ampliamente de un país a otro. Se considera que la finalidad de una normativa sobre calidad de la composta debe ser evitar una *excesiva* contaminación del suelo. El concepto de "*excesiva*" es subjetivo, y por lo tanto difícil de interpretar. Además, no toma en consideración la característica principal

de la composta, a saber: *la composta como un producto que aporta una serie de efectos benéficos al suelo y a los cultivos.*

5.- RELACIONES INDICATIVAS ENTRE ELEMENTOS.

Las siguientes evaluaciones de calidad aquí descritas son diagnósticos de calidad comunes a todas las compostas, vermicompostas o Tés de composta. Es decir son evaluaciones independientes de las materias primas utilizadas o de los procesos de producción.

5.1 Relación Carbono Orgánico a Nitrógeno total. Relación C/N.

Como ya se señaló en forma más extensa en el anterior inciso 7, la Relación C/N es un indicador de la disponibilidad que tiene el nitrógeno para el proceso de degradación biológica. Esta Relación [C : N] es el cociente que resulta de dividir el carbono orgánico total entre el Nitrógeno total. El carbono orgánico total es la fracción del carbono contenido en la materia orgánica. (O, "sólidos volátiles biodegradables"). El nitrógeno total incluye el nitrógeno orgánico y el nitrógeno inorgánico. La fracción inorgánica del nitrógeno está formada básicamente de nitrógeno amoniacal [N-NH₄⁺] y de nitrógeno-nitrato [N-NO₃⁻]

Por cada mol de oxígeno consumido por los organismos aerobios, se produce un mol de dióxido de carbono. El carbono que no es respirado se combina con nitrógeno y otros elementos dentro de las células de los organismos aerobios para sintetizar compuestos nitrogenados. Por ejemplo, proteína y ácidos nucleicos para la formación de protoplasma. Al agotarse el carbono y el oxígeno, los microorganismos eliminan el exceso de nitrógeno como amoníaco. Los organismos vivos utilizan alrededor de treinta partes de carbono por una parte de nitrógeno, siendo por ello que la relación inicial teóricamente óptima de carbono a nitrógeno en una composta es de treinta a uno (30: 1). Esta relación, así como una humedad y aeración optimizada (oxígeno) son esenciales para lograr una degradación biológica rápida y controlada.

5.2 Relación de Carbono Orgánico a Fósforo total. Relación C/P.

Se recomienda establecer una relación inicial C/P entre 100:1 y 140:1 junto con una relación inicial C/N de 30:1. Por ejemplo, las materias primas con alto contenido de celulosa y de lignina, que en ocasiones se utilizan para compostaje, muy a menudo muestran bajos contenidos de fósforo y requieren no solamente adiciones de nitrógeno

para mantener el proceso de compostaje, sino también fósforo adicional para sostener la actividad microbiana.

5.3 Relación Amoníaco a Nitrato. Relación N-NH₄ / N-NO₃.

La Relación de Amoníaco a Nitrato (N-NH₄ / N-NO₃) es una indicación valiosa para establecer la madurez de la composta cuando la suma de sus concentraciones es mayor a 75mg/kg. El nitrógeno amoniacal se forma como resultado del metabolismo de los ácidos grasos volátiles. (Ácidos grasos de cadena corta). Conforme avanza el proceso de compostaje el amoníaco se oxida (se consume) formando nitratos al tiempo que la actividad microbiana convierte al carbono orgánico y otros compuestos en CO₂. El nitrógeno en su forma de nitrato por lo general está presente en muy bajas concentraciones durante las fases iniciales del proceso de compostaje. Por consecuencia, la relación N-NH₄: N-NH₃ puede ser muy alta, llegando a valores de 2000:1 durante estas etapas. Esta relación va disminuyendo significativamente conforme avanza el proceso de compostaje y el amoníaco se va transformando en nitrato. En las últimas etapas, conforme se incrementa la madurez, el nitrato puede superar al amoníaco causando que la relación N-NH₄: N-NH₃ se estabilice alrededor de 1:1 , o aún menor.

La Relación Amonio : Nitrato como Índice de Madurez de una Composta

	Muy Maduro	Maduro	Inmaduro
Relación Amonio:Nitrato	< 0.5	0.5 – 3.0	> 3.0

Fuente: US Composting Council

5.4.-Relación Carbono a Azufre. Relación C / S.

Conforme avanza el proceso de compostaje, el azufre elemental (S) y los sulfuros (en estado de oxidación -2) se van oxidando (transformando) a las formas de sulfitos (estado de oxidación +4) y sulfatos (estado de oxidación +6). Los posibles candidatos que intervienen en éste proceso incluyen las bacterias de *Thiobacillus spp* que utilizan compuestos inorgánicos de azufre como una fuente de energía durante la respiración. Los microbios anaerobios: que incluyen *T. thiooxidans* que se activa a pH de 3 y menores;

T. thioparus que es sensible al ácido y activo a pH neutro. El *T. novellus* que también es activo en pH neutro, no puede utilizar azufre elemental pero oxida los compuestos orgánicos así como las sales inorgánicas durante la respiración. Con la excepción de *T. novellus*, todas las especies son autótrofas y no derivan energía de la oxidación de carbono orgánico. En las etapas finales del proceso de compostaje, conforme se incrementa la estabilidad y la composta va madurando, la relación Carbono orgánico a Azufre decrece conforme el carbono es respirado en forma de CO₂ y se va formando más sulfato.

5.5 Relación Cadmio – Zinc. Relación Cd / Zn.

Es muy difícil poder evaluar directamente la biodisponibilidad última en los seres humanos del elemento Cadmio (Cd) procedente del suelo y transferido a los humanos a través de los alimentos. Como la Relación Cd:Zn de los cultivos está cercana al nivel natural menor a 0.01, la mayoría de los organismos del reino animal no muestran incrementos de cadmio en los tejidos que se utilizan como alimento, aún cuando el cadmio aumente en forma significativa en los cultivos. El Zinc (Zn) presente en los cultivos inhibe la absorción de cadmio y /o su retención en el hígado, el riñón o los tejidos animales en general.

Composta: Interpretación de la Relación Cd : Zn	
Relación Cd:Zn	Indicación de la bio-disponibilidad de Cd
<0.01	No biodisponible
>0.01	Potencialmente disponible

Fuente: US Composting Council.

Nota. La interpretación de la Relación Cd/Zn considera compostas que van a aplicarse a los cultivos, con excepción de arroz y tabaco y – siempre y cuando- la concentración de Zinc en la composta sea < 500 mg/Kg. (< 500 ppm).

Los factores del suelo que influyen en la absorción del cadmio del suelo son, principalmente, el pH, nivel de cadmio, la Relación Cd : Zn, cloruros, niveles de los óxidos de hierro y de manganeso, la materia orgánica y la aplicación de fertilizantes con altos contenidos de cadmio. El Zn proporciona protección contra la transferencia de cadmio a los alimentos debido a su potencial de inhibición de la translocación del cadmio a las plantas. Una alta Relación Cd:Zn en fertilizantes fosfatados puede provocar que el cadmio

tenga una mayor movilidad y biodisponibilidad que otras fuentes de cadmio que llegan a las plantas. Investigaciones médicas señalan que, en el caso del cultivo de arroz en zonas inundadas, el exceso de cadmio y la insuficiente presencia de Zinc, es la causa de la enfermedad denominada "*itai-itai*" en Japón.

6.- LOS MICROORGANISMOS FITO-BENÉFICOS.

La *rizósfera* es uno de los principales sitios donde se presentan microorganismos específicamente funcionales. Por ejemplo, fijadores de nitrógeno, promotores de la solubilidad de los fosfatos, auxiliares del crecimiento vegetal, bio-controladores y especies patogénicas. Todos ellos normalmente compitiendo por espacio y por nutrientes. Estas interrelaciones entre microorganismos inciden en la interacción suelo-planta-microorganismos-ambiente y repercuten, de forma directa, en el crecimiento y el rendimiento de los cultivos.

La multifuncionalidad de los microorganismos en los sistemas agrícolas, se expresa de acuerdo a una serie de factores bióticos, como la competencia con otros microorganismos, la composición biológica del suelo, el reconocimiento planta-microorganismo y viceversa. Igualmente influyen factores abióticos, como la climatología, las características físicas y químicas del suelo, que influyen directamente en el tipo de interacción de estos organismos y la expresión de los efectos benéficos o antagónicos, importantes en el desarrollo de las especies vegetales

La interacción de microorganismos de la rizósfera, como los "Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares" (HFMA), los hongos del género *Trichoderma* y las bacterias del género *Pseudomonas*, usualmente catalogados como "Agentes de Control Biológico" (ACB) y "Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal" (MPCV), dependen de este tipo de factores para expresar sus potenciales efectos benéficos. Sin embargo, las interacciones entre los microorganismos son complejas; se pueden o no presentar efectos sinérgicos que potencialicen los beneficios para la planta. Es difícil predecir el resultado de las interacciones entre plantas y microorganismos benéficos del suelo y, más aún, entre las especies de microorganismos. No obstante, se considera que las comunidades microbianas asociadas con el sistema de raíces, desempeñan un papel clave en el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles.

Bacterias y hongos de la rizósfera pueden producir sustancias alelo-químicas o antibióticos que impiden el desarrollo de enfermedades causadas por patógenos edáficos en las plantas. Otro factor relevante del uso de los (MPCV) es la estimulación del sistema

de defensa de las plantas; diferentes especies de " Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal" (RPCV), solas o en mezclas y algunos "Hongos Promotores del Crecimiento Vegetal"(HPCV), se podrían utilizar como *elicitores*, para inducir la resistencia sistémica contra diversas enfermedades producidas por agentes causales, tales como: *Ralstonia solanacearum*, o bien *Rhizoctonia solani*, *Alternaria solani*, o *Fusarium oxysporum*, para citar tan solo algunos. (Ver nuestro artículo sobre Análisis de Fitopatógenos).

Té de Composta / Bio-fertilizantes líquidos.

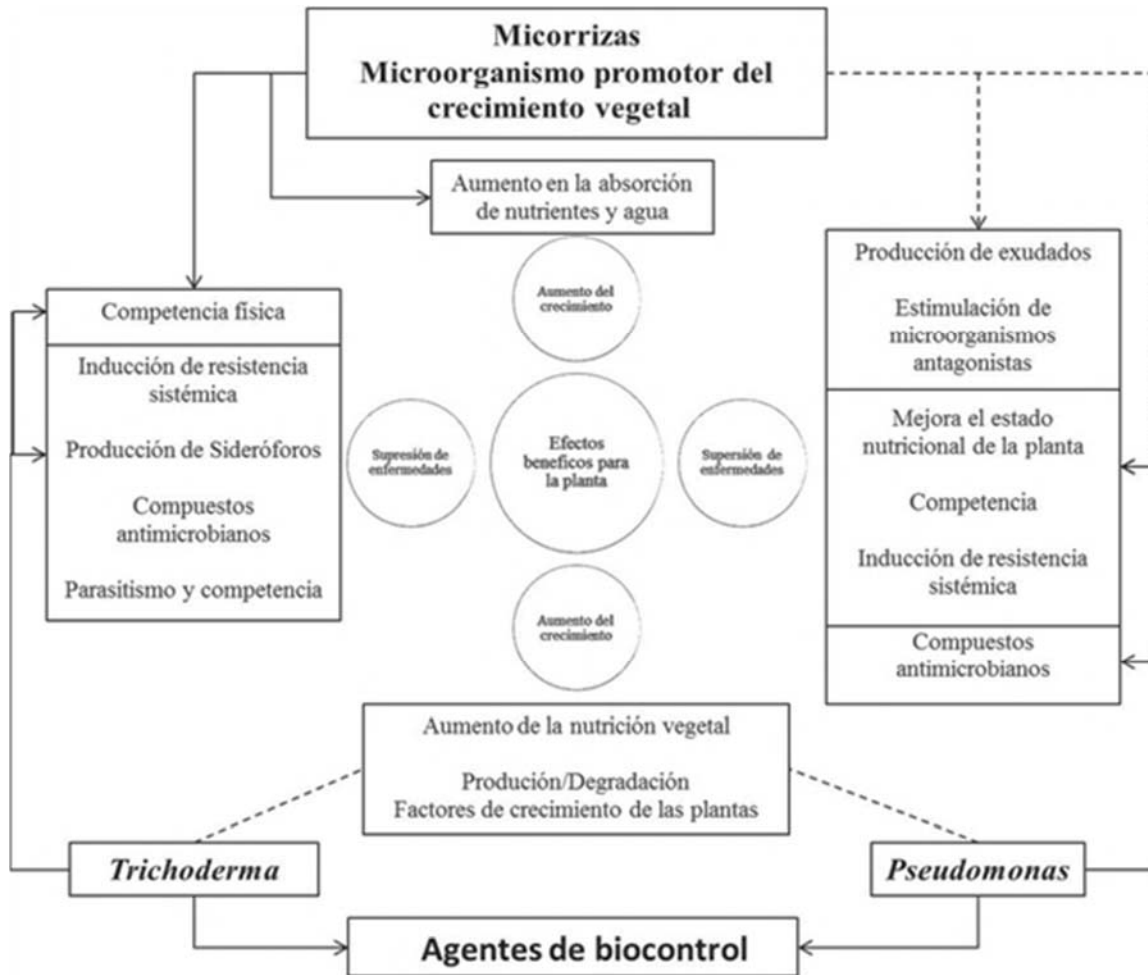
Los Tés de composta inicialmente eran tan solo extractos acuosos de composta con la función de proveer nutrientes solubles por vía foliar. Actualmente los tés de composta van más allá de una simple aportación de nutrientes, sino que ahora combinan ésta función con fuentes de alimento microbiano, usualmente agregando minerales y carbohidratos, para luego extraer y hacer crecer poblaciones de micro-organismos benéficos a través de un proceso aerobio. El líquido resultante se comercializa como fertilizante foliar, como fertilizante de suelo o para inoculación de raíces. El concepto que sustenta la producción de tés de composta y de productos similares a menudo denominados "*Bio-fertilizantes líquidos*", es el de proporcionar directamente a las raíces y a las hojas de las plantas los cultivos de micro-organismos benéficos que puedan inducir en los cultivos una resistencia a los agentes fito-patógenos. El aseguramiento de la calidad de un té o lixiviado de composta, se debe basar en el contenido de elemento nutrientes (*perfil nutricional*) y la ausencia o el bajo contenido de aluminio. En forma adicional a éstos parámetros, la calidad de los tés, lixiviados o bio-fertilizantes se clasifica , además, en base a los siguientes cuatro parámetros:

- *Las propiedades físico –químicas.* pH; Conductividad Eléctrica; Capacidad de Intercambio Catiónico; % de agua H₂O; Ausencia de materiales extraños o inertes; Semillas viables.
- *La Inocuidad microbiológica.* Coliformes fecales, coliformes totales, *Escherichia Coli*; *Salmonella spp*; Huevos de Helminetos.
- *Organismos fitobenéficos.* Bacterias nitrificantes; bacterias aerobias y anaerobias; Relación bacterias aerobias/bacterias anaerobias; *Bacillus sp*, *Trichoderma sp*, *Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus sp*, *actinomicetos*.
- *Metales pesados.* Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo.

Figura 4.

Efectos benéficos de los Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal (MPCV) y agentes de control biológico (ACB) sobre las plantas.

(Líneas continuas, efecto primario; líneas punteadas efecto secundario)



Adaptado de Avis et al. 2008.

7. NORMAS DE CALIDAD VIGENTES.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. BIO-SOLIDOS.

Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana los bio-sólidos se clasifican en tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase: A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos. Los límites máximos permisibles de metales pesados se establecen en la tabla 1.

TABLA 1
LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS EN BIOSOLIDOS

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

Los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en lodos y en bio-sólidos se establecen en la siguiente Tabla 2

TABLA 2
LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA PATOGENOS Y PARASITOS EN LODOS Y BIOSOLIDOS

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Donde NMP = Número más probable. Huevos de helmintos viables

El aprovechamiento de los bio-sólidos, se establece en función del tipo y clase, como se especifica en la tabla 3 y su contenido de humedad hasta el 85%.

TABLA 3
APROVECHAMIENTO DE BIOSÓLIDOS.

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	- Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación
EXCELENTE O BUENO	B	- Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación
EXCELENTE O BUENO	C	- Usos forestales - Mejoramientos de suelos

Se permite la mezcla de dos o más lotes de lodos o bio-sólidos, siempre y cuando ninguno de ellos esté clasificado como residuo peligroso y su mezcla resultante cumpla con lo establecido en la presente Norma Oficial Mexicana.

Muestreo y análisis de lodos y bio-sólidos. La frecuencia de muestreo y análisis para los lodos y biosólidos se realizará en función del volumen de lodos generados como se establece en la tabla 4.

TABLA 4
FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANALISIS PARA LODOS Y BIOSOLIDOS

Volumen generado por año (Ton/Año) en base seca	Frecuencia de muestreo y análisis	Parámetros a determinar
Hasta 1,500	Una vez al año	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 1,500 hasta 15,000	Una vez por semestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 15,000	Una vez por trimestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos

Norma para el Humus de Lombriz. (Lombricompostas o Vermicompostas)

Norma Mexicana NMX-FF.-109-SCFI-2007.

1. Especificaciones Sensoriales.

- En todos los grados de calidad el humus de lombriz debe presentar color característico.
- En todos los grados de calidad el humus de lombriz debe estar libre de olores desagradables.

Color	Todos los colores entre el negro a café oscuro, de acuerdo a la Tabla de colores Munsell
Olor	A tierra húmeda, sin malos olores.

2. Especificaciones de calidad.

El humus de lombriz, lombricomposta o vermicomposta, objeto de esta norma mexicana debe cumplir con las especificaciones de calidad que se detallan en la siguiente tabla .

TABLA
Grados de calidad para el humus de lombriz.

Atributos	Extra	Primera	Segunda
Material mineral extraño (% sobre materia seca p/p)	De 0,0 a 1,5%	De 1,51 a 3,0 %	3,1 a 5,0%
Material orgánico no digerido por las lombrices (% sobre materia seca p/p)	De 0 a 3,0%	De 3,1 a 6,0%	De 6,1 a 10.0%

Material inerte (% Vidrio, metales, plásticos, etcétera).	<0,5 %	De 0,51 a 1,0%	De 1,01 a 1,5%
Semillas viables (semillas L ⁻¹)	≤1	>1 - ≤1,5	>1,5 - ≤2
Lombrices vivas (lombrices L ⁻¹)	< 0,2 (una por cada 5 l)	0,2 (una por cada 5 L)	0,4 (dos por cada 5 L)

NOTA: (p/p) es peso sobre peso

3. Especificaciones fisicoquímicas

En todos los grados de calidad, el humus de lombriz o lombricomposta, debe cumplir con las especificaciones fisicoquímicas que a continuación se detallan:

TABLA 2.
Especificaciones Físicoquímicas del Humus de Lombriz
(Lombricomposta)

Característica	Valor
Nitrógeno total	De 1 a 4% (base seca)
Materia orgánica	De 20% a 50% (base seca)
Relación C/N	≤20
Humedad	De 20 a 40% (sobre materia húmeda) ²
pH	de 5,5 a 8,5 ³
Conductividad eléctrica	≤ 4 dS m ⁻¹
Capacidad de intercambio catiónico	> 40 cmol kg ⁻¹
Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico)	0,40 a 0,90 g mL ⁻¹
Materiales adicionados	Ausente

4. Especificaciones microbiológicas del humus

En todos los grados de calidad, el producto debe cumplir con las especificaciones microbiológicas establecidas en las correspondientes Normas Oficiales Mexicanas emanadas de la Secretaría de Salud vigentes para *Salmonella* y *Escherichia coli*.

TABLA 3

Límites máximos permisibles para
Especificaciones Microbiológicas.

Microorganismo	Tolerancia
<i>Escherichia coli</i>	≤ 1000 NMP por g en base seca
<i>Salmonella spp</i>	3 NMP en 4 g, en base seca
<i>Huevos de helmintos viables **</i>	1 en 4 g, en base seca
<i>Hongos Fitopatógenos **</i>	Ausente

En donde: NMP = Número más probable

** Sólo será exigible a solicitud expresa de la autoridad competente

Algunos materiales de origen vegetal, como la pulpa de café, tienen una capacidad higroscópica mayor a los equivalentes producidos con residuos de origen animal, por lo que para este caso se acepta una humedad hasta de 60%

C/. NORMAS DEL DISTRITO FEDERAL

NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-020-AMBT-2011, QUE ESTABLECE LOS REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOSTA A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, AGRÍCOLAS, PECUARIOS Y FORESTALES, ASÍ COMO LAS ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE CALIDAD DE LA COMPOSTA PRODUCIDA Y/O DISTRIBUIDA EN EL DISTRITO FEDERAL.

CARACTERÍSTICAS DE LA COMPOSTA TERMINADA.

Los tipos de composta y los requisitos de calidad que deben cumplir, se especifican en las tablas 2, 3, 4, 5 y 6.. (Normas del Distrito Federal).

- Calidad y clases de composta. Para efectos de la presente Norma se establecen tres

tipos de composta en función de la calidad y los usos que se le pueden dar.

Tabla 2
Características generales que deben cumplir los tipos de composta.

Parámetro	TIPO DE COMPOSTA		
	A	B	C
Uso recomendado	Sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta	Agricultura ecológica y reforestación	Paisaje, áreas verdes urbanas y
Humedad	25-35 % en peso		25-45 % en peso
pH	6.7 – 7.5	6.5 – 8	
Conductividad eléctrica	< 4 dS/m	< 8 dS/m	< 12 dS/m
Materia orgánica	> 20% MS		> 25 % MS
Carbono total	Debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado		
Nitrógeno total %			
Relación C/N	< 15	< 20	< 25
Macronutrientes (NPK) En % MS	De 1% a 3% en cualquiera de ellos y su suma \leq 7%: portará la leyenda "Composta - mejorador de suelos. Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% Debe portar la leyenda "Composta para		
Diferencia de temperatura con el ambiente	\leq 10°C		\leq 15°C

Métodos opcionales para medir estabilidad y madurez.

Como alternativa válida, a las pruebas de diferencial de temperatura con el ambiente es posible realizar pruebas respirométricas.

Tabla 3. Métodos opcionales para medir estabilidad y madurez.

	Tipo A	Tipo B	Tipo C
PRUEBA	VALOR	VALOR	VALOR
Consumo de oxígeno*	< 50	50-100	101-150
Emisión de CO ₂ *	< 30	30-60	61-120

*mg/kg MS/h

- Límites máximos permitidos de contaminantes e impurezas
- Elementos traza. En la tabla 4, se especifican tres niveles de concentración máxima permitida de elementos traza, para los tres tipos de composta descritos en la tabla 2.

Tabla 4. Concentraciones máximas de elementos traza en mg·kg⁻¹ en base seca, que deben cumplir los tipos de composta.

Nivel – tipo	As	Cd	Cr total	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Nivel 1 – tipo A	0.1	0.7	70	70	0.4	25	45	200

Nivel 2 – tipo B	0.7	1	70	150	0.7	60	120	500
Nivel 3 – tipo C	2.0	3	250	400-500	3	100	200	1200-1800

- Especificaciones microbiológicas. Para la venta de composta en el Distrito Federal, esta debe cumplir con las especificaciones microbiológicas y los procedimientos de análisis contenidos en Normas Oficiales Mexicanas, establecidas por la Secretaría de Salud y son las que se especifican en la tabla 5.

Tabla 5. Valores máximos permisibles para especificaciones microbiológicas.

Microorganismos	Tolerancia
Coliformes fecales	<1000 NMP*/g (en base seca)
Salmonella	<3 NMP en 4 g (en base seca)
Huevos de Helminthos viables	1 en 4 g (en base seca)

*Número más probable

- Impurezas. La tolerancia a la presencia de material inerte en los tres tipos de composta se indica en la tabla 6.

Tabla 6.
Máximos permitidos de materias inertes, en % de MS para partículas mayores a 5 mm.

Tipo de material	Tipo A	Tipo B	Tipo C*
Roca	Ausente	< 3 %	< 5 %*
Plástico	Ausente	< 0.5 %	< 1 %*
Vidrio y metal	Ausente	< 1%	< 2% *

*La suma de los porcentajes de impurezas físicas debe ser menor al 5%