

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA

**ESTABILIDAD Y MADUREZ DEL COMPOST PARA SU APLICACIÓN AL
AGROECOSISTEMA**

P O R

ABRAHAM CASTILLEJOS VÁZQUEZ

MONOGRAFIA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS


TÍTULO DE MONOGRAFÍA
ESTABILIDAD Y MADUREZ DEL COMPOST PARA SU APLICACIÓN AL
AGROECOSISTEMA

PRESENTA
ABRAHAM CASTILLEJOS VÁZQUEZ

MONOGRAFÍA
QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORES,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal:


DR. JESÚS VÁSQUEZ ARROYO

Asesor:


DR. ALFREDO OGAZ

Asesor:


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

Asesor:


M.C. LUZ MARIA PATRICIA GUZMÁN CEDILLO


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISION DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREON, COAHUILA. MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TÍTULO DE MONOGRAFÍA
ESTABILIDAD Y MADUREZ DEL COMPOST PARA SU APLICACIÓN AL
AGROECOSISTEMA

PRESENTA
ABRAHAM CASTILLEJOS VÁZQUEZ

MONOGRAFÍA
QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

APROBADO POR:

PRESIDENTE:


DR. JESÚS VÁSQUEZ ARROYO

VOCAL:


DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL:


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL:


M.C. LUZ MARIA PATRICIA GUZMÁN CEDILLO


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



División de la División de
Carreras Agronómicas

TORREON, COAHUILA. MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2012

DEDICATORIA

En primera instancia a Dios padre eterno por brindarme sabiduría, fe, confianza en Mi mismo; valor y sobre todo por acompañarme en los momentos más difíciles de mi vida y por no permitir que me rindiera ante las dificultades de la vida.

A mi padre José Guadalupe Castillejos Torres a sus sacrificios, apoyo incondicional, su confianza indudable y sus valiosos consejos he llegado a lograr una parte importante en mi vida. Y por ser un padre que nunca me dejo solo siempre conté con el por que siempre estuvo pendiente en todas mis acciones, te amo papa.

A mi madre Arminda Vázquez Castillo por confiar en mí en los momentos difíciles y por sus sabios consejos y por brindarme su optimismo y darme apoyo moral. Y dedico este trabajo por que es la mujer que medio la vida. Te amo mama.

Dedico este trabajo a mis hermanos Enoc, Elí, Isaac y Jacob por darme su cariño y comprensión y siempre confiar en mí.

Dedico este presente trabajo a mis sobrinas Evelyn y Jaqueline por ser las niñas que a mí siempre me alegran la vida y por qué las amo.

A mis amigos(as) Abraham G, Rubisel, Madai, Clara Lucia, Joselito, Luis Alberto, saidel, por acompañarme en los momentos más difíciles de mi vida. Para todos mis excelentes compañeros de clase y amigos que junto a ellos pasamos muchos gratos momentos de la vida estudiantil.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por que todavía me brindas la vida por que siempre nos das tus bendiciones y por darme los padres que tengo por que ellos me dieron la oportunidad de estudiar y tener una carrera profesional y sé que siempre estarás a mi lado cuidándome guiándome.

En primera instancia agradecemos a nuestra ALMA MATER por brindarnos la oportunidad de estudiar una carrera universitaria y estar mejor preparados para Nuestras vidas.

Al Dr. Jesús Vásquez Arroyo por a verme aceptado para la realización del presente trabajo, por a verme dedicado tiempo para la revisión y por ser un excelente profesor y también por sus consejos y ánimos.

A todos los maestros que durante la carrera me impartieron clases gracias por la enseñanza durante la estancia que estuve en esta institución.

Amis compañeros de clases. A todos y cada uno de ellos les doy las gracias por ser compañeros de esta etapa universitaria, por su amistad y confianza, y por el apoyo de ellos de estar en los momentos difíciles conmigo.

RESUMEN

Un compost finalizado, deberá estar estable (resistente a la descomposición) y maduro (listo para uso particular), de manera que se pueda empacar de manera segura y transportar sin causar efectos adversos durante su uso final. La estabilidad indica el nivel de actividad de la biomasa microbiana y la madurez, el grado de descomposición de los compuestos fitotóxicos producidos durante la fase inicial del compost, Un compost insuficientemente estabilizado, puede afectar negativamente el desarrollo del cultivo, debido a la posible presencia de sustancias fitotóxicas y la rápida mineralización, La fitotoxicidad, es uno de los principales criterios para evaluar que un compost sea adecuado para su aplicación en plantas, Diversos métodos químicos, bioquímicos y fisicoquímicos han sido propuestos a fin de controlar la calidad de la materia orgánica en el compost y evaluar el nivel de estabilidad de la misma, Sin embargo, no se cuenta con un único método que permita a la vez determinar la madurez y estabilidad del compost, por lo que, es necesario que al menos se establezcan de tres a cuatro criterios de manera que, se garantice que esta listo el compost para su aplicación.

Palabras claves: (compost, estabilidad, madurez, fitotoxicidad, mineralización, calidad).

Índice de contenido

	Pág.
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	VI
Capitulo I Introducción	1
Objetivo	2
Capitulo II Revisión de literatura	3
2.1 Metodo para determinar estabilidad y madurez del compost	4
2.1.1 Metodo físico. Temperatura de la pila	5
2.1.2 Indicadores sensoriales de la madurez	7
2.1.3 Método biológico. Respiración	8
2.1.3.1 Consumo de oxigeno	10
2.1.3.2 Evolución del CO ₂	11
2.1.3.3 Pruebas de calentamiento	14
2.1.3.4 Pruebas de solvita®	16
2.1.3.5 Bioensayos de fitotoxicidad	18
2.1.3.6 Pruebas de germinación	21
2.1.3.7 Crecimiento de la planta	23
2.1.3.8 Actividad enzimática	24
2.1.4 Método químico. Relación carbono nitrógeno (C:N)	26
2.1.4.1 Reducción de la materia orgánica	28
2.1.4.2 Parámetros de humificación	29
2.1.4.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	30
2.1.4.4 Potencial de Hidrogeno (pH)	31
2.1.4.5 Amonio y nitrito	34
2.1.4.6 Carbono orgánico disuelto	35
2.1.4.7 Método de espectrofotométrico	36
2.2 Combinación de pruebas para evaluar la madurez y estabilidad del compost	37
2.3 Guías y regulación mundial de la madurez y estabilidad del compost	38
2.4 aplicación de compost en el agroecosistema suelo	39
2.5 consideraciones	42
Conclusión	43
Literatura citada	45

INDICE DE CUADRO

Cuadro 1.- Clasificación de las pruebas de madurez del compost.	5
--	---

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El compost (es un abono orgánico que se forma por la degradación microbiana de los materiales sometidos a descomposición), deberá ser estable (resistente a la descomposición) y maduro (listo para un uso particular) (Wichuck y McCartney, 2010). La estabilidad indica el nivel de actividad de la biomasa microbiana y la madurez, el grado de descomposición de los compuestos fitotóxicos producidos durante la fase inicial del compostaje (Jiménez y García, 1991). La importancia de evaluar a estabilidad de la materia orgánica en el compost, está directamente relacionada al incremento en el uso de esta en la agricultura moderna y permite el reciclaje de residuos orgánicos fermentables (DellÁbate et al. 1998). Un compost insuficientemente estabilizado, puede afectar negativamente el desarrollo del cultivo, debido a la posible presencia de sustancias fitotóxicas y la rápida mineralización (Benedetti et al., 1993). La prueba de Solvita® es un procedimiento semicuantitativo de determinación de la liberación de dióxido de carbono (CO₂) y de amoníaco (NH₃) en un espacio cerrado sobre un volumen determinado de compost. Esta prueba proporciona una determinación rápida y exacta de la madurez del compost (sadzawka et al., 2005).

Seguimos siendo incapaces de especificar las condiciones de operación de una planta que genere un compost adecuado. Esto se decía por los años de 1992, a 60 años de conocer su proceso (Chica-Pérez y García-Morales, 2008).

Claramente se conoce que las variables del proceso del compost, son la temperatura, que debe de pasar por una fase termófila, de higienización, de manera que no se encuentren bacterias patógenas al hombre, la humedad, que deberá de mantenerse en el rango de 30-60%, la aireación, que deberá de garantizar un mínimo de un 5 % de oxígeno en el interior del sistema, para evitar la anaerobiosis. La fitotoxicidad, es uno de los principales criterios para evaluar que un compost sea adecuado para su aplicación en plantas (Carballo et al., 2009;

Wu *et al.*, 2000).

Diversos métodos químicos, bioquímicos y fisicoquímicos han sido propuestos a fin de controlar la calidad de la materia orgánica en el compost y evaluar el nivel de estabilidad de la misma (DellÁbate *et al.* 1998). Los parámetros químicos, como el grado de humidificación (DH) y el índice de humificación (HI), han resultados útiles, para evaluar la formación de sustancias húmicas durante la maduración del compost y establecer con precisión el tiempo de su completa estabilización (DellÁbate *et al.* 1998).

Se ha demostrado que el compost con alto grado de estabilidad (61.5%) y bajo C orgánico extraíble, podrían incrementar de manera más eficiente los niveles de carbono orgánico del suelo (Lim *et al.*, 2012). Sin embargo, no se cuenta con un único método que permita a la vez determinar la madurez y estabilidad del compost, por lo que, es necesario que al menos se establezcan de tres a cuatro criterios de manera que, se garantice que esta listo el compost para su aplicación, entre las metodologías podrían estar: actividad deshidrogenasa (Taquia, 2005), capacidad de intercambio catiónico (CIC), Temperatura de la Pila y conductividad eléctrica(CE).actividad enzimática son algunos de los métodos para determinar la estabilidad y madurez del compost.(Wichuck y McCartney, 2010)

Objetivo:

El propósito de la presente monografía es analizar el estado del arte del compost en cuanto a su madurez y estabilidad de acuerdo con la información científica disponible.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

La descomposición aeróbica de la materia orgánica, se produce por la respiración microbiana, un proceso en el que se involucra el consumo de oxígeno, producción de dióxido de carbono (CO₂) y la liberación de energía en forma de calor. Su actividad depende del suministro de oxígeno, mismo que se puede obtener mediante difusión en el material a descomponer. Esto causa una aceleración en la tasa de descomposición y cambio en las poblaciones microbianas de mesofílicas a termofílicas, como consecuencia, se mata a los patógenos microbianos de plantas y animales (Wood *et al.*, 2009).

El proceso de descomposición continua conforme se reestablece la población microbiana, una vez que el compost se ha enfriado, se forma materia orgánica como humus, dando origen a un compost maduro, donde la nitrificación lleva a un incremento en nitratos y disminución de amonio. La estabilidad del compost (capacidad para actividad biológica aeróbica), puede ser estimada de la capacidad del material para consumir oxígeno o producir CO₂ bajo condiciones aeróbicas o del material para generar calor (Wood *et al.*, 2009).

La ciencia de descomponer la materia orgánica (Composting), fue relativamente lenta y no es sino hasta 1993 que aparece el primer texto (Hoitink y Keener, 1993). Dentro de los países europeos, los alemanes son de los más adelantados en el manejo del compost. La prueba Dewar de autocalentamiento, fue adoptada como estándar para pruebas de estabilidad del compost, por el Departamento Ambiental en 1984. Diez años después, Hötink y col. en Estados Unidos de Norteamérica (USA), proponen el método respirométrico para monitorear la estabilidad del compost y para 1996, el sistema OxiTop® para la determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y aparece en el mercado la prueba para madurez de composts Solvita® comercialmente (Wood *et al.*, 2009).

2.1 Métodos para la determinar la estabilidad y madurez del compost.

La estabilidad indica el nivel de actividad de la biomasa microbiana, y la madurez el grado de descomposición de los compuestos fitotóxicos producidos durante la fase inicial del compostaje. Ambos, aunque sean conceptualmente diferentes, definen el grado de descomposición de la materia orgánica durante el proceso de compost. Por lo tanto, estas dos propiedades normalmente, aunque no siempre, avanzan juntas pero son factores importantes en el proceso de la calidad del compost (Jiménez y García, 1991).

La madurez del compost es una condición de órgano-químicas del compost, lo que indica la presencia o ausencia de productos químicos orgánicos fitotóxicos en general estable en compost muy estables (Wu 2005). La madurez es un parámetro que deberemos tomar en cuenta en la producción del compost, ya que un compost inmaduro puede ser inestable y fitotóxico para el desarrollo de las plantas (Wu *et al.*, 2000).

En los últimos años numerosos ensayos de estabilidad del compost y la determinación de la madurez han sido propuestos. Estos métodos pueden clasificarse: en métodos físicos (incluyendo sensorial), químicos, y parámetros biológicos (Switzenbaum *et al.* 1997; Bio-Logic. 2001; Eggen y Vethe 2001; Sullivan y Miller 2001; Tiquia 2005).

Las pruebas también se pueden clasificar como estabilidad o en pruebas de madurez. En las investigaciones, los métodos más citados para la estabilidad y evaluación de la madurez, se presentan en el Cuadro 1. Considérese que éste cuadro, no es una lista completa de todos los métodos que han sido investigados, y que ninguno de estos métodos es universalmente reconocido como el "ideal" (Bio-Logic 2001, Brewer y 2001b Sullivan).

Cuadros 1.- Clasificación de las pruebas de madurez del compost.

Tipo de prueba	Potencial de las prueba para la madurez
Física y sensorial	Temperatura de la pila Color Olor
Biológica (planta y microbiología)	La respiración (incluyendo capacidad de auto calentamiento). Fitotoxicidad (bioensayos de plantas) Actividad enzimática
Químico	Relación carbono nitrógeno C/N Materia orgánica Capacidad de intercambio catiónico Conductividad eléctrica PH Amoniacos y nitrato Espectroscopia Carbono orgánico disuelto

Estos son algunos de los métodos que sean investigado para determinar la estabilidad y madurez del compost (Wichuk y McCartney, 2010).

Actualmente existe una amplia gama de métodos para evaluar el grado de maduración del compost, pero ninguno de ellos puede ser aplicado universalmente, debido a la variabilidad existente en torno a los materiales empleados en el proceso del compost, así como tampoco existen normas internacionales que regulen este tipo de índices (Gies, 1997; Cooperband, 2000).

2.1.1. Métodos Físicos. Temperatura de la pila.

En condiciones óptimas se sabe que el proceso de compost pasa a través de cuatro fases según Tuomela et al, 2000. (1) La fase mesófila, donde la intensiva actividad bacteriana actúa sobre los compuestos de la materia orgánica más fácilmente biodegradables lo que conlleva a un aumento de temperatura. (2) Fase termófila, cuando la pila de compost alcanza una temperatura que se

mantiene por encima de los 60 grados centígrados debido a la actividad de microorganismos capaces de digerir las más complejas e insolubles moléculas de la materia orgánica tales como proteínas, grasas y el complejo de los hidratos de carbono.(3) Fase de enfriamiento, cuando las moléculas de materia orgánica más fácilmente biodegradables han sido degradadas, lo cual lleva a una disminución de la actividad microbiana y la temperatura. (4) La fase final es la de maduración la cual es el momento cuando se produce la humificación de la compost y esta fase se produce a temperatura ambiente

La temperatura es uno de los parámetros más importantes a controlar si se desea obtener un compost libre de microorganismos y patógenos. Las temperaturas aceptables para alcanzar la adecuada higienización en pilas de compost son las siguientes: 55 C durante dos semanas con cinco volteos o 65 grados para una semana con 2 volteos. (Cuervo Figueroa 2010).

Una temperatura de la pila sometida a descomposición microbiana, cercana a la temperatura ambiente, es indicador de que la madurez del compost se ha alcanzado.La disminución de la temperatura en el compost, correlaciona favorablemente con el resto de las variables relacionadas con la madures y estabilidad del compost. La temperatura de la pila puede ser afectada por factores ambientales (particularmente en climasfríos), tales como tamaño de la pila, temperaturas extremas durante la fase hemofílica, falta de espacio de aire libres, disminución del oxígeno y altos contenidos de humedad. Si bien de acuerdo con el tamaño de la pila, la velocidad del viento y bajas temperaturas, pueden hacer que la pila presente la temperatura ambiente antes de que verdaderamente se encuentre madura. Por ello, las pilas grandes tardan más en enfriarse y alcance de manera apropiada su madurez (wichuk y McCartney, 2010).

La velocidad con que se incrementa la temperatura depende del tipo de material a compostar y su carácter mas o menos lábil (biodegradabilidad), así como de los factores ambientales, pero en general se considera que, como

mínimo, a los dos días de haberse hecho la pila con los residuos la temperatura puede haber llegado a los 55°C. El grupo que resulta favorecido por una temperatura concreta descompondrá la materia orgánica del residuo a compostar, utilizándola como fuente de energía y desprendiendo como consecuencia calor. Aunque en principio podría parecer interesante que la temperatura no superase los 40-60°C, óptimo biológico de los microorganismos termófilos, en la práctica se hace necesario que se alcancen temperaturas más elevadas y que éstas se mantengan a fin de eliminar parásitos y microorganismos patógenos (Rosal A. 2007).

2.1.2 Indicadores sensoriales de madurez.

Cambios en el color y el olor de compost se puede observar como abono estabiliza y madura. El compost se oscurece generalmente (aunque esto es, en cierto grado, una función de la materia prima) y los olores se vuelven menos ofensivo, cambiando de entrada y amoníaco-desea rico y terroso. Aunque estos indicadores sensoriales no son métodos particularmente sensibles para determinar la estabilidad o la madurez, se pueden utilizar para identificar los compost que son inestables o inmaduros. Cuando se utilizan conjuntamente, estos dos índices, incluso puede proporcionar una estimación muy aproximada de la estabilidad y la madurez. Los métodos normalizados de prueba están disponibles para la determinación del color y el olor de compost, y un método relativamente nuevo para el análisis de cuatro propiedades de color de abono, el espacio de color CIELAB, ha demostrado su potencial como un indicador de la estabilidad, la estabilización de las variables de color indica la estabilidad de compost. Sin embargo, se requiere más investigación en la utilidad de CIELAB, y ni el color ni el olor se debe utilizar como único indicador de la madurez (Wuchuk y McCartney 2010).

2.1.3 Método biológico. Respiración.

La respiración está directamente relacionada con la actividad metabólica de una población microbiana. Los microorganismos respiran a tasas más altas en la presencia de grandes cantidades de materia orgánica biodisponible mientras que la tasa de respiración es más lenta, si este tipo de materiales es escaso. En la actividad del compost, la respiración en el proceso se ha convertido en un parámetro importante para la determinación de la estabilidad del compost. También se utiliza para el seguimiento del compost y se considera un factor importante para la estimación de la madurez de la materia. Una amplia gama de respirométricos protocolos se han reportado en estudios de respiración del proceso del compost, ya sea en la producción de dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2) absorción o liberación de calor. Los más comunes métodos son los que se basan en la absorción de O_2 . Ensayos respirométricos se ven afectados por un número de parámetros incluyendo la temperatura, humedad, y tanto la incubación y condiciones de incubación previa. Los resultados de respirometría se expresan generalmente como "índices de la respiración, la mayoría de ellos con sus propias unidades y base (Barrena et al, 2006).

Índices de respiración se utilizan comúnmente en la evaluación de la estabilidad de compost. Estos índices proporcionan mediciones directas o indirectas de la cantidad de actividad biológica en una muestra, que, en condiciones óptimas, refleja el grado de descomposición del material de sustrato; mayor será el grado de descomposición (es decir, la más estable del material), menor la respiración microbiana actividad y, por lo tanto, la tasa. La tasa de respiración se refleja en el consumo de oxígeno o la producción de dióxido de carbono, ya que los organismos utilizan el oxígeno ($[\text{CO}_2]$) y el dióxido de carbono respiran ($[\text{CO}_2]$) durante la descomposición aeróbica. Potencial de recalentamiento (bajo condiciones controladas) también se considera un índice de respiración porque una gran cantidad de sustrato fácilmente biodegradable facilita una alta cantidad de biodegradación y la producción de calor. Por el contrario,

cuando el sustrato disponible se agota la actividad microbiana disminuye y desciende la temperatura (Wichuk y McCartney 2010).

Estos métodos consisten en medir el consumo del oxígeno por parte de los microorganismos en una suspensión preparada con una muestra de compost; si el compost no está suficientemente estabilizado el consumo de oxígeno será elevado y si por el contrario existe una alta estabilidad el consumo de oxígeno será menor. Los métodos respirométricos son considerados muy buenos para determinar la estabilidad, algunos de los inconvenientes que presentan estos métodos son, que el proceso de incubación puede ser relativamente lento y que la complejidad de los aparatos sea más o menos sofisticada (Rosal A. 2007).

La tasa de respiración tiene una estrecha relación con el nivel del metabolismo de los microorganismos, por tanto representa el estado de las actividades microbianas. La lenta tasa de consumo de oxígeno microbiano indica que el metabolismo biológico es de bajo nivel, que a su vez sugiere estabilidad. El principio de la evolución del CO₂ es bastante similar, excepto que una parte del total se libera CO₂ de las actividades anaeróbicas cuando la condición de aireación óptima no está satisfecho (Fu, Zhiyi 2004). El consumo de oxígeno oscila entre 2 a 6,5 (l) y el tiempo de reacción varía entre 60 y 180 días a temperatura ambiente. El uso de consumo de oxígeno para medir la estabilidad del compost. (Moreno y Moral, 2007)

La actividad respiración aeróbica fue identificado como el parámetro de estabilidad que se correlaciona directamente con la mayor actividad biológica en una matriz aeróbica. Esto es universal para todos los compostos y podría medirse fácilmente. Técnicas y métodos analíticos para medir la actividad de la respiración se compararon. Métodos de CO₂ evolución se considera que las mediciones más directas y precisas de la tasa de respiración aeróbica y la actividad biológica (Llewelyn 2005).

Índice de respiración dinámica de una buena correlación con tanto la temperatura y el flujo de aire tipo de confirmación de los resultados esperados sobre la base de la discusión teórica. Estos resultados confirman una vez más la fidelidad de ambos métodos y establecer del aparato científico. Sin embargo, los procedimientos de validación, es decir, medidas de precisión, se necesitan en el futuro para asegurar la calidad de los resultados generados por el método propuesto (Adani 2006).

2.1.3.1 Consumo de oxígeno.

La tasa de absorción de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microbios en una masa dada de sólidos durante un período de tiempo dado. Este parámetro teóricamente puede estar relacionada con la estabilidad de compost porque la actividad microbiana, y por lo tanto [CO₂] consumo, disminuye a medida que la materia orgánica biodegradable se utiliza hacia arriba (es decir, como abono se aproxima a un estado estable) (Tiquia 2005).

Las tasas de consumo de oxígeno, pueden ser mejores indicadores de actividad biológica que las tasas de evolución de CO₂, no como todos los microbios actividad conducen a la conversión de carbono orgánico para CO₂. Además, el CO₂ puede ser producido ya sea por la actividad aeróbica o anaeróbica, por lo que es nuestra preferible para el seguimiento de la respiración aeróbica solamente. Una tasa de entrada de oxígeno menor a 2.5 mg de O₂ g⁻¹ de sólidos volátiles por hora es un umbral para una buena estabilidad del compost. Con valores < 1.5 mg O g⁻¹ de VS h⁻¹ indican un compost es estable. La tasa de entrada de oxígeno, puede resultar un mejor indicador de actividad biológica que, la liberación de CO₂, ya que, no todos los microorganismos llevan a cabo la conversión de carbón orgánico a CO₂. Esta es preferible para los procesos de degradación aerobia (Wichuk y McCartney, 2010).

Para el correcto desarrollo del compost es necesario asegurar la presencia de oxígeno, ya que los microorganismos que en él intervienen son aerobios. Las

pilas de compostaje presentan porcentajes variables de oxígeno en el aire de sus espacios libres: la parte más externa contiene casi tanto oxígeno como el aire (18-20%); hacia el interior el contenido de oxígeno va disminuyendo, mientras que el de dióxido de carbono va aumentando, hasta el punto de que a una profundidad mayor de 60 cm el contenido de oxígeno puede estar entre 0,5 y 2%. La aireación es una variable de operación muy importante y la que más incide en los costes de operación, ya que suponen el 32-46% de los costos totales. La medida de la concentración de oxígeno requiere equipos costosos, pero puede también realizarse de una manera indirecta mediante las medidas de temperatura y humedad. Durante el proceso de maduración no deben hacerse aportaciones adicionales de oxígeno, ya que una excesiva aireación podría dar lugar a un consumo de los compuestos húmicos formados y a una rápida mineralización de los mismos (Lisanridi 1998).

2, 1,3 ,2 Evolución del CO₂.

La ventaja de medir la liberación de CO₂, es debida a su sencillez, menor costo y más precisa que la tasa de entrada de oxígeno. Los niveles umbral que se manejan para la madurez de un compost es de 500 mg de CO₂ 100 g⁻¹ de Carbono Orgánico Total (TOC), mientras que otros autores indican 6 mg de CO₂ g⁻¹ de Carbono (C) por día o menos. (Wuchuk y McCartney 2010)

La cantidad de dióxido de carbono liberado con el tiempo en el espacio de aire de un recipiente cerrado que contiene una muestra de compost húmedo de volumen conocido, el peso, a temperatura conocida y la presión se controla. Todas las muestras tienen grandes piezas de inertes retirados. Las muestras se ajustan a aproximadamente 50 por ciento de humedad, a continuación, las muestras se pre-incubaron en bolsas colocadas en una cámara a 37 °C y 100% de humedad durante 3 días. La muestra se añade a continuación a un recipiente que está sellado con el equipo de control adecuado para permitir la medición diaria de carbono dióxido de evolución para un periodo de 4 días. Los resultados se

calculan como el dióxido de carbono producido por unidad de sólidos totales de muestreo y el total biodegradables sólidos volátiles. (CCQC. 2001)

Varios autores han concluido que la evolución del CO₂ es un buen indicador de la estabilidad. Brinton y Evans (2001). Brewer y Sullivan (2001) investigó el uso de un método colorimétrico de detección de CO₂ del tubo por el costo rápido, de bajo análisis, se encontraron con que era preciso y mostró promesa como una prueba de estabilidad (con una tasa de evolución sugerida de CO₂ menos de 2 mg de CO₂ g⁻¹ C d⁻¹ que indica la estabilidad). Posterior trabajo (Matteson y Sullivan 2006) confirmó que los resultados tanto el método de CO₂ tubo de detección y un 4 h versión del método de captura alcalina correlaciona bien con la estándar de 48 h resultados trampa alcalinas. A pesar de las pruebas de diagnóstico rápido mostró promesa, la trampa de laboratorio alcalinas estándar método se ha considerado preferible por ahora debido a su una amplia aceptación, la precisión y fiabilidad. Los estudios por (Matteson y Sullivan 2006) demostró que la evolución de compost de CO₂ pruebas proporcionan información adicional sobre la eficacia del proceso de compostaje que no se refleja en las mediciones de temperatura de compost, la humedad y la concentración de O₂. El dióxido de carbono evolucionado a partir de una muestra de compost en una incubación de 4-h estaba fuertemente correlacionado con el CO₂ convertido en un 48-h de incubación.

Un método más son las Trampas álcali utilizado en conjunción con titulación se utiliza ampliamente como una técnica estándar para la medición de desprendimiento de dióxido de carbono. Las técnicas alternativas de medición incluir el uso de CO₂ tubos detectores de gas (por ejemplo, tubos de Draeger) o de CO₂ sensible colorimétricos indicadores (por ejemplo Solvita kits de prueba). Una alternativa al uso de titulación consiste en medir la conductividad de la solución alcalina como dióxido de carbono se absorbe. Esto permite la monitorización continua de la evolución de dióxido de carbono y se ha utilizado para los estudios de biodegradación. Técnicas de medición de CO₂ pueden clasificarse en aquellos

que implican la absorción de la CO₂ presente en el espacio superior de un recipiente sellado. Como el CO₂ se desprende de la muestra que es absorbido por el álcali. Libre de CO₂ de aire puede ser suministrado para mantener condiciones aeróbicas, una solución relativamente diluida de un álcali particular, puede ser utilizada y el cambio en pH medido en las emisiones de CO₂ en la atmósfera se equilibra con la solución alcalina. En este caso la concentración de CO₂ en el espacio superior del recipiente sellado sigue aumentar a medida que el CO₂ se desarrolló durante el período de prueba. (Wrap 2009).

Estos parámetros disminuyen gradualmente mostrando variaciones significativas a lo largo del compostaje y alcanzan valores finales que son indicativos de un buen grado de estabilidad y madurez en el compost. La correlación positiva encontrada entre las actividades de las dos enzimas estudiadas y la liberación del CO₂ indica que las actividades de dichas enzimas pueden ser útiles para estudiar la madurez y estabilidad del producto final en un proceso de compost (Defrieri et al, 2005).

Las concentraciones elevadas de CO en una instalación cerrada representan un riesgo potencial para la salud de los trabajadores, ya que el CO se une con facilidad con la hemoglobina y puede poner en peligro el suministro en el tejido corporal. La identificación de la fuente de CO y los factores que influyen en su producción podría permitir que las operaciones de los directivos de la instalación para reducir las emisiones de CO y en consecuencia, reducir las amenazas relacionadas con la salud en el trabajo. Las concentraciones más bajas de CO se observaron en el compost no esterilizado bajo condiciones aeróbicas y condiciones anaeróbicas, presumiblemente debido al metabolismo microbiano de CO (Phillip et al, 2011).

El monóxido de carbono es tóxico para muchos microorganismos, debido a su capacidad para inhibir el transporte de electrones en las cadenas. Debido a los amplios cambios naturales y las fuentes antropogénicas de CO, una amplia fisiológica diversidad se pueden encontrar entre las bacterias que

pueden explotación de CO como fuente de energía, Tanto las bacterias aeróbicas y anaeróbicas son capaces de oxidación de CO, y el destino de los equivalentes reductores depende del tipo de metabolismo. El factor anaerobio, son los equivalentes reductores que pueden ser acoplado a sulfato reducción para formar sulfuro (S^0), o para la reducción de las emisiones de CO para formar acetato (CH_3COO^-) o metano (CH_4). En el metabolismo aeróbico, equivalentes reductores se acoplan a O_2 reducción (King y Weber, 2007).

2.1.3.3 Pruebas de calentamiento.

La prueba de autocalentamiento del compost se puede emplear de manera indirecta como un estimador de respiración microbiana y permanencia de materia orgánica disponible. (Wichuk y McCartney 2010). La prueba de calentamiento espontáneo basado en la medición vaso Dewar tiene mérito como una técnica general para evaluar estabilidad de compost, siempre que las condiciones generales de la prueba y el equipo específico se aplicados. El método puede ser utilizado por los productores en condiciones de campo donde relativamente temperatura ambiente de $20^\circ C$ a $25^\circ C$ (pero no más de $25^\circ C$) puede ser mantenida alrededor del vaso. En el laboratorio (Britton et al 1995).

La prueba de auto calentamiento del compost se pueden utilizar para estimar indirectamente respiración microbiana y que permanece a disposición de la materia orgánica. La idea básica detrás de la prueba estandarizada, que emplea un recipiente especial (termo) convocó a una Dewar recipiente o frasco, es que bajo condiciones controladas (incluyendo recipiente de tamaño y contenido de humedad de compost) el aumento de la abono temperatura dentro del recipiente durante un período de unos pocos días está relacionada con la actividad microbiana, y por lo tanto la estabilidad de compost (Brinton et al, 1995; Sullivan y Miller 2001). Las pruebas de Calentamiento espontáneo difieren directamente a la temperatura en que se controla en una pequeña muestra, contenida de compost en condiciones cuidadosamente controladas (es decir, a escala de laboratorio), en

lugar de en una pila completa. Una de las ventajas de este método es que es capaz de simular, en condiciones controladas, lo que naturalmente podría se producen en una pila de compost.

Una prueba para autocalentamiento es la prueba de Dewarse basa en un 100 ml. D. frasco de alrededor de 1,8 litros de capacidad. Diferentes frascos de tamaños calientay se comportande manera diferente y no debe ser utilizado. Cuando se utilizamatraces de edad variable, la prueba de temperatura de estabilidad se debe realizar. La prueba debe llevarse a cabo sólo en estable la temperatura ambiente (18 -22 ° C) Dewar autocalentamiento puede dar falsos positivos para la maduración en condiciones tales como: alta humedad, pH bajo, o el daño por calor. Son dependientes en el procedimiento adecuado para la manipulación, tales como la densidad de empaquetamiento. Una nueva investigación indica que los falsos positivos surgen especialmente si la humedad es demasiado alta. El mejor resultado se encontró como la menor cantidad de humedad que se traduce en un buen mayor calentamiento. La cantidad óptima de humedad se ha determinado que el 50% de capacidad de retener agua de una muestra (CPM), que es inferior a la cantidad de humedad que normalmente se considera óptima para el compost para probar la tasa de respiración. El rango de valores de calor sugerido para interpretar la estabilidad de cinco grados de la original de 1988, estudio realizado en Alemania no tiene alguna significación biológica en términos de uso adecuado de las etapas de composto reales de compostaje. El nivel de calefacción que se utiliza como una medida absoluta se ha demostrado que se correlaciona bien con las pruebas, como la respiración de CO₂, ácido y Solvita® madurez. Las referencias se proporcionan para que el usuario pueda familiarizarse con los informes publicados que hacen existir. (Mohedo 2002.)

La determinación de la temperatura a lo largo de un proceso de compostaje es un parámetro muy informativo si se interpreta correctamente. En teoría, cuando el proceso está finalizando, el compost debería alcanzar temperaturas cercanas a

las ambientales. En muchos casos esto no es así debido a la gran cantidad de material almacenado y a sus características térmicas.

El test de autocalentamiento, aplicado a un compost insuficientemente estable, pone en evidencia su actividad biológica a través de cambios de temperatura, al aislar una cantidad relativamente pequeña de material en un vaso Dewar. Los incrementos superiores de temperatura indican materiales más inestables. (Brewer y Sullivan 2001)

2.1.3.4 Pruebas de solvita®.

La prueba de Solvita® es un procedimiento semicuantitativo de determinación de la liberación de dióxido de carbono (CO₂) y de amoníaco (NH₃) en un espacio cerrado sobre un volumen determinado de compost. Esta prueba proporciona una determinación rápida y exacta de la madurez del compost. (sadzawka et al. 2005).

El procedimiento Solvita® es un ensayo ampliamente reconocido y simple que da un índice de madurez para el compost activo o de edad avanzada. En este método se mide la respiración de dióxido de carbono y amoníaco de manera simultánea en la misma prueba. Cada uno de estos rasgos por sí solos proporciona una muestra importante de la calidad del compost, y se utilizan conjuntamente con precisión para estimar la condición general y la seguridad de cualquier producto compostado. La madurez del compost es un término que se utiliza en una variedad de maneras. La prueba de madurez Solvita® ocupa su abono en una escala de 1 a 8 de índice de madurez cada vez mayor. La madurez en este sentido significa resistente a la descomposición adicional y libre de compuestos tales como amoníaco y ácidos orgánicos que pueden ser tóxicos para el crecimiento vegetal. (Woods y Research Laboratorio, 2000).

La prueba solvita® puede utilizarse eficientemente para los fines siguientes:

- 1) Para cumplir con las normas estatales, gubernamentales o comerciales que especifican la estabilidad y la madurez
- 2) Para evaluar las condiciones de compostaje con el fin de hacer mejorar
- 3) Para determinar el mejor uso final antes de su distribución y venta.

La madurez de las compostas también fue evaluada por la prueba de “solvita®” que es un procedimiento relativamente nuevo y sencillo para determinar el índice de madurez de muestras de composta. Se basa en la medición simultánea y conjunta del amoníaco y dióxido de carbono eliminado durante la respiración. El análisis de madurez “solvita®” clasifica la madurez de la composta según una escala de color que desarrollan dos paletas colocadas en la muestra de composta, del 1 al 5 para el amoníaco y del 1 al 8 para el CO₂. (Iñiguez 2006).

Con el método de solvita® se demuestra que es un buen indicador de madurez del compost y es más útil en las etapas posteriores del proceso de compostaje. Con estas pruebas de Solvita® representan métodos rápidos, sencillos y poco sofisticados para vigilar la estabilidad de compost y la madurez a compostaje a gran escala de plantas de procesamiento de residuos verdes. (Sánchez et al. 2003).

Este método se basa en la medición simultánea y conjunta del amoníaco y el dióxido de carbono eliminado durante la respiración. El análisis de la madurez solvita® se clasifica a la madurez en el proceso de compostaje según una escala de color que desarrolla dos paleta colocadas en la muestra, del 1 al 5 para el amoníaco y del 1 al 8 para el Co₂ (Iñiguez et al. 2006).

La prueba de Solvita®, solamente requiere de algunos grados de estandarización para que sea de utilidad. Una de sus desventajas es que no es altamente precisa. A pesar de que se pueden utilizar tres repeticiones para

mejorar su efectividad, se ha encontrado que aunque lo realices 6 veces, los resultados no cambian y con una sola prueba es suficiente. La prueba de solvita®, trabajará bien si se considera lo siguiente: a) el compost este bien mezclado; b) Humedad óptima, pH, C: N y condiciones de O₂ deben ser mantenidas; c) el material se ha sometido a descomposición por más de dos semanas. (Wichuk y McCartney 2010).

Brewer y Sullivan (2001) informan que la prueba Solvita® es útil para distinguir la inmadurez del compost, pero es deficiente en vigilar la transición de compostaje activo de la etapa de maduración. Varios estados de Estados Unidos han incluido el método de Solvita® sus especificaciones de compost (como un requisito o como un aceptable el método de ensayo). Se utiliza en todo el mundo, ha sido incluido como un método de ensayo aceptable en varios países de Europa directrices y reglamentos de abono, en particular en Alemania, Dinamarca, Suecia, España y Noruega.

2.1.3.5 Bioensayos de fitotoxicidad.

El compost es una valiosa fuente de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y otros macro y micronutrientes, por lo que su aplicación en la agricultura es un destino eficiente. Sin embargo, los compost presentan limitantes por la presencia de distintas sustancias con efectos fitotóxicos (Selim et al, 2012)

Los efectos fitotóxicos del compost se determinaron a través de bioensayos de germinación, Se observaron que estos efectos se relacionaron principalmente con el pH y la conductividad eléctrica. A pesar del conocido efecto de los metales pesados, fenoles y amoníaco en la germinación, en este caso, ninguno de ellos pudo relacionarse con el índice de germinación. Pueden existir otras sustancias fitotóxicas no determinadas en la presente investigación, que tienden a degradarse durante el compostaje. Esto explicaría los mayores Índices de Germinación en los tratamientos con compost más maduros. En síntesis no se observaron riesgos de

fitotoxicidad en el uso de compost de biosólidos bien madurados (Zubillaga et al, 2008).

Fitotoxicidad es una de los más importantes criterios para evaluar la idoneidad del compost para fines agrícolas y para evitar los riesgos ambientales antes de que estos abonos se puedan reciclar de nuevo a las tierras agrícolas. Trabajos de investigación ha demostrado que la aplicación de compost inmaduro en el suelo provoca efectos negativos en la germinación de la semilla, crecimiento y desarrollo. Estos efectos se producen debido a un compost inmaduro induce a una alta actividad microbiana (que reducen la concentración de oxígeno en el suelo), bloquea el nitrógeno disponible en el suelo existente. Compost inmaduro también introducen compuestos fitotóxicos tales como metales pesados. Los compuestos fenólicos, etileno y amoníaco, el exceso de acumulación de sales, y ácidos orgánicos que podría retrasar germinación de las semillas y crecimiento de las plantas. (Selim et al .2012).

La madurez de un compost se puede establecer mediante bioensayos de germinación con especies sensibles a metabolitos fitotóxicos. Estas sustancias debieran ser metabolizadas o inmovilizadas durante la fase de maduración del compostaje, generando un material estabilizado biológicamente y con una baja o nula fitotoxicidad (Varnero et al 2007).

La fitotoxicidad de los extractos de compost se puede evaluar por la técnica de germinación de las semillas (Zucconi et al. 1981, Tam y Tiquia, 1994 y Tiquia et al., 1996). Para realizar pruebas de fitotoxicidad se debe realizar lo siguiente: esterilizar en superficie por inmersión en alcohol al 75% durante tres minutos seguidos por la transferencia de 0.001 HgCl₂ solución durante dos minutos con agitación periódica y finalmente se lava cuidadosamente con agua destilada estéril para deshacerse de las sustancias químicas tóxicas [Rovira, 1956]. 10 ml de extracto de agua de compost fue aplicada a un papel de filtro en una placa de Petri y 20 semillas fueron entonces colocadas en el papel de filtro. Todos

los experimentos se realizaron en triplicado. Las placas Petri se cerraron herméticamente con cinta adhesiva para minimizar la pérdida de agua al tiempo que permitiera la penetración del aire, a continuación se incubaron en la oscuridad durante 72 horas a temperatura ambiente. El porcentaje de germinación de las semillas y la longitud de las plantas en los extractos se determinó. La germinación de las semillas en agua destilada se utilizó como control. El porcentaje de germinación de las semillas, la elongación de la raíz y el índice de germinación (IG) se calculó de acuerdo a la (Zucconi et al, 1981)

Los efectos fitotóxicos de un material orgánico inmaduro se deben a diversos factores, entre los cuales destacan los contenidos de amonio, de ácidos volátiles orgánicos, de metales pesados y de sales. Estas sustancias, en elevadas concentraciones, pueden generar efectos perjudiciales en el desarrollo de las plantas, inhibiendo la germinación de semillas o el crecimiento de raíces por lo que es altamente riesgosa su utilización en cultivos (Varnero et al 2007).

Se acordó que el ensayo biológico era la mejor manera de determinar los posibles efectos fitotóxicos. Varios métodos y especies de plantas habían sido utilizados. Todos tenían un uso, pero no cubren todos los aspectos necesarios, es decir, la velocidad de la prueba, la evaluación de la germinación y el crecimiento temprano de la raíz, el crecimiento de la parte superior, finalmente, el desarrollo del fruto. La conductividad eléctrica es un problema y se acordó que algunas muestras pueden ser necesarias, sin embargo, no hubo acuerdos sobre los diluyentes posibles. (Wood 2005).

En las primeras etapas de descomposición de la materia orgánica, una variedad de cadena corta de ácidos orgánicos se produce como compuestos que pueden ser tóxicos para las plantas, y muchas especies son experiencia de la inhibición del crecimiento si se plantan en un medio que contiene compost inmaduro. Como el compost maduro, sin embargo, estos ácidos se descomponen más y la fitotoxicidad disminuye (Sullivan y Miller 2001).

Se han realizado pruebas de germinación con cebada en Alemania, empleando mezclas de compost y una mezcla de suelo estándar a concentraciones de 25 y 50 %. Las mejores plantas que se pueden emplear para las pruebas de fitotoxicidad validadas sería la cebada y *Lepidium sativum* (berro). (Wuchuk y McCartney, 2010).

La estabilidad y la fitotoxicidad fueron reconocidos como los parámetros de madurez de aplicación universal para el compost para uso agrícola u hortícola. Diferentes métodos de evaluación de fitotoxicidad fueron considerados. Un enfoque de bioensayo de planta fue reconocida como la única forma directa de medir la fitotoxicidad. Un documento fue presentado para su revisión se detalla la lógica y la toma de decisiones que conduzca las recomendaciones. Las opiniones del grupo de compañeros se incorporaron a los métodos de prueba que se lleve adelante en la investigación de laboratorio y pruebas. (Wrap 2005).

2.1.3.6 Pruebas de germinación.

De acuerdo con TMECC(2002), las pruebas de germinación de las semillas son capaces de indicar si hay o no son significativas cantidades de fitotoxinas en un compost. Es importante tener en cuenta, sin embargo, que el desarrollo de semillas en general no se afecta a menos que cantidades significativas de compuestos orgánicos o NH_3 están presentes.

Las pruebas de germinación son las más utilizadas por su simplicidad en el desarrollo de la semilla y ver como reacciona la germinación en el compost, y además son relativamente fáciles de interpretar. El test de germinación puede realizarse con extractos de compost obtenidos por diversos métodos (distintas relaciones muestra/extractante y distintas temperaturas), lo que dificulta la comparación de resultados y el establecimiento de normas. Se aplica el extracto obtenido a semillas de *Lepidium sativum* y se compara con un testigo en agua destilada. Se determinan las diferencias de germinación y de crecimiento de radículas. Los resultados pueden verse influidos por la salinidad y la presencia de

componentes fitotóxicos (amoníaco, ácidos volátiles). El test de germinación más utilizado es el test de Zucconi, aunque sería conveniente buscar tests alternativos o complementarios. En plantas de compostaje alemanas se realizan además otros dos tipos de test: uno para determinar la germinación de semillas de malas hierbas y otro de crecimiento con cebada (poco afectada por la salinidad pero muy sensible a los posibles componentes fitotóxicos que puedan aparecer a lo largo del compost) Soliva y López. (2004). Las pruebas de germinación es la mejor manera de probar la fitotoxicidad de compost para el crecimiento vegetal debido a los resultados del mismo son bastante sencillos y fiables. Bioensayos de germinación son ampliamente utilizados para la prueba de la salinidad, patógenos del suelo, sustancias tóxicas (tales como compuestos fenólicos y metales pesados), y algunas otras propiedades físicas y químicas del compost. (Soliva y López 2004)

El índice de germinación es una prueba de madurez basada sobre la germinación de las semillas y el crecimiento inicial de la planta con un extracto líquido del compuesto. Esto refleja la fitotoxicidad de los extractos de compost a diferentes etapas de compostaje. El compost se considera madurar cuando el índice de germinación es superior a 60%, en comparación con el control con agua destilada (Selim et al., 2012).

Woods y Laboratorio (2004) observaron que los resultados del bioensayo de germinación variaron de acuerdo con la especie de semilla en el ensayo y los procedimientos y que el tomate y lechuga eran muy sensibles a la presencia de compuestos fenólicos en los medios de crecimiento. Ha estandarizado un procedimiento de fitotoxicidad usando semillas de berro y el trigo en una mezcla de base de turba. En su opinión, el compost no es tóxico, cuando la tasa de germinaciones más del 85% o el peso de plántulas de las plantas es más del 90%. Al lado, los científicos encontraron que las indicaciones geográficas de compostaje en cada tiempo de compostaje no mostraron cambios significativos con las diluciones de

los extractos, o incluso cuando el extracto se diluye hasta un 75% con agua destilada.

Las pruebas de germinación de la semilla son capaces de indicar si hay o no cantidades significativas de fitotoxinas en un compost. Los índices de germinación no son un indicador real de madurez, como tampoco es posible establecer un valor umbral para todo tipo de compost (Wuchuk y McCartney 2010).

2.1.3.7 Crecimientos de la planta.

Dado que muchos productos de compost están destinados para su uso en producción de la planta, puede ser prudente utilizar un crecimiento de las plantas prueba como un medio de evaluación de la madurez. Pruebas de crecimiento de plantas (por ejemplo, elongación de las raíces o en peso por encima del suelo) pueden ser utilizadas como un relativamente simple, medida directa de fitotoxicidad. Sin embargo, los resultados son dependientes en la preparación de los medios de comunicación (por ejemplo, las mezclas, el compost y el suelo (Brinton 2000)).

La última prueba de la calidad del compost es su efecto sobre las plantas. Sin embargo, el campo pruebas de introducir una serie de otras variables como Además de ser mucho tiempo y laborioso. Con el fin de hacer bioensayos más útiles, varios científicos han utilizado el indicador plantas. Una desventaja de bioensayos es que no son útiles para evaluar las diferencias en la estabilidad a principios de las etapas del proceso, (Willson 1986).

Brintony Evans (2001) indicó que tanto el grado de desarrollo de la raíz y el rendimiento de la planta sobre el suelo varían con el nivel de madurez del compost, en su raíz estudio el crecimiento fue suprimida en compost inmaduro y semicurados, mientras que en el biencurado las raíces de las muestras se extendió por toda la forma de la parte inferior de los recipientes. Según Wuchuk y McCartney (2010) Tanto el grado de desarrollo de la raíz como el rendimiento de

cultivo varía con el nivel de madurez de compost; en estudios la supresión de la raíz se debe por la inmadurez y semicurada compost.

2.1.3.8 Actividades enzimáticas.

Las enzimas desempeñan un papel como catalizadores en la cadena respiratoria de todos los microorganismos. Por ejemplo, deshidrogenasas (DHases) están involucrados en la oxidación o la fermentación de la glucosa, celulasas jugar un papel en la hidrólisis de los polisacáridos tal como celulosa, ayuda proteasas en la descomposición de proteínas, y pero ayudar a catalizar la descomposición de las ligninas y bencilo alcoholes). Actividad enzimática se puede utilizar para evaluar el nivel de actividad microbiana en una muestra de compost. (TMECC 2002)

Un alto nivel de actividad DH-asa es sugerente de una considerable cantidad de material que queda fácilmente biodegradable (por ejemplo, glucosa), y su actividad se espera que disminuya ya que este material se agota y se estabiliza compost. Actividad de la peróxidos, por otro lado, debe aumentar a medida que progresa el compostaje, cuando la proporción de materia menos degradables, tales como lignina aumenta (TMECC 2002). Los análisis de Actividad enzimática es relativamente sencillo, rápido y barato (Gómez-Brandon et al 2008).

Las enzimas en compost se pueden clasificar como (enzimas dentro de las células viables) intracelulares o extracelular (enzimas fuera de las células. Enzimas intracelulares son enzimas que catalizan las reacciones bioquímicas que ocurren dentro de las células. Por el contrario, las enzimas extracelulares son enzimas propósito Autorizaciones exteriores a las células, generalmente para catalizar la degradación de las sustancias poliméricas (es decir, polímeros vegetales, celulosa: hemicelulosa y lignina) demasiado grande para atravesar

la celular membrana. Las enzimas intracelulares y extracelulares no puede ser distinguen en las suspensiones de compost. Sin embargo, después de un período de incubación breve, el grupo extracelulares de las enzimas se puede asignar más fácilmente a la que una gran parte de las enzimas en suelo (Tiquia 2002).

Actividad de deshidrogenasa se ha correlacionado positivamente con otras medidas de la estabilidad del compost y la madurez, incluidos los parámetros de humificación, la captación de O₂ y CO₂ evolución (Tiquia et al 1996; Tiquia 2005).

Tiquia (2005) observaron disminución de la actividad DH-asa como el compostaje progresado, lo que indica una reducción en la descomposición activa, junto con una estrecha relación entre DH-asa actividad y humificación parámetros. Saviozzi et al col. (2004), por ejemplo, vio los niveles de actividad bastante constantes para DH-asa y otra enzima, la catalasa, durante el proceso de compostaje con residuos urbanos, de hecho, los niveles finales fueron levemente mayores que los niveles iniciales. Llegaron a la conclusión de que la actividad enzimática no era un buen indicador de la estabilidad. Basándose en estos resultados, se sugiere que un nivel de menos de 35 mg g⁻¹ de compost indicaría un abono de cerdo producto de compost maduro, Cabe señalar que los diferentes materiales como materia prima puede producir compost estables con una serie de actividades enzimáticas, haciendo que el establecimiento de un valor umbral único difícil (Gómez-Brandon et al. 2008).

Las enzimas del suelo también son muy importantes para describir y hacer predicciones acerca del funcionamiento de un ecosistema y las interacciones entre subsistemas. En este sentido se han realizado numerosos estudios para identificar los cambios en la actividad enzimática del suelo causados por la lluvia ácida, los metales pesados, los plaguicidas y otros productos químicos de uso industrial o agrícola, La actividad de determinadas enzimas, como las deshidrogenasa, se ha usado para calcular la actividad microbiana total de un suelo, y se ha encontrado que posee una buena correlación con otros métodos como el de la respiración del suelo, más antiguo y conocido. Nosotros la hemos determinado a partir de la

hidrólisis del diacetato de fluoresceína, que resulta ser una prueba más sensible y rápida que la actividad deshidrogenase (Pérez, et al 1995).

Otra alternativa en la reducción de residuos y/o su pretratamiento es la aplicación de enzimas purificadas, pero si bien este tipo de procesos involucran tiempos de incubación menores de sólo unos pocos días, poseen costos muy elevados. El sistema celulítico comprende varias enzimas como las endoglucanasas, las exoglucanasas (celobiohidrolasas) y las b-glucosidasas. La importancia de estas enzimas en la degradación de residuos sólidos (Diorio, et al 2003)

2.1.4 Método químico. Relación carbono nitrógeno (C: N).

En el proceso de compostaje el carbono es la fuente de energía utilizada por los microorganismos para la activación de sus procesos metabólicos, mientras que el nitrógeno, es el material básico para la síntesis de material celular, por lo tanto la relación C/N es uno de los aspectos más importantes en el balance nutricional del compost. Es deseable que la relación C/N este en el rango de 25:1 a 50:1 en la mezcla inicial, Un exceso de carbono asociado a valores altos de la relación C/N, limitan la síntesis de material celular por parte de los microorganismos disminuyendo su crecimiento y retardando el proceso de estabilización de la materia orgánica. La relación C/N se considera como un indicador del grado de avance del proceso, así al inicio del proceso esta relación de ser del orden de 30:1 y al final cuando se alcanza la maduración del compost puede ser de 10:1. (hoyos et al, 2010).

Cuando se inicia el compostaje es conveniente que la relación C/N de la matriz a compostar (material único ó mezcla de materiales) sea próxima a 30. Relaciones iniciales más bajas (menor de 20) conducen a una pérdida de Nitrógeno en forma de amoníaco, y valores más altos alargan el tiempo de

compostaje. Para preparar sustratos de materiales orgánicos como cortezas, serrines ó paja, con una C/N inicial alta (>100), el Nitrógeno puede ser suministrado en forma de úrea, (Domínguez2010).

IglesiasJiménez yPérezGarcía(1991) encontraronque larelación C:N deextractos acuososde compostestabilizadocerca de5:1 o 6:1sin tener en cuentadelmaterial de alimentación, e indicó queeste, en lugar que larelación C:N dela fase sólida, seríaunindicador fiablede la madurez.

los cambios en esta relación depende de otras propiedades del compuesto, tales como el pH, por ejemplo, a pH básicos (> 7,5), la pérdida de carbono como CO₂ y la pérdida de nitrógeno como NH₃ son concurrentes, y como resultado la relación C: N puede permanecer estable a lo largo de compostaje (Sullivan y Miller 2001).

Una medida de compost que es propicio para el crecimiento del cultivo se refiere a la madurez (Wang et al, 2004), que representa la relación entre la calidad del compost y el crecimiento del cultivo. En el Por otro lado la estabilidad se refiere a la biológica aerobia actividad (Llewelyn, 2005), que representa la relación entre la calidad del compost y la actividad biológica en el compost. Un parámetro importante para madurez del compost es la relación entre carbono y nitrógeno (C / N). C / N de menos de 20 es común a través la industria de compostaje internacional como un indicación de la madurez. Hasta ahora, no es parte de regulaciones sino que forma parte de las directrices administrado por el Ministerio de Medio Ambiente y provincias de Indonesia. Además de la relación C / N, recomendación se ha propuesto incluir la tasa de absorción de oxígeno (OUR) para el parámetro de la estabilidad. La inclusión de múltiples estándares para la madurez y la estabilidad de abono se incrementarán la prueba la calidad del compost precisión. Las preocupaciones sobre estos la calidad del compost estándares (mangkoedihardjo 2006).

El valor numérico de esta relación se halla al dividir el contenido en C (MOT/2) por el contenido en nitrógeno orgánico. Es un parámetro ampliamente usado, pero debe ponderarse correctamente, teniendo siempre presentes otros aspectos del compost analizado. Equivocadamente se considera que el compost está maduro si el cociente C/N se acerca a 10; este valor es el que presenta la materia orgánica estabilizada de un suelo que no tiene por qué corresponder al que presente la MO estabilizada de un compost. Es necesario conocer la relación C/N inicial en los residuos a compostar puesto que nos dará una idea de la velocidad del proceso y de la posibilidad de pérdidas de nitrógeno. En la figura 10 se muestra información

Al respecto y además se indica la relación C/P adecuada para procesos biológicos, aunque no acostumbra a presentar problemas (Soliva y López 2004).

2.1.4.1 Reducciones de la materia orgánica.

Parte de la materia orgánica inicial es liberada en forma de CO₂ por los microorganismos. Por lo tanto el contenido de MO disminuye constantemente durante el compostaje. En el inicio, la materia orgánica está compuesta por carbohidratos, proteínas, lípidos y compuestos leñosos. Después de compostaje, la mayor parte del orgánico está en la forma estable de sustancias húmicas. Si grandes cantidades de arcilla o tierra se mezclan para las materias primas, el porcentaje de disminución de materia orgánica y el análisis del contenido de materia orgánica se hace menos importante. (Ascp 2001).

Los materiales de compost como materia prima se componen de una variedad de compuestos orgánicos como los carbohidratos, proteínas, lípidos, y ligninas. Como compostaje avanza, cerca de la mitad de esta materia orgánica se convierte en CO₂ y liberados, mientras que el resto es eventualmente llegan a

convertirse en compuestos más estables. Así, el proceso de estabilización puede ser teóricamente monitoreado a través de la reducción de materia orgánica. El contenido de materia orgánica del compost puede ser estimada mediante la evaluación de los sólidos volátiles (VS) contenido (ASCP 2001, Bio- Lógica de 2001; TMECC 2002).

De hecho, TMECC (2002) recomienda que para la MO se tengan en cuenta para metros como la estabilidad y la madurez (o) índices como relación C: N, respirometría, pH, amonio relación nitrato, etc., en lugar de ser utilizado como un independiente prueba. Algunos investigadores han llegado a la conclusión de que MO ha determinado que para la evaluación de la madurez no es tan eficiente para su evaluación. Wu et al. (2000) coincidieron en que la MO es un mal indicador de estabilidad y madurez, ya que no se observan ninguna coherente de las tendencias en el contenido total durante el proceso del compost de biosólidos.

La MO es un parámetro que inicialmente utilizado en la caracterización química de las turbas. Indica el porcentaje de materia orgánica resistente (MOR) a la hidrólisis ácida y se acostumbra a expresar respecto a la materia orgánica total, denominándose el grado de estabilidad (GE). Es de esperar que al avanzar el compostaje se eleve su contenido, ya que aumenta la cantidad de productos resistentes a la hidrólisis, por incremento relativo, en el caso de ligninas, y por formación de nuevas sustancias estables. (Soliva y López. 2004)

2.1.4.2 Parámetros de humificación.

La humificación es el paso final en la degradación de la materia orgánica, la cual es básicamente el clivaje de moléculas de grupos fenólicos, la mayoría de los procesos de humificación es debido a los microorganismos. El humus es uno de los elementos que forman el compost maduro, este humus es la materia que queda de la descomposición de los restos de la materia orgánica que los microorganismos desintegran (Koliet al 2007).

En la descomposición de material orgánico como producto final podemos obtener el compost. Este proceso implica la formación de ácidos fúlvicos (AF) como un paso intermedio en la formación de ácidos húmicos (HA) y, finalmente, insoluble, no fitotóxicos – húmicas sustancias (ASCP 2001; TMECC 2002). Como resultado, la fracción de compuestos húmicos que componen un material como MO total, se espera que aumente a un valor casi constante como compost maduro listo para ser utilizado en cultivos como abono orgánico de calidad (TMECC 2002; Wu y Ma 2002). Estos cambios han dado lugar a la investigación de un número de parámetros como la humificación como indicadores de la madurez (Bio-Logic, 2001).

Varios parámetros como la humificación se han estudiado para determinar la madurez del compost. Tiquia (2005) observaron incrementos en el contenido de estiércol compost como maduró, correspondiendo con una disminución en el O₂ como tasa de consumo.

Se han encontrado estudios en que existe un incremento de los ácidos húmicos y reducción de los fúlvicos, esto como producto de la descomposición de la MO, manteniéndose en una relación de 1.6:1; por tanto esta fracción correlaciona bien con la liberación de CO₂, indicando la madurez del compost, por lo tanto se puede indicar que el índice de humificación es un buen indicador de estabilidad. Se ha encontrado que la relación de HA: FA, no describen adecuadamente la estabilidad ni la madurez del compost (Wuchuk y McCartney, 2010).

2.1.4.3 Capacidad de intercambio catiónico.

La capacidad de intercambio catiónico es uno de los parámetros que se han investigado como un indicador de compost estabilidad y madurez. Iglesias Jiménez y García Pérez (1991) llegó a la conclusión de que CIC es un buen método para determinar rápidamente el estado de madurez del compost, y que complementa esta prueba con las mediciones de temperatura de pelo puede ser incluso mejor. Brewer y Sullivan (2001) indicaron que CIC es un indicador

significativo de la estabilidad de compost y madurez y podría por sí solo como una prueba exacta, la misma autores (Brewer y Sullivan 2003) más adelante se indica que la CIC fue inferior a la de cualquier otro laboratorio y pruebas rápidas de estabilidad para el compost de desechos de jardín, incluyendo el método de la trampa alcalina para la respiración de CO₂, el método de Dewar calentamiento espontáneo, y el Solvita1 kit de prueba.

Boulter-Bitzer et al. (2006) observó una disminución en el CIC de cinco diferentes compost, más que el aumento previsto, debido a la mineralización orgánica como el compostaje avanzado, y concluyó que CIC no es una herramienta de evaluación valiosa. Mathur y col. (1993) También indicó que basar los valores de la CIC sobre el contenido de MO puede no ser válido, ya que no todos MO es el humus, y que de complejos iones tales como cobre, hierro o aluminio, pueden bloquear catión sitios de intercambio, provocando variaciones en las lecturas de la CIC. Además, incluso si este parámetro se encuentra que es aceptable para las determinaciones de estabilidad, puede ser difícil llegar en un único valor umbral debido a que tanto compostaje técnica y materiales de alimentación pueden afectar los niveles de la CIC (Butler et col. 2001).

2.1.4.4 Potencial de hidrogeno (PH).

El amonio (NH₄⁺) se libera durante la biodegradación rápida de sustratos fácilmente disponibles. Este compuesto actúa como un álcali y hace que el pH de compost tienda a aumentar, en general por encima de 8. Como el compost madura, este NH₄⁺ está nitrificado y el pH disminuye. Se cree que un pH alto, por lo tanto, puede ser indicativo de altas cantidades de NH₄⁺. Y por lo tanto inmadurez (ASCP 2001). A medida que avanza el compostaje, el NH₄⁺ volatiliza y forma ácidos orgánicos, causando una disminución del PH en el proceso del compost, y por lo tanto los ácidos orgánicos se neutralizan. Algunos investigadores han indicado que el pH debe acercarse a un valor neutral valores que son indicador de un compost maduro (Gómez-Brandon et al 2008).

El parámetro como el pH ha sido estudiado como un potencial indicador de la estabilidad y la madurez de compost. Brewer y Sullivan (2001, 2003) encontraron que el pH aumentó a partir de un valor inicial cerca de 5 a casi neutro (6,5-7, 0) en compost maduro de residuos de jardín. Brewer y Sullivan (2003) llegaron a la conclusión de que se podría utilizar como un indicador independiente de madurez los estudios de compost en restos de sillal como material degradable, pero en general sería mejor adecuado como un indicador de la calidad del compost en general.

Variación de los resultados de un índice de estabilidad individual como el pH, que se producen como consecuencia de la variación de los materiales de compostaje y condiciones, sugieren la importancia de la evaluación de las pruebas de estabilidad técnicas en una variedad de sistemas de compostaje (Avnimelech et al. 1996).

El pH es un efecto considerable en el proceso de compostaje. Valor inicial del pH (5,95). La degradación microbiana inicial de los residuos de alimentos conduce a la producción de intermedios ácidos orgánicos, que causan el pH a disminuir. Después del período, el pH tiende a aumentar en fase termofílica, la cantidad de aumento es alta. Después de la fase termofílica, el pH disminuye la tasa de cambios cada vez lento y el intervalo de pH se mantiene relativamente estable. El amoníaco es una de las razones más importantes para el aumento del pH en la fase termofílica. La volatilización del amoníaco podría ser una de las razones más importantes para el pH disminuya. Como el producto de compostaje, los ácidos orgánicos se neutralizan y el compost contenido se proporción a que tiene un pH neutro o alcalino (Mokhtari et al 2011).

Al igual que la temperatura, el pH puede ser un buen indicador de la evolución de la fase de bio-oxidación y el desarrollo microbiano. El pH aumenta gradualmente a 8-9, principalmente a causa de la degradación metabólica de estos ácidos orgánicos o pérdida por volatilización. Finalmente, el pH cae ligeramente durante el enfriamiento y puede eliminar los valores de entre 7 y 8, valores importantes de indicador de estabilidad del proceso de compost de calidad (Iglesias Jiménez y García Pérez 1991).

El pH de la corteza (4.5-5.2) es inferior al intervalo óptimo (6.5-8.5) para el proceso de compostaje. La adición de nitrógeno amoniacal y/o estiércol de aves eleva el pH y, generalmente, se obtienen tasas de descomposición más altas que las obtenidas cuando se utiliza el nitrato amónico como única fuente de nitrógeno. La úrea, el estiércol y otros residuos con elevado contenido de nitrógeno (como fangos depuradora) son la fuente de nitrógeno preferible. De todas formas el pH del compost ha de permanecer por debajo de 7.4 en sistemas de compostaje de aireación forzada para que no se produzcan pérdidas excesivas de amoníaco. Para evitar este problema se han de utilizar mezclas de úrea y nitrato amónico ó úrea y otras fuentes de nitrógeno orgánico. La respuesta de las plantas en composts producidos con estiércol de aves, frecuentemente, es mejor que en compost producidos con fuentes de nitrógeno sintético. También se ha utilizado con éxito estiércol de cerdo (Adani et al 2006).

Los cambios en el pH durante el proceso se deben a los cambios constantes en la composición química del sustrato. El pH en el compost está influenciado por tres sistemas ácido–base: 5

- El sistema carbónico, con el dióxido (CO_2) que se forma durante la descomposición y puede escapar a la atmósfera como gas o disolverse en los líquidos, formando ácido carbónico (H_2CO_3), bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^-). Este sistema tiene dos constantes de disociación (pK_a): 6,35 y 10,33 a 25°C y la tendencia es a neutralizar el pH, incrementando los pH bajos y reduciendo los pH altos. (Castrillón 2006).

- El segundo sistema es el amonio (NH_4^+) – amoníaco (NH_3), que se forma cuando se descomponen las proteínas. Durante la fase inicial del compostaje la mayoría del nitrógeno metabolizado es usado para el crecimiento de los microorganismos, pero durante la fase de mayor actividad se libera el ión amonio. El sistema amonio tiene una constante de disociación (pK_a) de 9,24 a 25°C y de esta forma incrementa el pH a valores cercanos a 9,24.

- El tercer sistema está compuesto por varios ácidos orgánicos en los cuales predominan el ácido acético y el ácido láctico. Este sistema puede reducir el pH a 4,14, que es el pKa del ácido láctico a 25°C.

Estos tres sistemas se combinan para formar la curva típica del pH del compostaje, donde se presenta un descenso en la fase inicial, un aumento en la fase de máxima actividad y luego la tendencia es a la estabilización.

2.1.4.5 Amonio y nitrato.

Una de las condiciones estables para un compost es las fases de temperaturas, y una de las más importantes es: (mesófilos las temperaturas y la baja actividad microbiana) son favorables para la NO_3 producción y desfavorable para NO_3 pérdida a través de la desnitrificación. La disminución resultante en NH_4^+ + Y aumento en NO_3^- conduce a un incremento en el $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ Relación como abono madura (Brinton 2000; ASCP 2001; Sullivan y Miller 2001). De acuerdo con ASCP (2001), el $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ Cociente + es muy útil para evaluar la calidad del compost, con una relación inferior a 2:1 ser indicativa de un producto inmaduro. Brinton (2000) estuvo de acuerdo, e indicó también que los altos niveles de NO_3^- propios son una señal de que la maduración se está produciendo. Bernal et al. (1998) recomienda un $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ relación de 0,16:1 o menos (Es decir, un $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ Proporción de 6.25:1 o superior) como un apropiado de corte entre los compost maduros e inmaduros.

Mientras que Ko y col. (2008) emplea un umbral de 1:1 para el $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ relación (Es decir, 1:1 o superior para $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$) Y se indica que esta relación es más útil que la relación C: N para evaluar la estado de compost. Sin embargo, el $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ Relación sólo proporciona información útil si la cantidad de nitrógeno disponible es suficientemente alta. Por lo tanto, ASCP (2001) requiere que haya por lo menos 50 mg NO_3^- -1 kg de peso fresco (FW, donde peso fresco se refiere a la masa de compost como la muestra) para utilizar el $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ Relación como un indicador de la madurez. Tanto NO_3^- y NH_4^+ También han sido

considerados como indicadores por sí solos. mientras que Khan et al. (2009) indicó que el rápido aumento de la producción NO_3 correspondía con la sesión fase de nitrificación, y por lo tanto, la estabilización del compost.

Gómez-Brandon et al. (2008) vio irregulares cambios en $\text{NH}_4 + \text{Y}$ (o) NO_3 contenido en el curso de compostaje durante sus experimentos y por lo tanto consideró que estos no tendría índices confiables de madurez. Brewer y Sullivan (2003) encontraron que, aunque siempre importante de compost información de calidad, NO_3 y $\text{NH}_4 +$ Niveles no parecen ser particularmente útiles los indicadores de madurez. El $\text{NO}_3: \text{NH}_4$ Cociente + se encontró por Brewer y Sullivan (2003) como un índice ligeramente mejor que alguno de los parámetros de sí mismo, pero los autores recomiendan el control de la relación varias veces durante el período de compostaje (es decir, en material fresco).

2.1.4.6 Carbono orgánico disuelto.

Compost estable y maduro tienden a tener niveles más bajos decompuestos orgánicos solubles en agua que los materiales inmaduros o inestables porque los compuestos fácilmente biodisponibles, que son solubles, se han agotado. Además, húmico sustancias similares, que tienen absorbancias altos, tienden a aumentar en orgánico soluble cuestión durante el compostaje. Una evaluación de los niveles de absorbente de la luz propiedades de carbono orgánico disuelto (DOC) en un compuesto potencialmente puede ser útil en la determinación de estabilidad y madurez. Se ha informado de que la masa específica de absorbancia (MSA, o absorbancia por masa unidad de COD) de la fracción de DOC puede ser, de hecho, una mejor medida de humificación de la HA: relación de la FA. Además, análisis es más simple y más rápido que la determinación de fracciones químicas específicas (Wu et al 2000). También informaron que la fitotoxicidad se puede predecir por el MSA de la DOC, tasa de germinación de las semillas fue encontrado que aumenta con la disminución de concentración de COD yaumentando la absorbancia. Los autores indican que

elMSA-DOC método mostró lo suficientemente promesa de que puede un día, después de un mayor estudio y comparación con la respiración y fitotoxicidad, ser capaz de reemplazar la respiración y la germinación pruebas.

Gómez-Brando et al. (2008) encontraron que la concentración de COD fue significativamente correlacionado con la evolución del CO₂, y la conclusión de que era la más adecuada a cabo de varios parámetros para la estabilidad de evaluación.

2.1.4.7 Métodos espectrofotométricos.

Se cree que los efectos fitotóxicos podrían ser fácilmente predecibles utilizando métodos espectrofotométricos directos, que pueden evaluar tanto la madurez y la estabilidad (Khan y col. 2009). Algunos de los métodos espectrofotométricos que se han utilizado incluyen infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) y la resonancia magnética nuclear. Los métodos espectrofotométricos ayudan a facilitar la identificación de varios compuestos orgánicos, permitiendo una evaluación precisa del estado de descomposición de materiales compostados, los niveles relativos de compuestos químicos varían en compost maduro, y esto se refleja en los patrones espectrales producidas por una muestra. Sin embargo, Wang et al. (2004) han indicado que estos los procedimientos no son capaces de predecir el crecimiento de las plantas constantemente en todos los tipos de compost. Dos desventajas importantes de otros análisis espectrofotométricos son su costo y inconveniente, ya que no puede realizarse y requieren un alto grado de experiencia y comprensión de la química del compostaje. Por lo tanto, métodos espectrofotométricos no son recomendables para propósitos regulatorios (Wichuk y McCartney, 2010).

2.2 Combinación de pruebas para evaluar la madurez y estabilidad del compost.

En la literatura examinada, no hay acuerdo general en que No existe prueba ideal para la madurez de compost o la estabilidad. En otras palabras, una sola prueba no es capaz de uniforme y fiable predecir el estado de estabilidad o madurez del compost producido bajo una variedad de condiciones de proceso de cualquier número de materiales de alimentación (Wu et col. 2000, Bio-Logic 2001, Brewer y Sullivan 2001). El uso de dos o más pruebas en relación a menudo se considera apropiado, ya que esto proporciona una comprensión más completa de el estado de la composta, Un método recomendado es separar la disposición pruebas en las categorías de estabilidad y madurez, y para exigir a continuación al menos un análisis que se realice de cada categoría. (Brinton 2000).

La separación de la estabilidad y las pruebas de madurez se hace porque compost estable no es necesariamente madura y madura compost no es necesariamente estable (Bio-Logic 2001; Brewer y Sullivan 2001), en algunos casos, compost maduro puede tienen altas tasas de respiración, mientras que el compost estables pueden requerir curado adicional para romper restante fitotóxico compuestos. Por ejemplo, las tasas de respiración en un estudio realizado por GómezBrandon et al. (2008) mostró una estabilidad después de 80 días, mientras que más de 180 días fueron necesarios para el abono tener fitotoxicidad suficientemente baja. La estabilidad puede ser determinada usando química (por ejemplo, el pH, C: N relación), físico (por ejemplo, la pila de temperatura), o análisis respirométricas. Con este último considerado como el más fiable.

Switzenbaum et al. (1997) recomendó una evaluación de la estabilidad basado en la energía disponible para la oxidación biológica (a través de CO₂ evolución, O₂ absorción, o recalentar potencial), junto con un evaluación de la madurez sobre la base de crecimiento de las plantas. Un enfoque similar fue tomado también por la calidad del compost de California Consejo (CCQC 2001). En el Control Laboratorios, Inc., la estabilidad y la madurez se evalúan por separado. Pruebas de estabilidad consta de dos pruebas: la tasa de respiración y disponibles biológicamente carbono.

Pruebas de estabilidad consta de dos pruebas: la tasa de respiración y disponibles biológicamente carbono. Prueba de la madurez implica una sola prueba, un pepino bioensayo de la planta, para determinar si están presentes en fitotoxinas el compost (wichuk y McCartney, 2010)

2.3 Guías y regulación mundial de la madurez y estabilidad del compost.

Tradicionalmente la ingeniería en los procesos productivos se venía aplicando en la optimización de las variables que permitieran obtener productos de excelente calidad al menor costo. Sin embargo, el mundo de hoy presenta nuevas oportunidades que exigen al ingeniero incorporar la variable ambiental dentro de cada proceso. Con esta perspectiva, el uso racional de materias primas e insumos y de los recursos que necesita para transformarlos; así como la reducción de sus residuos a través de alternativas de minimización y reincorporación de estos a otros ciclos productivos, son opciones que merecen la atención. Precisamente el presente proyecto centra la atención en el estudio de alternativas de aprovechamiento y valorización de residuos del proceso productivo. El compostaje es un proceso biooxidativo controlado de un sustrato orgánico heterogéneo sólido, que evoluciona pasando a través de una etapa termofílica y de liberación temporaria de fitotoxinas como consecuencia de la actividad metabólica de diferentes comunidades de microorganismos, obteniendo como productos dióxido de carbono, agua y materia orgánica estabilizada conocida como compost , el compost final puede funcionar como un fertilizante de liberación lenta o como un acondicionador orgánico, dependiendo de sus características, físicas, químicas y biológicas (Nelson cuervo 2010).

Es un hecho cada vez más claro a nivel mundial, la implementación de sistemas para la recolección y segregación de fracciones de la basura reciclables o compostables. Existe la conciencia de que los residuos deben ser considerados más como un recurso, y su manejo debe ser ambientalmente efectivo,

económicamente posible y socialmente aceptable. Si esto se logra, entonces se contribuiría al desarrollo sustentable de la sociedad (Carolla, et al 2007).

El problema de la estabilidad y el ensayo madurez se ha abordado en las directrices y los reglamentos en todo el mundo. Una visión general de los requisitos de pruebas internacionales. Se puede observar que hay una amplia variación entre los países, con diferentes requisitos en cuanto al método de prueba y el número de ensayos requeridos. Más comúnmente las pruebas aplicadas incluyen el compostaje de calentamiento espontáneo, respirométricas pruebas de la evolución del CO₂ (o OUR), la prueba de Solvita 1 y planta de la germinación y el crecimiento de las pruebas. La industria del compost en Dinamarca ha desarrollado un sistema que el compostes calificado como "no está listo", "fresca", "estable", o "muy estable", basada en los resultados de análisis de estabilidad. Una guía para la forma de calcular el grado de estabilidad se proporciona, se aceptan los métodos de ensayo son: la demanda de O₂ en 96 h, la prueba Solvita 1; abono de calentamiento espontáneo y orgánico C: N orgánico en la relación de extracto de agua de compost (Carlsbaek y Broegger 1999).

2.4 Aplicación de compost en el agroecosistema suelo.

La aplicación de compost puede contribuir a la sustentabilidad agrícola. La elaboración de compost de un sistema agropecuario (CSA) presenta una diferente composición con respecto al compost elaborado de los residuos sólidos municipales. Se han utilizado diversos residuos agrícolas, e.g. astillas y cascara de la madera, estiércol, paja, residuos de cultivo entre otros. Los resultados encontrados por la aplicación CSA, tienen como fundamento, la lenta liberación de N y favorecen a que tenga el cultivo una mejor oportunidad de desarrollo. Los resultados sobre el efecto de los CSA sobre el contenido de nitratos residuales en el suelo, supresión de enfermedades y contenido de materia seca en el cultivo no son aun decisivo y requieren de mayor investigación (D'House, et al., 2012).

El compost es una parte integral de la agricultura sostenible, ya que permite el reciclaje de nutrientes y materia orgánica a partir de cultivos de regreso al suelo. Ellos encuentran que los principales beneficios de la composta se relacionan con mejoras en nitrógenoliberación y propiedades físicas del suelo. El compost se utiliza como una fuente de fertilidad como cuando no renovables fertilizantes químicos se utilizan y que la aplicación a largo plazo de los resultados de compost en mejoras notables en la calidad del suelo. La aplicación de abonos orgánicos pueden ayudar a que la agricultura sea verdaderamente más sostenible (Zubillaga et al 2008).

La agricultura orgánica estimula los procesos bioquímicos de los agroecosistemas incluyendo la biodiversidad, ciclos biogeoquímicos y actividad biológica del suelo. La agricultura orgánica enfatiza la utilización de prácticas de gestión basadas preferentemente en el manejo de los insumos internos del predio agrícola, lo que se consigue aplicando en lo posible métodos agronómicos, biológicos y mecánicos, en contraposición a la utilización de materiales sintéticos y externos de la agricultura convencional (Millaleo et al, 2006)

El aprovechamiento de residuos orgánicos, tanto de origen urbano como agro-industrial mediante sistemas de compostaje y su relación con la calidad del suelo, en términos de mejoramiento de la estructura, de la fertilidad y la actividad biológica, son innumerables los reportes de literatura acerca de los beneficios en la fertilidad del suelo logrados por las adiciones de enmiendas orgánicas y, más precisamente, por las aplicaciones de compostas maduras. Generalmente el mejoramiento de las propiedades físico-químicas de los suelos es inducido por la aplicación de altas tasas de composta, razón por la cual no es sorprendente que se incremente el contenido de materia orgánica y nutrientes para las plantas. La determinación de dichas sustancias húmicas constituye uno de los más empleados indicadores de madurez de la materia orgánica de la composta. (Mora 2006)

El mejoramiento de la calidad del suelo a través del incremento de la materia orgánica y la conservación de la biodiversidad del suelo. Tradicionalmente, los componentes de la biodiversidad por encima y debajo del suelo se han considerado aislados uno del otro; sin embargo, hoy en día se reconoce que están íntimamente relacionados, los componentes del agroecosistema encima y debajo del suelo, los cuales a pesar de estar espacialmente separados están conectados biológicamente por las plantas, La integridad del agroecosistema depende de las sinergias entre la diversidad de plantas y el funcionamiento continuo de la comunidad microbiana del suelo sustentada por un suelo rico en materia orgánica(Altieri y Nicholls 2006).

La calidad del suelo no es fácil de conceptualizar, ya que la misma se define en función al uso y manejo del medio edáfico que favorece determinadas condiciones (suelos agrícolas, forestales, industriales, etc.); no obstante, debe de tomar en cuenta el equilibrio medioambiental y las funciones básicas del suelo: filtración, productividad y degradación La importancia de los microorganismos en ambientes naturales deriva de su cantidad, diversidad y, sobre todo, de su gran espectro de actividades que, en la mayoría de los casos, repercuten en los seres superiores con los cuales comparte un determinado hábitat. Concretamente en el suelo, los microorganismos desarrollan una amplia gama de acciones que inciden en el desarrollo y nutrición vegetal. (Pérez et al, 2010).

2.5 Consideraciones.

No se cuenta aun con un método único que permita evaluar la madurez del compost. Si se deseara emplear un solo método para evaluar la estabilidad y madurez del compost, el mejor método sería la prueba de respirometría para la estabilidad. La mayoría de las guías o normas de producción de compost, por lo

general recomiendan que al menos se empleen dos métodos o más para la evaluación de la madurez y estabilidad.

Una de las ideas que los investigadores tienen es que también podemos realizar combinaciones de métodos para determinar la madurez y estabilidad del compost, estos podrían ser: pruebas de auto calentamiento. Respirimetría, la prueba Solvita¹, la germinación de la planta y ensayos de crecimiento. Según autores que se encuentran en la revisión de literatura.

CONCLUSIONES

Basándonos fundamentalmente en los trabajos de quienes proponen una serie de criterios de madurez simples y combinados se puede concluir que un compost está suficientemente maduro cuando todos los factores o parámetros del

compost se encuentran neutros de los rangos, esto con el fin de tener como producto final un compost de calidad y por lo tanto estable.

1.- Existen diversos métodos para determinar la estabilidad y la madurez, sin embargo, no se cuenta con un solo parámetro que determine ambas propiedades del compost para su aplicación al agroecosistema agrícola.

2.- Se recomienda que, deberán al menos contarse con tres métodos para determinar si es o no estable y maduro un compost.

3.- La madurez y la estabilidad, deberán ser tomados en cuenta, como criterios para establecer un compost de calidad comercial.

4.- en cuestión de la normatividad nos dice que la generación de residuos en el mundo día a día está creciendo y una de las opciones es el reciclaje, llevándolo a un proceso de degradación y obtener como producto el compost para fines de fertilidad del suelo.

IV LITERATURA CITADA.

Adani Fabrizio, Ubbiali Cesare, Generini pierluigi. 2006. The determination of biological stability of composts using the Dynamic Respiration Index: The results of experience after two years. *Waste Management* 26, 41–48

- ASCP. 2001. Quality criteria for composts and digestates from biodegradable waste management. Association of Swiss Compost Plants (ASCP) in collaboration with the Swiss Biogas Forum, Schönbühl, Switzerland. Disponible en www.vks-asic.ch/acrobatreader/vks_richtlinie_english.pdf (citado 24/05/2012/).
- Barrena G, Raquel. Vázquez L, Felicita. Sánchez F, Antoni. 2006. The use of respiration indices in the composting process: a review. *Waste Management & Research*: 24: 37–47
- Bernal, M.P., Paredes, C., Sanchez-Monedero, M.A., and Cegarra, J. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, **63**(1): 91–99.
- Bio-Logic. 2001. Report on assessing compost maturity. A Final Report for the Nova Scotia Department of Environment and Labour, Bio-Logic Environmental Systems, Dartmouth, NS.
- Boulter-Bitzer, J.I., Trevors, J.T., and Boland, G.J. 2006. A polyphasic approach for assessing maturity and stability in compost intended for suppression of plant pathogens. *Applied Soil Ecology*, **34**(1): 65–81.
- Brewer, L.J., and Sullivan, D.M. 2001. Maturity and stability evaluation of composted yard debris. Master of Science Thesis, Oregon State University, Corvallis, Ore.
- Brewer, L.J., Sullivan, D.M. 2003. Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings. *Compost Science & Utilization*, **11**(2): 96–112.
- Brinton, W. F. 2000. Compost quality standards and guidelines. Woods End Research Laboratory, prepared for New York State Association of Recyclers.
- Brinton, W.F.J., Evans, E., Droffner, M.L., and Brinton, R.B. 1995. Standardized test for evaluation of compost self-heating. *Bio-Cycle*, **36**(11): 64–68.
- California compost quality council, 2001.compost maturity index, 19375 Lake City Road Nevada City, CA 95959 www.ccqc.org
- Carlsbaek, M., and Broegger, M. 1999. New standardised product sheet for compost in Denmark. Proceedings of the International Conference ORBIT 99 on Biological Treatment of Waste and the Environment. *Edited by W. Bidlingmaier, M. de Bertoldi, L.F. Diaz, and E.K. Papadimitriou*. Rhombos-verlag, Berlin, pp. 445–451.

- Carolla Carmen., Sánchez rebeca y Montiel Edie. 2007. modelo estadístico que permite inferir concentración de potasio en «compost» producido a partir de desechos orgánicos, Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V., Vol. 22, N° 2, pp. 83–90.
- Chica Perez, A.F., García-Morales, J.L., 2008, Aspectos técnicos en el desarrollo y control del proceso de compostaje, In: Moreno-Casco, J., Moral Herrero, R. (Eds.) Compostaje. Mundiprensa, Barcelona, España, pp. 141-164.
- Cuervo f, Nelson f., 2010. Estudio del proceso de compostaje de los lodos producidos en la operación de pelambre en la industria del curtido de pieles. Universidad Nacional de Colombia, Maestría en Ingeniería Ambiental - EUPMA de Barcelona (España)
- CCQC. 2001. Compost Maturity Index. California Compost Quality Council, Nevada City, CA.
- Defrieri, R. L.; M. P. Jimenez, D. Effron y M. Palma, 2005. Utilization of chemical and microbiological parameters as maturity criteria during the composting process. Agriscientia XXII (1): 25-31
- D'Hose M T. Cougnon A. De Vlieghe K. Willekens E. Van Bockstaele y Reheul D. 2012. Farm compost application: effects on crop performance. Compost Science & Utilization, Vol. 20, No. 1, 49-56
- Diario Luis Alberto, Flavia Forchiassin, Víctor Leandro Papinutti y Diana Viviana Sueldo, 2003. Actividad enzimática y degradación de diferentes tipos de residuos orgánicos por *Saccobolus, saccoboloides* (Fungi, Ascomycotina), Rev Iberoam Micol; 20: 11-15.
- Domínguez, A.S. 2010. Evaluación de las propiedades físicas, físicoquímicas y de la fitotoxicidad de composts comerciales para su uso en la formulación de sustratos de cultivo, ingeniería técnica agrícola
- Eggen, T., y Vethe. 2001. Stability indices for different composts. Compost Science & Utilization, 9(1): 19–26.
- Fu, Zhiyi. 2004. A Fuzzy Inference System for Synthetic Evaluation of Compost Maturity and Stability. Tesis. Faculty of Graduate Studies and Research University of Regina
- Gómez-Brandon, M., Lazcano, C., y Domínguez, J. 2008. The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. Chemosphere, 70(3): 436–444.

- Iglesias Jiménez, E., and Pérez García, V. 1991. Composting of domestic refuse and sewage sludge. I. Evolution of temperature, pH, C/N ratio, and cation exchange capacity. *Resources, Conservation and Recycling*, **6**(1): 45–60.
- Iñiguez Gilberto., ParraJavier. A Velasco Patricia. 2006. Utilización de subproductos de las industriastequileras. Parte 8. Eevaluacion de algunos constituyentes de la mezcla de biosolidos- bahazo de agave durante el composteo. *Rev.Int. Contam. Ambient.* 22(2) pp.83-93.
- Kali P Sandra P. 2007. Seguimiento del proceso de humificación en compost inoculado. Tesis doctoral, ponticia universidad javeriana, facultad de ciencias de carreras de microbiología industrial, Bogotá u.c.
- King Gary M. Y Weber Carolyn F. 2007 Distribution, diversity and ecology of aerobic CO-oxidizing bacteria: reviews, Nature Publishing Group, volume 5
- Ko, H.J., Kim, K.Y., Kim, H.T., Kim, C.N., and Umeda, M. 2008. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. *Waste Management (New York, N.Y.)*, **28**(5): 813–820.
- Khan, M.A.I., Ueno, K., Horimoto, S., Komai, F., Tanaka, K., and Ono, Y. 2009. Physiochemical, including spectroscopic and biological analyses during composting of green tea waste and rice bran. *Biology and Fertility of Soils*, **45**(3): 305–313
- Lasaridi, K.E., Stentiford, E.I., y Evans, T. 2000. Windrow composting of wastewater biosolids: process performance and product stability assessment. *Water Science and Technology*, **42**(9): 217–226.
- Llewelyn R H.2005. Development of standard laboratory based test to measure compost stability, Project Code: ORG0020: The Old Academy, 21 Horse Fair, Banbury, Oxon OX16 0AH Tel: 01295 819900 Fax: 01295 819911 www.wrap.org.uk
- Mangkoedihardjo Sarwoko.2006. Revaluation of Maturity and Stability Indices for Compost. *J. Appl. Sci. Environ. Mgt.* Vol. 10 (3) 83 - 85
- Matteson, T., y Sullivan, D.M. 2006. Stability evaluation of mixed food wastescomposts. *Compost Science and Utilization*, **14**(3): 170–177
- Mathur, S.P., Owen, G., Dinel, H., and Schnitzer, M. 1993. Determination of compost biomaturity. I. Literature review. *Biological Agriculture and Horticulture*, **10**: 65–85.

- Millaleo M Rayen., Montecinos UCamila., Rubio H Rosa, Aliro Contreras N Aliro., Borie B Fernando.2006.Efecto de la adición de compost sobre propágulos micorrícicos arbusculares en un suelo volcánico del centro sur de Chile, Centro de Educación y Tecnología para el Desarrollo del Sur, CET-Sur, Casilla 201, Temuco, Chile.R.C.suelo Nutr.Veg.6(3)p 26-39.
- Mora D Jairo R., 2006. Contribuciones del compost al mejoramiento de la fertilidad del suelo. Universidad de Costa Rica
- Moreno Casco, J. y Moral Herero, R. (edit ciento) compostaje .Madrid: edicionesmundi-prensa 2007.530 p.
- M. Tuomela, M. Vikman, A. Hatak, M. Itavara, 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. Bioresource technology 72: 169-183.
- Nicholls Clara I Y Miguel Altieri 2006.Manejo de la fertilidad de suelos e insectos plaga: armonizando la salud del suelo y la salud de las plantas en los agroecosistemas, Department of Environmental Science, Policy and Management.University of California, Berkeley
- Perez C. Ricardo, M. Sc; Perez C. Alexander, Dr; Vertel M. Melba, M. Sc. 2010. Nutritional, physical-chemical and microbiological characterization of three organic fertilizers to be used in agricultural ecosystems of pastures located in the subregion Sabanas, department of Sucre, Colombia, Universidad de Sucre, Campus Universitario Puerta Roja
- Pérez Sarmentero J., A. Molina, R. Colmenares 1995. Influencia del abonado con compost y fertilizantes solubles sobre la actividad enzimática del suelo y la calidad del cultivo avena-veza en una finca de la alta montaña madrileña. Centro de Investigación Fernando González Bernáldez. c/ San Sebastián 71. 28791 Soto del Real (Madrid). Asociación de Agricultura Biodinámica de España <http://www.biodinamica.es/>.
- P. Wanga, C.M. Changaa, M.E. Watsonb, W.A. Dickb, Y. Chenc, H.A.J. Hoitink 2004. Maturity indices for composted dairy and pig manures, Department of Plant Pathology, The Ohio State University. Soil Biology & Biochemistry (36)767–776.
- Rosal A. 2007. Caracterización y mejora de la calidad en el compostaje de residuos municipales. Tesis doctoral. Departamento de Química Inorgánica e Ingeniería Química. Universidad de Córdoba.
- Sánchez-Monedero M.A., Urpilainen, D S.T., Cabañas-Vargas, A. Kamilaki, y E.I. Stentiford. 2002. Assessing the stability and maturity of compost at large-

scale Plants. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún, México, 27 al 31 de octubre, 2002.

sadzawka r Angélica., Carrasco R. María Adriana, Grez Renato, Mora G, María de la luz. 2005. Métodos de análisis de compost, instituto de investigaciones agropecuarias

sevilla ,2005. “índices de calidad de suelos y compost desde la perspectiva agroecológica” , ii congreso sobre residuos biodegradables y compost. el reto de fomentar el consumo de los productos finales.

Sullivan, D.M., Miller, R.O. 2001. Compost quality attributes, measurements, and variability. *In* Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems. *Edited by* P.J. Stofella and B.A. Kahn. Lewis Publishers, Boca Raton, Fla., pp. 95–120.

Soliva Montserrat y López Marga. 2004. Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Escuela Superior de agricultura de Barcelona. UPC

Switzenbaum, M.S., Moss, L.H., Epstein, E., Pincince, A.B., and Donovan, J.F. 1997. Defining biosolids stability. *Journal of Environmental Engineering*, **123**(12): 1178–1184.

Sh. M. Selim.; Mona S. Zayed and Houssam M. Atta, 2012. Evaluation of Phytotoxicity of Compost during Composting Process. *Nature and Science* 2012; 10(2):69-77. <http://www.sciencepub.net>.

Tiquia, S.M. 2005. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *Journal of Applied Microbiology*, **99**(4):816–828.

Tiquia, S.M., Wan, J.H.C., and Tam, N.F.Y. 2002. Dynamics of yard trimmings composting as determined by dehydrogenase activity, ATP content, arginine ammonification, and nitrification potential. *Process Biochemistry*, **37**(10): 1057–1065.

Tiquia, S.M., Tam, N.F.Y., and Hodgkiss, I.J. 1996. Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents. *Bioresource Technology*, **55**(3): 201–206.

TMECC. 2002. Organic and biological properties - 05.08 respirometry. *In* Test Methods for the Examination of Composting and Compost. *Edited by* W.H. Thompson, P.B. Leege, P.D. Millner, y M.E. Wilson. United States Department of Agriculture, and Composting Council Research and Education Foundation, Holbrook, NY, pp. 05.08

- Wichuk Kristine M., Daryl McCartney. 2010. Compost stability and maturity evaluation — a literature review1: Can. J. Civ. Eng. Vol. 37, 2010
- Willson George B. 1986. Measuring compost stability, microbial respiration rate provides way to monitor compost process and maintain quality control
- Woods y Research Laboratory 2004. Compost Teas: Microbial Hygiene and Quality in Relation to Method of Preparation, department for Johnny's Selected Seeds of Albion
- Woods End Research Laboratory. 2000. Guide to Solvita testing for compost Maturity Index [online]. Available from www.solvita.co.uk/downloads/solvita_man3.5.pdf [citado el 21/05/2012].
- Wood Martin, Phil Wallace, Anna becvar y Paul Waller 2009- review of stability testing. Disponible en: www2.wrap.org.uk/document.rm?id=6962. Consultado 16/05/2012.
- Wu, L., and Ma, L.Q. 2002. Relationship between compost stability and extractable organic carbon. *Journal of Environmental Quality*, **31**(4): 1323–1328
- Wu, L., Ma, L.Q., Martínez, G.A. 2000. Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality*, **29**(2): 424–429.
- Zubillaga Marta S., Branzini Agustín y Lavado Raul S. 2008. Problemas de fitotoxicidad en compost. *Revista Pilquen • Sección Agronomía • Vol. X • N° 9*.