

INTRODUCCIÓN

La sociedad actual con su asombroso crecimiento demográfico y la industrialización elabora un conjunto de productos provenientes de recursos naturales, que posterior a su uso pasan a formar parte de los desechos o residuos urbanos. Las políticas implementadas para manejo de desperdicios se dedican casi exclusivamente a la eliminación de sustancias indeseables, pero dejan de lado los aspectos asociados a la minimización, prevención, aprovechamiento y reutilización de los recursos presentes en estos desechos.

La necesidad de resolver los problemas de residuos derivados del crecimiento de las ciudades y asentamientos urbanos, obligan a desarrollar sistemas de recolección, ubicación, reutilización y reciclaje de residuos domiciliarios e industriales que sean compatibles con el medio ambiente y eficientes en costo. (Ozores-Hapton et al., 2003).

El proceso de compostaje es un punto de partida en el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos, cuyo desarrollo involucra parámetros físicos, químicos y microbiológicos (Molano, 2005). El compostaje es asociado con la recuperación, reciclado, tratamiento y disposición de desechos. Recuperación y reciclado mediante el ahorro y la reutilización de los recursos naturales. La eliminación se ha convertido en una opción menos aconsejable debido a las preocupaciones ambientales. Teniendo estos aspectos en cuenta se puede definir el compostaje como la ciencia de la conversión de materia orgánica a productos útiles por la acción de varios organismos. Proceso que ocurre en la naturaleza en distintos niveles.

Para lograr el objetivo final de tener productos de calidad, diversas modificaciones se han aplicado a este proceso natural con un control cuidadoso de los factores que alteran la formación de compost (Temperatura, Humedad., pH, Oxígeno, Relación C/N y Población microbiana).

La economía del estado Mérida está basada en la agricultura, la ganadería y el turismo. En las zonas altas del páramo emeritense se cosecha cerca del 100% de la producción de papa del país además de otras legumbres y vegetales. Los fertilizantes químicos de uso

común son de alto costo, esto abre un gran mercado para un producto orgánico de bajo costo como lo sería el abono producto del compostaje.

En última instancia, el compost podemos considerarlo como un bien "ambiental-social": por los potenciales beneficios ambientales que produce, a los que debemos sumar que disminuye la cantidad de agroquímicos requeridos por los cultivos donde es aplicado y al considerar que devolvemos a la sociedad un bien que fue generado por ella, evitando el agotamiento del humus y tierras productivas.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Por lo general cuando se habla de tratamiento de suelos se piensa en la implementación de herbicidas, plaguicidas, fungicidas y abonos. La función básica de un abono es fertilizar la tierra sobre la cual se aplica, por lo tanto, tiene que contener los nutrientes que las plantas necesitan para su crecimiento y también para producir las partes vegetales que justifican su cultivo: flores, frutos, hojas, etc. Pero la mayoría de las veces estos abonos son de origen químico y consisten en agregados granulados o líquidos de sustancias formados por los elementos en los cuales se basa la nutrición de las plantas, además constituyen un gasto considerable en el presupuesto de los agricultores. Este proyecto busca dar una alternativa a esta situación con la implementación de un fertilizante que no es dañino para los suelos agrícolas, ya que está hecho a partir de material orgánico, que no conlleva enormes gastos debido a que son residuos, y además es mucho más que un simple concentrado artificial de sustancias químicas de las que se alimentan las plantas. Este abono tiene una estructura mucho más compleja, donde los nutrientes forman parte de un entramado en el cual están unidos a otras moléculas, básicamente orgánicas, que modulan y facilitan la liberación y posterior absorción de los nutrientes por parte de las plantas. A este abono se le denomina compost y presenta las siguientes características:

- Es fuente de nutrientes y de flora microbiana
- Es fuente de resistencia a plagas de plantas
- Facilita el trabajo de la tierra
- Aumenta la retención hídrica y disminuye el encharcamiento
- Mejora la estabilidad de agregados y volumen de poros
- Mejora la estabilidad química
- Menor riesgo de erosión
- Amortiguamiento de temperaturas extremas
- No emite metano
- No emite malos olores
- No genera lixiviados
- No genera plagas

- No consume energía
- No causa impactos ambientales considerables
- El compostaje además de ser una técnica fácil de implantar, requiere de un mínimo espacio y pocas atenciones de mantenimiento. El compost ofrece:
 - Utilidad y rentabilidad en el jardín
 - Concientiza y educa a la ciudadanía sobre la problemática de los residuos y sobre el reciclaje
 - Evita el efecto invernadero y el tratamiento insostenible de residuos
 - Evita la acumulación de residuos
 - Ahorro en la gestión municipal (costes de recogida, transporte y tratamiento de residuos)
 - Mejora visual y odorífica del ambiente urbano.
 - Contribución a la fertilidad del suelo

MARCO TEÓRICO

1. *Conceptos Básicos*

En la actualidad el rápido crecimiento humano da lugar al desarrollo de ciudades más grandes y mayores insumos, este rápido crecimiento del hombre trae como consecuencia un aumento vertiginoso de los desechos sólidos cuya disposición final es un aspecto preocupante debido a los efectos ambientales negativos que ocasionan. El reciclaje de residuos disminuye el impacto de la contaminación, y en el caso particular de los residuos domiciliarios permite reducir la cantidad que se deriva a rellenos sanitarios o depósitos a cielo abierto tal como lo plantean (Parr y Hornick 1993).

La recuperación, reutilización o transformación de los desechos es una alternativa que cada vez más se pone en práctica en todo el globo en países como: España, Portugal, Francia, Brasil, Holanda, Italia entre otros. Muchos son los estudios y proyectos dedicados al diagnóstico y diseño de planes innovadores que tienen como finalidad optimizar el procesamiento de los residuos sólidos. Las opciones de manejo de residuos, “deben ser adecuadas técnicamente a las características locales, viables económicamente y sustentables ecológicamente. Sobre estas bases es posible validar, adecuar y promover tecnologías de alternativa que representen una solución efectiva y ajustada a cada realidad”. (Sztern y Pravia 1999).

Las opciones más utilizadas para la reutilización o reconversión son:

- Los residuos como fuente de alimento animal.
- Los residuos como fuente energética.
- Los residuos orgánicos como fuente abonos.

El compostaje es un proceso de descomposición oxidativa de los constituyentes orgánicos de los materiales de desecho, que se lleva a cabo bajo condiciones controladas sobre sustratos sólidos orgánicos heterogéneos, originando un producto que representa grandes

beneficios cuando es adicionado al suelo (Peña, 2002; Sharma *et al* . 1997), Se puede denominar al compostaje como una ciencia que se encarga de convertir los desechos orgánicos en un abono útil haciendo uso de varios organismos.

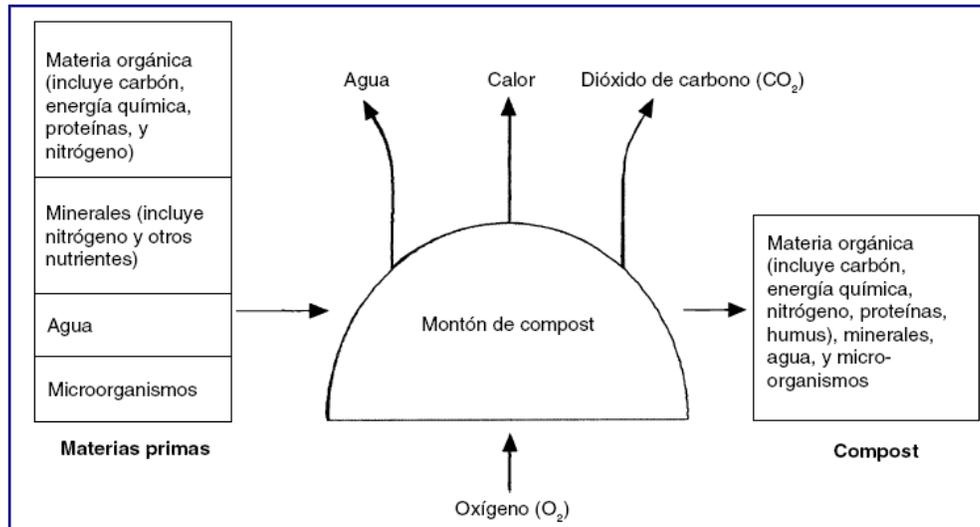


Figura 1. Representación general del proceso de compostación.

El proceso de descomposición para la formación del compost acontece en la naturaleza en distintos niveles. (CHIU-CHUNG, et al. 2005). En este proceso, las sustancias orgánicas se reducen a partir de grandes volúmenes de material degradable rápidamente a pequeños volúmenes que se siguen descomponiendo lentamente. Disminución de peso y volumen de los residuos orgánicos durante el compostaje entre el 50 al 65% del volumen inicial (Ozores-Hampton et al, 1998).



Figura 2. Disminución de peso y volumen de los residuos orgánicos durante el compostaje.

Se entiende por **abonos** a las sustancias o compuestos de origen orgánico o inorgánico que presentan alguna propiedad favorable para los suelos y cultivos. Por **abonos minerales** se entienden aquellos compuestos de origen químicos tales como; los abonos potásicos y fosfatados; los nitrogenados, a urea y el amoníaco.(Sztern y Pravia 1999).

Características del compost:

- Mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.
- Enriquece las características químicas del suelo. eleva el contenido en macro y micro nutriente; nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K). Es fuente de nutrientes para las plantas.
- Aumenta la acción biológica del suelo. Opera como sostén y alimento de los microorganismos que necesitan del humus y favorecen a su mineralización. La presencia de población microbiana es un indicador de la fecundidad del suelo.

Los abonos orgánicos fermentados se obtienen por descomposición de residuos orgánicos con desprendimiento de calor en presencia de oxígeno; la realizan poblaciones de microorganismos que existen en los materiales utilizados, los cuales sintetizan un material parcialmente estable bajo condiciones controladas (Bongcam, 2003).

En la formación del compost se observan dos fases bien diferenciada, una primera etapa donde existe una gran actividad microbiana dando lugar a la formación de una gran cantidad de sustancias procedentes de la materia de partida y que son fácilmente biodegradables. Durante esta etapa se produce la mineralización parte orgánica.

Por otro, después del este primer periodo de biodegradación se entre en una etapa de maduración (fermentación) o estabilización: en ella la actividad de los microorganismos es

mínima debido a que tienen poca materia biodegradable. Durante este periodo prevalece la humificación con reacciones de policondensación y polimerización, formándose una sustancia análoga al humus denominada “Compost” (Fontalva y Santander, 2001).

La conversión de la materia orgánica inicial, biodegradable, al estado de materia orgánica humificada, realizada durante el compostaje, es un proceso microbiológico influido por la naturaleza de los organismos presentes, como bacterias, hongos y actinomicetos, fundamentalmente. Durante el proceso de compostaje tiene lugar una sucesión de predominio de diferentes microorganismos: en función de la influencia de determinados factores, como la naturaleza química del sustrato que está siendo digerido con mayor intensidad, el contenido de humedad, la disponibilidad de oxígeno, la temperatura (seleccionando los microorganismos mesófilos y termófilos), la relación carbono nitrógeno y el pH, ciertos microorganismos se multiplican más rápidamente que otros, predominando en el medio de fermentación.

Digerida la sustancia química responsable del aumento de determinada población de microorganismos y alterándose también alguno de los factores citados, tales organismos van muriendo y ceden su lugar a nuevas y diferentes poblaciones, que pasaran a dominar en la masa.

2. Propiedades del Compost

Las plantas, animales insectos y personas tienen una estrecha relación inextricable con el aire, suelo, minerales y otros recursos naturales indispensables para la vida. El compost tiene un importante en este ciclo vital. Entre los beneficios del compostaje se incluyen:

2.1. Acondicionamiento del suelo:

El compost mejora de la textura y estructura del suelo, cualidades que permiten al suelo retener los nutrientes, la humedad y el aire necesarios para cultivos sanos. Mediante el

aumento de la capacidad del suelo de retención de humedad, el compost ayuda a controlar la erosión que de otra forma ocurriría con el lavado tierra por las lluvias.

El compost proporciona nutrientes a las plantas, protege contra la sequía, controla el pH, apoya las bacterias esenciales, alimenta las lombrices de tierra útil, detiene la pérdida de nutrientes por lixiviación y actúa como un amortiguador frente a las toxinas en el suelo.

Tabla 1. Efectos más destacados de la materia orgánica en los suelos cultivados. (Urbano, 1992)

Propiedades del suelo	Efectos de la materia orgánica humificada
FÍSICAS	Aumento de la capacidad calorífica Suelos más calientes en primavera Reducción de las oscilaciones térmicas Agregación de las partículas elementales Da soltura a los arcillosos y cohesiona los arenosos Aumenta la estabilidad estructural Aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa Suelos menos encharcados Facilita el drenaje Reduce la erosión Aumenta la capacidad de retención hídrica Reduce la evaporación Mejora el balance hídrico
QUÍMICAS	Aumenta el poder tampón Regula el pH Aumenta la capacidad de cambio catiónico Mantiene los cationes de forma cambiante Forma fosfohumatos Forma quelatos Mantiene las reservas de nitrógeno
BIOLÓGICAS	Favorece la respiración radicular Favorece la germinación de las semillas Favorece el estado sanitario de los órganos subterráneos Regula la actividad microbiana Es fuente de energía para los microorganismos heterótrofos El CO ₂ desprendido favorece la solubilización de compuestos minerales Modifica la actividad enzimática Activa la rizogénesis Mejora la nutrición mineral

2.2. Mejora el manejo de estiércoles:

El compostaje reduce el peso, el volumen, el contenido en humedad, y la actividad de los estiércoles. El compost se almacena sin problemas de olores o de moscas, por tanto puede ser aplicado en cualquier época del año.

2.3. Mejora la aplicación al suelo:

El compost convierte el contenido en nitrógeno presente en los estiércoles en una forma orgánica más estable. Por tanto, esto produce unas menores pérdidas de nitrógeno, el cuál permanece en una forma menos susceptible de lixiviarse y, por tanto, de perder amonio.

El compostaje disminuye la relación carbono/nitrógeno a niveles aceptables para la aplicación al suelo.

El calor generado mediante el proceso de compostaje reduce la viabilidad de las semillas que pudieran estar presentes en el estiércol.

2.4. Disminuye los riesgos de contaminación y malos olores:

El compostaje sustituye la implementación de estiércol como abono, reduciendo así los malos olores producidos por este y la contaminación generada por los nitratos contenidos en el estiércol.

2.5. Destrucción de agentes patógenos

La destrucción de organismos perjudiciales durante la fase intermedia del compostaje; la fase termófila, permite la utilización de este abono orgánico de manera confiable en los suelos. En la Tabla 2 se recopilan los datos de temperatura y tiempo necesarios para la destrucción de algunos de los agentes patógenos y parásitos más comunes al inicio del proceso.

Tabla 2. Temperatura y tiempo de exposición necesario para la destrucción de los parásitos y patógenos más comunes. (Golueke, 1972)

Organismo temperatura y tiempo de exposición	
<i>Salmonella typhosa</i>	Se elimina rápidamente en el montón del compost. Son suficientes 30 min. a 55-60° C para su eliminación. No se desarrolla a temperaturas superiores a 46° C.
<i>Salmonella sp</i>	Se destruye al exponerse 1 hora a 55° C o 15-20 minutos a 60° C
<i>Shigella sp.</i>	Se destruye al exponerse 1 hora a 55° C.
<i>Escherchia coli</i>	La mayoría mueren con una exposición de 1 hora a 55° C o 15-20 min. A 60° C.
<i>Tennia saginata</i>	Se elimina en unos pocos minutos a 55° C
<i>Larvas de Trichinella spiralis</i>	Mueren rápidamente a 55° C e instantáneamente a 60° C
<i>Brucella abortus</i>	Se elimina con exposiciones a 62-63° C durante 3min. o a 55° C durante 1 hora
<i>Micrococcus pyogens var. Aureus</i>	Muere después de 10 minutos de exposición a 50° C
<i>Streptococcus pyogens</i>	Muere después de 10 minutos a 54° C
<i>Mycobacterium tuberculosis var. Hominis</i>	Muere después de 15-20 min. a 66° C o instantáneamente a 67° C
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Se elimina por exposición durante 45 min. a 55° C
<i>Huevos de Ascaris lumbricoides</i>	Mueren en menos de 1 hora a temperaturas superiores a 55° C

2.6. Producto rentable:

Existen gran cantidad de posibles compradores para este producto, estos abarcan agricultores, horticultores, fruti cultores, floricultores, entre otros. El precio del compost varía considerablemente de acuerdo a las características de envasado y calidad, materiales utilizados para su realización y destino del producto terminado, El costo varia también según el mercado local.

3. *Proceso de Compostaje*

Es posible realizar composteo y obtener humus fuera del suelo tal como es expuesto por Yágodin et al. (1986) ya que el compostaje no es más que un procedimiento dinámico de acumulación de fertilizantes orgánicos (desechos), y que según Mayea (1992), Avilés et al. (1996) y ANDFIASS (1998) se lleva a cabo gracias a la actividad combinada de varias poblaciones de microorganismos en donde se presenta una gran cantidad de procesos físicos, químicos, biológicos y bioquímicos.

Sea de manera natural o mediante la implementación de compostaje, la materia orgánica puede ser degradada bajo dos condiciones: presencia de oxígeno (aerobiosis) o ausencia de oxígeno (anaerobiosis).

4. *Descomposición Aeróbica*

La descomposición aerobia según (Mayea, 1992; Funes y Hernández, 1996; Karczynsky, 1996 y Kolmans y Vázquez 1996), es el proceso que comúnmente se lleva a cabo en una composta donde la acción de los microorganismos depende primordialmente de la presencia de oxígeno, evitando así, la formación de malos olores.

En este proceso se genera anhídrido carbónico y agua, producto de la respiración de los microorganismos.

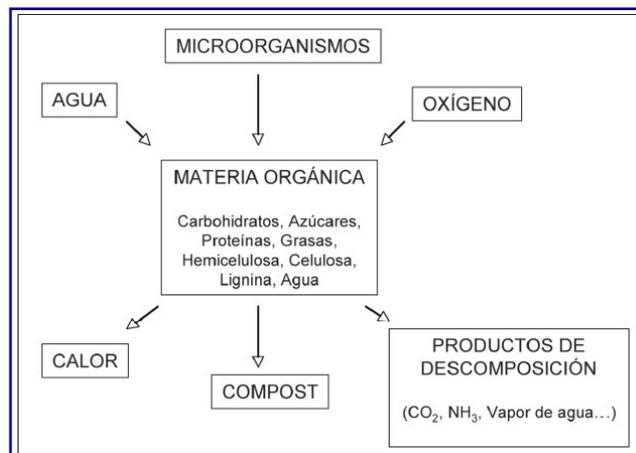
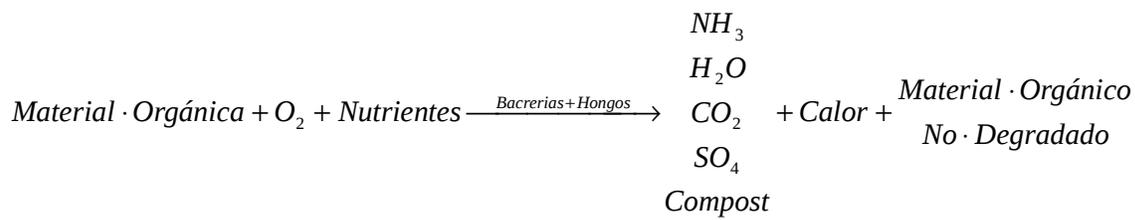


Figura 3. Proceso de compostaje. (Andrés y Rodríguez ,2008).

El compostaje aerobio es un proceso de degradación en donde los microorganismos transforman los compuestos orgánicos mediante reacciones metabólicas, en las que se separan los electrones de los compuestos y se oxidan las estructuras de carbono a dióxido de carbono y agua. Aquí nunca se produce una oxidación completa ya que una parte de la materia es transformada y otra no es biodegradable (Eweis et al., 1999). El proceso de biodegradación aeróbica es descrito por la siguiente ecuación:



Según Andrés y Rodríguez (2008)



Es necesario tener presente que la composición de la materia orgánica y, por lo tanto, los valores de los coeficientes, dependen de cada tipo de residuo y las condiciones en las que se desarrolle el proceso.

El compostaje aerobio ocurre en distintas fases: Según (Grossi, 1993; Tchobanoglous, 1994) en la primera de ellas hay una gran actividad de bacterias mesófilas, estas utilizan como fuente de energía gran parte del carbono presente, expulsando CO₂ y generando calor debido a que las reacciones metabólicas presentan una naturaleza exotérmica. La generación de calor incrementa la temperatura lo que origina una segunda fase, donde la materia orgánica es estabilizada a través de reacciones bioquímicas de oxidación, las cuales son llevadas a cabo por organismos de naturaleza termofílicas; en la última fase, denominada fase de maduración, la temperatura desciende actuando mohos y actinomicetes contribuyendo de esta manera con la estabilidad del compost.

4.1. Fases de descomposición aeróbica

4.1.1. Etapa de latencia: Es la etapa de adaptación de los microorganismos al medio y el inicio de la propagación y colonización de los residuos. Esta etapa comienza con la conformación de la pila y termina cuando es apreciable un aumento en la temperatura. Tiene lugar en medio ácido con un pH igual a 6, debido a la reacción ácida de los jugos celulares y a la actividad bacteriana con formación de ácidos originando un descenso en el pH hasta 5,5.

La duración de esta etapa es muy variable, ya que esta obedece muchos factores. Si la relación C/N, el pH y la concentración de Oxígeno presentan valores dentro de un rango aceptable, entonces la duración de esta etapa depende solo de la temperatura ambiente y principalmente de la carga microbiana que contiene el material. Con temperatura ambiente entre los 10 y 12 °C, en pilas debidamente conformadas, esta etapa puede durar de 24 a 72 horas.

4.1.2. Etapa mesotérmica 1 (10-40°C): en esta etapa, se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila, con oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica). Si el proceso se mantiene en estado aeróbico, entonces en esta etapa actúan los Euactinomicetos (aerobios estrictos), que son de gran importancia debido a su capacidad de producir antibióticos. La participación de hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso. La etapa mesotérmica requiere valores óptimos de humedad-aireación. La actividad metabólica hace que la temperatura aumente progresivamente y la falta de disipación del calor produce un incremento aún mayor de esta, favoreciendo el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los residuos.

4.1.3. Etapa termogénica (40-75°C): Dependiendo de la pila inicial que se tenga y de las condiciones ambientales, esta etapa puede tener una duración que varía entre una semana en sistema acelerados, y uno o dos meses en sistemas de fermentación lenta. La microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos y

Actinomicetos termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo sintróficas. Por lo general durante esta etapa, son eliminados todos los organismos mesófilos patógenos, esporas, hongos, semillas y materia indeseable. Si la compactación y ventilación son adecuadas en el proceso, entonces se producen claras emanaciones de vapor de agua. El CO₂ se produce en cantidades importantes que se esparcen desde el núcleo a la corteza. Este gas es esencial en el control de larvas de insectos; ya que la concentración de CO₂ alcanzada resulta letal para las larvas. Conforme el ambiente se hace totalmente anaerobio, los grupos termófilos que intervienen, entran en fase de muerte. Como esta etapa es de gran interés para la higienización de la composta, es conveniente su prolongación hasta que todos los nutrientes se hayan agotado. Esta es la fase que más se debe vigilar para asegurar una buena pasteurización y evitar una excesiva mineralización si se prolonga durante mucho tiempo.

4.1.4. Etapa mesotérmica 2: con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, la temperatura disminuye hasta llegar a valores cercanos a los 40°C en donde son actas las condiciones para que se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos, los cuales utilizarán como nutriente la materia orgánica mas resistente a la biodegradación, como la lignina y la celulosa . En esta última fase son sintetizados coloides húmicos, hormonas, vitaminas y antibióticos, esto a partir de componentes orgánicos, favoreciendo así el desarrollo vegetal. El pH disminuye tendiendo a la neutralidad. Al consumirse toda la materia orgánica susceptible de aportar carbono, disminuye la actividad biológica y la presencia de bacterias termófilas, lo que permite que la temperatura descienda progresivamente hasta llegar a condiciones ambientales, en donde el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso. La duración de esta etapa depende de numerosos factores, debido a que es un período de fermentación lenta, en el que la parte menos biodegradable de la materia orgánica es transformada.

5. *Descomposición Anaerobia*

En este tipo de descomposición el oxígeno no se encuentra en condiciones ni cantidades adecuadas, lo que provoca que los microorganismos utilicen para la fermentación otros elementos diferentes a él, originando así olores desagradables debido a la formación de gases. En este proceso se da una reducción donde los malos olores que se despiden se deben a la pudrición del material y a la generación de sustancias tóxicas como ácido sulfídrico, mercaptanos y metil mercaptanos que pueden ser nocivos para la actividad biológica del suelo, pero luego que la degradación termina el resultado es un biofertilizante utilizable.

La Bioquímica y microbiología de los procesos anaerobios es mucho más complicada que para los procesos aerobios, esto se debe a la existencia de numerosas rutas que puede utilizar una comunidad anaerobia para lograr la transformación de las sustancias orgánicas.

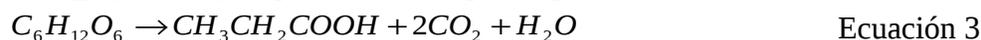
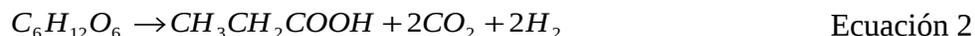
Las rutas y mecanismos no se conocen con detalle, pero en los últimos años se han escrito varios textos de estos procesos.

5.1. Fases de descomposición anaeróbica

5.1.1. Etapa de hidrólisis: Es la etapa en la cual existe la degradación y descomposición de macromoléculas de origen orgánico a productos más simples, esto se lleva a cabo por un grupo de bacterias denominadas facultativas que sobreviven en condiciones de aerobiosis, mediante enzimas exocelulares: celulasas, lipasas, amilasas, proteasas, entre otros.

5.1.2. Etapa de acidogénesis: En esta etapa ocurre la degradación de las sustancias intermedias hasta ácidos grasos de cadenas cortas o volátiles u otros compuestos sencillos, esto ocurre también gracias a las bacterias facultativas. Aquí además ocurre la degradación para formar ácido acético.

Un gran grupo de bacterias formadoras de ácidos fermentan los hidratos de carbono anaerobicamente para producir CO₂, H₂, y una mezcla de ácidos (acético, propiónico, butírico, entre otros.) de acuerdo a la concentración de H₂ existente en el proceso. Esto se debe a las siguientes ecuaciones:

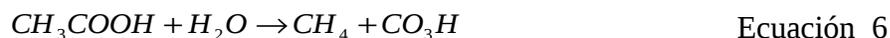


Las bacterias acetogénicas o productoras del ácido acético convierten los ácidos propiónico y butírico en este ácido según las ecuaciones:



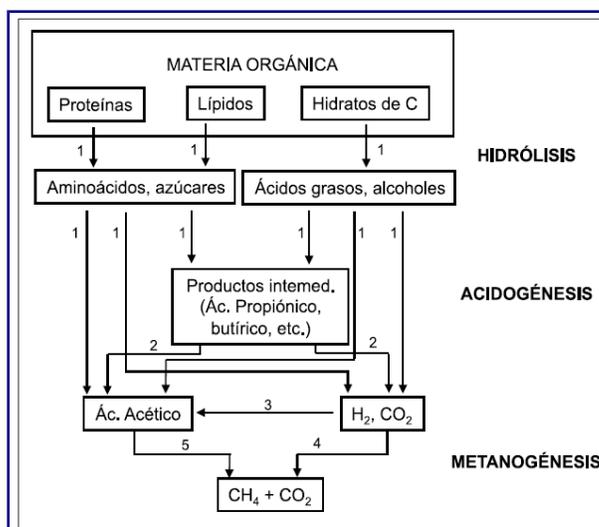
5.1.3. Etapa de Metanogénesis: Es la última y en la cual se forma el metano debido a un enorme grupo de bacterias llamadas metanogénicas. Estas son estrictamente anaerobias ya que si existe la presencia de oxígeno este impide su crecimiento. La formación del metano se realiza a través de dos rutas metabólicas.

5.1.3.1. Metanogénesis acetoclástica: Las bacterias metanogénicas que producen metano a partir de ácido acético, crecen lentamente, aproximadamente de 2 a 3 días y no les afecta la concentración de H₂ del gas. Controlan el pH del medio por la eliminación del ácido acético y producción de CO₂ que al disolverse forma una disolución de bicarbonato, de acuerdo con la ecuación.



5.1.3.2. Metanogénesis hidrogenófila, las bacterias metanogénicas utilizadoras de H₂ y del CO₂ son de crecimiento rápido, de unas 6 horas. Como producen metano y además eliminan el H₂ se considera que estas bacterias regulan la digestión anaerobia.





Bacterias responsables de la digestión:

- 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas,
- 2) Bacterias acetogénicas (productoras de hidrógeno)
- 3) Bacterias homoacetogénicas (consumidoras de hidrógeno)
- 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas
- 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas.

Figura 4. Etapas de la digestión anaeróbica. Andrés y Rodríguez, 2008)

El proceso de realización del compostaje es predominantemente aerobio, por ello se requiere crear condiciones óptimas e ideales para permitir el crecimiento y el desarrollo de los microorganismos que intervienen en él. (Guerrero y Monsalve, 2006)

Tabla 3. Condiciones ideales para el desarrollo del compostaje. Fuente: (Grajales y Monsalve 2005)

Parámetro	Rango Aceptable	Condición Óptima
Relación C/N	20/1-40/1	25/1-30/1
Humedad	40-65%	50-60%
Temperatura	55-75 °C	65-70 °C
Volteo	Cada Semana	Depende de la temperatura y humedad
pH	5.5-9.0	6.5-8.0
Tamaño de la Partícula	0.3-5.0 cm	0.5-1.0 cm
Tamaño del Montón	0.8-1.2 m	Aprox. 0.8 m
Tiempo	2-3 meses	1-2 meses

6. Compostador

Un compostador es simplemente el espacio en el cual se realiza el proceso del compostaje y aunque sus principios son muy simples debe cumplir con una serie de requisitos, como lo son:

- Sistema de ventilación para permitir la entrada de oxígeno.
- Sistema de cierre lateral para mantener las condiciones de temperatura.
- Sistema de cierre superior, para evitar la inundación por lluvia.
- Facilidad de apertura y manejo.

El compostaje a pequeña escala o compostaje casero consiste en la degradación de la materia orgánica gracias a su oxidación y a la acción de pequeños organismos hasta conseguir al final un abono natural, denominado compost, este compostaje casero sigue los mismos principios y reacciones químicas que ocurrirían en un compostador a gran escala o industrial.

Tabla 4. Compostares caseros más utilizados y materiales requeridos para su construcción.

Compostadores Caseros		
Compostador de malla	Materiales: <ul style="list-style-type: none"> • Malla Gallinera • 4 varillas de sujeción • Lona, cartón (recubrimiento) • Alambre 	
Compostador de palos de maderas	Materiales: <ul style="list-style-type: none"> • 4 ó 5 tablas de madera. • Clavos. 	

7. Sistemas de Compostaje

Los distintos sistemas de compostaje pretenden optimizar cada uno de los factores que intervienen en el proceso, sin embargo, ningún sistema es absolutamente “perfecto”. Cualquiera que sea el sistema a utilizar es necesario evaluar las condiciones particulares de cada instalación para desarrollar un programa exitoso de compostaje.

En general, los sistemas abiertos son más difíciles de controlar las variables de temperatura y humedad, mientras que los sistemas cerrados pueden funcionar en las condiciones que se consideren ideales, pero estos son más caros y no son apropiados para todo tipo de desechos, pero si son adecuados cuando se trata de compostar grandes cantidades de material.

7.1. Sistemas Abiertos

7.1.1. Sistemas de Pilas Dinámicas (con volteo)

En este tipo de sistema los materiales se colocan en montones o pilas. Mientras más alta sea la pila, es más favorable el proceso, debido que su propio peso ejerce presión y la materia contenida en el interior se comprime, dando lugar a buenas condiciones anaeróbicas. Si la pila es muy baja se puede provocar una pérdida de calor muy rápida, y por tanto una excesiva pérdida de humedad o no se pueda llegar a las temperaturas termofílicas. Con respecto a la frecuencia de los volteos hay que tener sumo cuidado, porque si el intervalo entre volteo y volteo es grande, la escasez de oxígeno puede hacer que se necesite más tiempo para llegar al final, sin embargo, un volteo de la pila muy frecuente puede afectar al desarrollo de algunos de los microorganismos que intervienen en el proceso y, resultar perjudicial. El proceso debe realizarse en lugares alejados y aislados, debido a los problemas de olores, moscas y roedores.

7.1.2. Sistemas de Pilas Estáticas

En este sistema de compostaje las pilas no se voltean. El aire necesario para el proceso se suministra, mediante introducción de aire a presión, o mediante succión o aspiración de aire. La pila se deberá acondicionar de la siguiente manera:

1. Preparar de la mezcla de residuos lo más triturada posible.
2. Colocar sobre el sistema de tuberías de aireación una capa un material esponjoso, habitualmente se usa uno de los componentes de la mezcla de residuos.
3. Poner sobre la capa de material esponjoso la mezcla de residuos a compostar.
4. Colocar sobre la superficie exterior de la pila una capa de compost ya preparado.

Cuando se emplea una aireación inducida, el aire que sale de la pila puede ser recogido y desodorizado antes de su descarga a la atmósfera.

El suministro de aire debe controlarse para evitar que la temperatura de la pila se exceda demasiado, dado que no favorece la actividad microbiana, en promedio la temperatura debe estar alrededor de los 50 °C para asegurar una adecuada pasteurización.

Figura 5. Esquema de un sistema de pilas estáticas con aireación inducida

7.2. Sistemas Cerrados

7.2.1. Reactores de flujo vertical

De acuerdo con lo indicado, se distinguen dos tipos de reactores de flujo vertical:

- Reactores que permiten la agitación de los sólidos durante su caída; ‘reactores de lecho agitado’. En este tipo de reactores la aireación es forzada y la alimentación puede ser continua o intermitente.

- Reactores en los que la mezcla a compostar ocupa todo el volumen disponible y, por tanto, no puede sufrir ningún tipo de agitación a lo largo de su paso por el reactor. Se denominan ‘reactores de lecho empaquetado o reactores tipo silo’. Pueden ser alimentados de forma continua, intermitente o por tandas. La configuración puede ser rectangular o cilíndrica.

Figura 6. Reactor de lecho empaquetado
(Saña y Soliva, 1987)

Figura 7. Reactor de flujo vertical, lecho empaquetado , pero con periódica transferencia de sólidos. (Haug, 1993)

7.2.2. Reactores de flujo horizontal (o inclinado)

7.2.2.1. Tambores giratorios:

El material de entrada y de salida se localiza en los lados extremos del tambor. Dentro del reactor existen condiciones de flujo pistón, excepto alguna pequeña dispersión consecuencia de la agitación. Este tipo de sistema es el más usado para el compostaje de basuras domiciliarias. La alimentación puede ser continua o intermitente y, generalmente, se utiliza un sistema de aireación forzada.

Para prevenir posibles cortocircuitos dentro del reactor, éste puede estar dividido en un cierto número de celdas dispuestas en serie.

Figura 8. Tambor giratorio. (Haug, 1993)

2.2.1.2. Contenedores agitados

Este tipo de reactores maneja gran cantidad de desechos sólidos, en su mayoría funcionan con una alimentación diaria, su forma puede ser rectangular o circular, y se emplea una aireación forzada. Generalmente no están cubiertos en su parte superior pero se coloca en un lugar provisto de techo.

En el sistema de reactor circular, se montan barrenas a lo largo de un puente móvil, que gira, aproximadamente una revolución se completa en dos horas. Debido a la rotación intermitente de la unidad, el material es desmenuado y homogeneizado de forma selectiva con un óptimo resultado. Los residuos se introducen en la parte superior y lentamente se va trasladando hacia el centro del reactor, desde donde cae a un depósito situado debajo del reactor. Las emisiones de olor, son extraídas por el sistema de ventilación del tambor y dirigidas a un biofiltro para su eliminación. El líquido de los residuos, liberado durante la transformación de las sustancias orgánicas, es re-alimentado al residuo orgánico por la rotación intermitente del sistema, manteniéndose dentro del mismo.

Figura 9. Reactor circular con agitación continua. (Haug, 1993)

2.2.1.3. Contenedores con lecho de sólidos estático

Es esencialmente un reactor tubular o túnel de flujo pistón de sección transversal rectangular. El volumen del reactor puede oscilar entre 10 y 500 m³. Se construyen generalmente de hormigón armado y acero. Hay un sistema que usa un plato o placa de empuje con movimiento hacia adelante y hacia atrás y que está situado en el extremo de alimentación del túnel; al moverse la placa, queda una zona vacía en un extremo del reactor, al mismo tiempo que el compost sale por el otro extremo; la carga diaria de la mezcla de materiales que se va a compostar se coloca en la zona vacía creada al moverse el pistón. Entre alimentación y alimentación la placa permanece quieta.

Los túneles suelen tener una longitud de 30 a 59 metros y una anchura y altura de 4 a 6 metros. La ventilación es controlada por impulsión o aspiración.

Figura 10. Reactor tipo túnel. (Saña, 1987)

Figura 11. Reactor sin agitación, provisto de suelo móvil (Haug, 1993)

7.3. Sistemas Sin Flujo

Es un sistema a base de cajas que funcionan por el procedimiento de tandas, en el cual la materia orgánica se carga en un principio y se mantiene en la caja de 7 a 14 días. La reacción se controla de manera inducida o forzada.

8. Métodos para el estudio de la materia orgánica humificada del compost

Se emplea como índice de madurez del compost, la relación carbono de ácidos fúlvicos/carbono de ácidos húmicos, que debe disminuir a lo largo del proceso. Como criterios indicadores del grado de madurez del compost existen una serie de métodos clasificados dentro de los tests físicos, químicos o biológicos. Entre los tests de tipo físico tenemos que se incluyen la cromatografía circular y los métodos colorimétricos. (Negro et al., 2000).

El primer ensayo es cualitativo y es influenciado por los materiales de partida. Consiste en colocar sobre un papel de filtro tratado con nitrato de plata las sustancias húmicas extraídas del compost; donde los compuestos poco polimerizados se alejarán del centro ya que son muy móviles. Este método indica que el compost está maduro cuando la mancha oscura que aparecerá en el papel se hará más intensa alrededor del centro y más clara en los bordes; si dicho producto no es estable, el centro aparecerá claro y el borde oscuro (Hertelendy, 1974).

Los métodos colorimétricos se basan en la determinación de la densidad óptica de un extracto en pirofosfato de las sustancias húmicas. Se puede señalar la aparición de un umbral de madurez cuando a lo largo del proceso se pone de manifiesto una curva típica de variación en donde se da el cambio de pendiente de la curva de densidad óptica frente al tiempo. Otro método similar es el cálculo de la absorbancia del extracto alcalino a 460 y 660 nm, cuya relación ha sido utilizada como índice de madurez.

8.1. Test de tipo químico

Existe un gran número de test o análisis químicos que pueden ser utilizados, con un mayor grado de confianza que los físicos, como criterios indicadores del grado de madurez de los compost. Entre ellos se pueden destacar:

8.1.1. Relación C/N (en fase sólida)

Por lo general, un compost se considera maduro cuando su relación C/N es menor de 20 y lo más cercano a 15, aunque en la práctica dicho valor puede ser superior, ya que gran parte del carbono orgánico, al encontrarse en formas resistentes como son celulosas o ligninas, no puede ser utilizado de inmediato por los microorganismos. Este criterio es tradicionalmente utilizado para la determinación de la estabilidad de un compost.

La relación C/N es un índice interesante para seguir la evolución de un proceso de compostaje a pie de planta, ya que da mucha información si se conoce la relación C/N de partida. Si no, la interpretación es difícil. Por ejemplo, un compost con una relación C/N relativamente alta puede estar bien fermentado y estar maduro, si procede de RSU con una relación C/N alta, lo que ocurre, por ejemplo, si no se han eliminado papeles y cartones. Por el contrario, un compost con una relación C/N baja puede ser fresco y poco fermentado, como puede ocurrir si procede de una mezcla de RSU con otros residuos con elevado contenido en N, como son los lodos de depuradoras de aguas residuales urbanas.

8.1.2. *Relación C/N orgánico en extracto acuoso*

A diferencia de la relación C/N del sólido maduro, este índice presenta unos valores mucho menos variables, al ser menos dependientes del tipo y origen del material inicial. Dicho índice, basado en la determinación del C orgánico y del N orgánico en los extractos acuosos del producto, disminuye a medida que avanza la degradación del residuo, hasta estabilizarse entre 5 y 6, cuando el producto ha madurado, lo que hace que pueda ser utilizado como parámetro esencial de la madurez. La reacción de compostaje es, básicamente, una degradación bioquímica de la materia orgánica por acción de los microorganismos. Los componentes solubles de la misma se disuelven en agua y son asimilables por los microorganismos. Los compuestos insolubles son transformados enzimáticamente en compuestos solubles y posteriormente absorbidos por las células microbianas. Este hecho ha sido utilizado por diversos autores para obtener un nuevo índice de la maduración del compost.

8.1.3. *Determinación de la DQO del compost*

Constituye un método rápido y sencillo para evaluar el grado de madurez del compost. Básicamente consiste en una oxidación del material mediante dicromato potásico y valoración posterior con sulfato ferroso amónico.

8.1.4. *pH*

EL pH también es un buen indicador de la marcha del proceso ya que, por lo general, durante el compostaje, el pH disminuye ligeramente, para subir posteriormente a medida que el material se va estabilizando, quedando al final del proceso entre 7 y 8. Si los valores son más bajos esto representaría que se han producido fenómenos de anaerobiosis y que el material no está aún maduro.

8.1.5. *Capacidad de cambio catiónico (CIC)*

Diversos estudios realizados con abonos orgánicos y compost de diversos residuos orgánicos han demostrado que la CIC aumenta a medida que aumenta el grado de estabilidad de la materia orgánica. Este parámetro nos da idea de la potencialidad en la retención de nutrientes y capacidad de inmovilización de sustancias fitotóxicas, así como la posibilidad de amortiguar cambios súbitos de pH, además al utilizarlo adecuadamente nos puede informar de la estabilidad de la materia orgánica de dicho compost.

8.1.6. Conductividad eléctrica

Este parámetro no se engloba dentro de los criterios de maduración del compost, pero es importante conocerlo. Depende de los materiales con que se ha elaborado el compost (purines, agua...) y seremos más o menos exigentes con ella en función de la utilización que se fuera a dar al producto. No sería lo mismo confeccionar compost para uso como fertilizante para incorporar al suelo, que como sustrato de plantas hortícolas producidas en alvéolos o contenedores. La conductividad del compost puede afectar al test de germinación pudiendo oscilar entre los 440 y los 6.590 S/cm en el caso de una turba normal o si se trata de estiércol de pollos, respectivamente. Lo deseable en el caso de compost es que se encuentren entre los 1.500-2.000 S/cm.

8.2. Test de tipo biológico

Con el fin de evaluar la madurez del compost se ha desarrollado últimamente un gran número de test de tipo biológico, estos test se basan en el efecto negativo que provoca la aplicación de compost “inmaduros” sobre la germinación de las semillas debido a la presencia de compuestos fitotóxicos en estos productos. Estos test consisten en introducir en una placa de Petri de incubación un extracto acuoso del material donde se determina el grado de germinación. En general, un compost se considera maduro cuando el índice de germinación es superior al 50%.

Para estudiar el efecto del compost sobre la producción vegetal se podrían recomendar ensayos de respuesta vegetal. Recomendamos realizar estos ensayos utilizando diferentes

tipos de suelo y como planta testigo *Lolium rigidum*, pues esta permite cortes sucesivos con los que evaluar la acción del compost sobre la producción de biomasa en distintos periodos de tiempo desde la aplicación de la enmienda y además tiene una gran capacidad de extracción de los nutrientes del suelo (Negro y Solano, 1996).

9. El Lombricompostaje:

Es una técnica que promueve y acelera la transformación y mineralización de un residuo orgánico en descomposición y lo convierte en abono para las plantas.

El abono de las lombrices es el conjunto de las excretas o heces fecales de las lombrices; tiene la misma apariencia y olor de la tierra negra y fresca, es un sustrato estabilizado de gran uniformidad, contenido nutrimental y con una excelente estructura física, porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de humedad. Durante el proceso no se generan malos olores o atracción de organismos indeseables.

9.1. La lombriz roja californiana

9.1.1. Clasificación zoológica

Reino: Animal

Tipo: Anélido

Clase: Oligoqueto

Orden: Opisthoro

Familia: Lumbricidae

Género: Eisenia

Especie: Eisenia foetida



Figura 12. Lombriz roja californiana

1.1.2. Características

- Es de color rojo oscuro.
- Respira por medio de su piel.
- Mide de 6 a 8 cm de largo y de 3 a 5 mm de diámetro.
- Puede alcanzar pesos de 0.8 a 1.4 gramos.

- No soporta la luz solar,
- Vive aproximadamente unos 4.5 años.
- La lombriz roja californiana avanza excavando en el terreno a medida que come, depositando sus deyecciones y convirtiendo este terreno en uno mucho más fértil que el que pueda lograrse con los mejores fertilizantes artificiales.

9.1.3. *Los excrementos de la lombriz contienen:*

- 5 veces mas nitrógeno
- 7 veces mas fósforo
- 5 veces mas potasio
- 2 veces mas calcio

9.1.4. *Anatomía*

Características externas: Posee el cuerpo alargado, segmentado y con simetría bilateral.

Aparato circulatorio: Tienen dos vasos sanguíneos, uno dorsal y otro ventral, posee también otros vasos y capilares que llevan la sangre a todo el cuerpo. La sangre circula por un sistema cerrado constituido por cinco pares de corazones.

Aparato respiratorio: El intercambio de oxígeno se produce a través de la pared del cuerpo.

Sistema digestivo: Las células del paladar son las encargadas de seleccionar el alimento que pasa posteriormente al esófago donde se localizan las glándulas calcíferas. Estas glándulas segregan iones de calcio, contribuyendo a la regulación del equilibrio ácido básico, tendiendo a neutralizar los valores de pH. Posteriormente tenemos el buche, en el cual el alimento queda retenido para dirigirse al intestino.

Aparato excretor: Formado por nefridios, dos para cada anillo. Las células internas son ciliadas y sus movimientos permiten retirar los desechos del celoma.

Sistema nervioso: Posee un par de ganglios supraesofágicos, de los que parte una cadena ganglionar.

Sistema reproductivo: El periodo medio de incubación es de 21 días, cuando la temperatura del sustrato es de 25 °C; cada capullo en promedio produce 3 individuos, lo cual quiere decir que se pueden obtener 380 individuos por lombriz / año.

Sistema digestivo: La lombriz consume los alimentos es por succión, no tiene dientes, de ahí la importancia de mantener bien húmedo el residuo orgánico a transformar. Su nivel de eficiencia es del 60 %, es decir todos los días consume una cantidad de comida equivalente a su peso, excretando en forma de humus el 60 % de la misma; el 40 % restante es asimilado y utilizado por la lombriz para sus funciones vitales.

9.2 Tecnología recomendada para la crianza de la lombriz de tierra

Las lombrices tienden a comer y desarrollarse cerca de la superficie, por lo que en la medida que el recipiente sea proporcionalmente masa amplio que profundo, permitirá alojar una mayor población de lombrices y el proceso podrá ser mas eficiente por el contrario, los recipientes profundos, tienden a sostener menores poblaciones y tienden a compactar el sustrato, dando lugar a condiciones anaeróbicas, indeseables y generadoras de malos olores. La mejor ubicación para cultivar las lombrices, debe ser un sitio ventilado, fresco, de preferencia sombreado, que permita un ambiente estable, sin extremos de altas o bajas temperaturas y con disponibilidad de agua permanente.

9.2. Colocación de alimento y lombrices en el criadero

Primeramente se colocara en la cama de producción el material composteado previamente, y después se colocan las lombrices distribuidas a lo largo de la cama o criadero, luego se

cubre esta con material orgánico, así continuamente hasta alcanzar la altura deseada la cual dependerá del volumen de composta que se vaya a realizar.

9.3. Los cuidados que deben proporcionarse a un lombricario

Temperatura: La temperatura más propicia para el desarrollo óptimo de las lombrices se encuentra alrededor de los 20 °C.

Humedad: La humedad promedio más favorable para las lombrices es del 75 al 85 %.

Aireación: Las lombrices necesitan del oxígeno, porque respiran y eliminan el bióxido de carbono, por lo que la composta o el sustrato deberá permitir la suficiente ventilación interna para que este proceso se lleve a cabo. Adiciones exageradas de alimento fresco, muy denso o pastoso pueden también provocar una falta de ventilación, se evita distribuyendo el material en capas más delgadas, o agregar material poroso.

Alimentación: Deberá de estar lo suficientemente asimilable para estos organismos vivos y estará en función a la cantidad de organismos vivos por superficie. Un kilo de lombrices se come un kilo de alimento al día.

pH: Las lombrices pueden desarrollarse apropiadamente cuando el pH está entre 5, ligeramente ácido y 8 ligeramente alcalino, es decir un rango cercano al 7, que representa al neutro.

10. Especie analizar en Semilleros

10.1. Caraotas Negras

10.1.1. Características

Nombre científico: Phaseolus vulgaris L.

Origen: De América.



Familia: Leguminosae.

Variedad:

Figura 13. Caraotas

Blancos: Caballero, blanco mejorado.

Panamito: Panamito Sanilac, Panamito mejorado

Canarios: Canario L.M.-2-57, Canario Divex 8120 y 8130.

Rojos: Red Kiney.

Negros: Negro de Chincha.

Período Vegetativo: De 80 a 150 días dependiendo la variedad y zona de cultivo

Requerimiento de Suelo: Buen drenaje, no conviene los suelos salitrosos ni húmedos

Épocas de Siembra: En casi todo el país y durante todo el año.

Temperatura óptima / promedio: Climas templados a cálidos.

Humedad: relativa moderada

Frecuencia de Riego (días): Frecuentes, con poco volumen de agua

Principales Plagas: Gusano de tierra, gusano picador del tallo, perforador de vainas

Principales Enfermedades: Oidium, roya, pudrición radicular

10.1.2. Importancia Alimenticia

Las caraotas negras son muy importantes en Venezuela y Colombia, ya que por generaciones parte de la dieta diaria de sus pobladores.

Con las caraotas negras se prepara una sopa oscura y consistente que se presenta previa “al seco” o plato fuerte de los almuerzos o comidas en cualquier rincón del país. La forma de preparar estas caraotas es tomarlas y ponerlas en agua hasta que hierva. Cuando lleguen a un punto blando se sirven. Pueden ser acompañadas del líquido negro o sin éste. Al oriente y el centro del país generalmente le agregan azúcar al plato lo que les da un sabor dulce. Mientras que otras regiones del país les echan sal o también hay quienes las comen simples. Constituye uno de los ingredientes del pabellón criollo, plato típico venezolano.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo General

- Diseñar y construir micro planta de compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos.

Objetivos Específicos

- Diseñar el modelo de las arcas de compostaje.
- Realizar pruebas para el análisis de las propiedades químicas del compost obtenido

- Realizar pruebas para el análisis de la efectividad del compost implementando semilleros.
- Plantear un diseño de una planta de compostaje capaz de procesar los desechos sólidos generados por el Mercado “Soto Rosa” con base a la micro planta analizada experimentalmente.

PARTE EXPERIMENTAL

A. Construcción del Compostador

A.1. Materiales

- Malla plástica con orificios de 0,4 cm de diámetro.
- Recipiente plástico cilíndrico de 36 cm (de diámetro) la base y 18 cm de altura.
- Láminas de cartón
- Hilo pabilo

A.2. Materia Prima

- Conchas y restos de frutas y verduras principalmente papa, tomate, cambur y lechuga.
- Cáscaras de huevo
- Cáscaras de frutos secos

- Huesos de frutos (melocotón y mango).
- 1 kilo de lombrices rojas californianas.

A.3. Procedimiento

Se construyó el compostador mediante la implementación de la malla plástica formando un cilindro, de dimensiones un poco menor a las del recipiente, de tal manera que tanto el cuerpo como la base del compostador se acoplen perfectamente. Para ello se ubicó un espacio abierto, ventilado y con sombra. Para permitir el drenaje del exceso de humedad se perforaron algunos orificios a la base y laterales del recipiente de plástico. Con el fin de fabricar un lecho y permitir la aireación sobre la base y alrededor del compostador los laterales se recubrieron con cartón.

Por otro lado, se trituraron los restos orgánicos, para disminuir su tamaño y se mezclaron entre ellos. Posteriormente se comenzó con el proceso de vermicompostaje en el cual se agregaron los residuos y las lombrices en capas sucesivas, hasta alcanzar la altura deseada.

Durante un par de semanas se dejó bajo sombra y ventilación el compost moviendo constantemente algunas veces por semana. Pasado ocho semanas se extrajeron manualmente las lombrices.

5.4. Cuidados

- Para controlar la humedad, se observa que el material tenga aspecto húmedo, pero no desprenda líquido. Si hay partes de la pila que se observen secas y otras contienen humedad, la solución será realizar un volteo para homogenizar la proporción de humedad. Si el material se observa seco en toda la pila, será necesario implementar un sistema de riego. Es conveniente mezclar el material simultáneamente a este sistema ya que de esta forma se logra humedecer todo el material

Figura 14. Medición de Humedad

- Cuando se introduzca material nuevo, se mezcla con el material más antiguo, para que este facilite la descomposición del material más fresco.

B. Construcción del Semilleros

B.1. Materiales

- Semillas de caraotas (*Phaseolus vulgaris*)
- Recipientes plásticos
- Tierra negra
- Humus preparado

B.2. Procedimiento

Un par de días antes de la siembra se colocaron las semillas en agua para hidratar los tegumentos. Por otro lado los recipientes plásticos a emplear se le perforaron orificios en el fondo para permitir el drenaje al momento del riego. Los ensayos se construyeron de la manera como se muestra en el diagrama: suelo, suelo más humus en proporción 1:1, 1:2, 2:1 y humus solamente. Se abrieron pequeños hoyos en la tierra y en su interior se colocaron las semillas. En un inicio se implantaron tres semillas por recipiente para posteriormente elegir solo uno que sirviera como patrón de ensayo.

Figura 15. Diseño de plantación

B.3. Cuidados

- Se debe regar un poco agua varias veces a la semana.

C. Análisis Físico Químico del Suelo

C.1. Recolección de la muestra de suelo

En el proceso de obtención de información relacionada con el suelo puede haber muchas fuentes de error. Aquellas relativas al proceso analítico están controladas en el laboratorio.

Por lo tanto, la representatividad y calidad de la muestra es decisiva para lograr la información adecuada. Un buen proceso de muestreo permite obtener información confiable. En cambio, un muestreo inadecuado, puede conducir a interpretaciones y decisiones equivocadas.

Para lograr un adecuado muestreo de los suelos, se deben tener presentes los principios básicos que lo orientan: variabilidad, homogeneidad, representatividad y selectividad.

Un diagnóstico adecuado de la fertilidad de un suelo y las recomendaciones de manejo, requiere de la integración de los siguientes aspectos:

- **Caracterización del paisaje:** Se requiere de una detallada descripción del paisaje correspondiente al área de muestreo. Esto es importante para relacionar las características ambientales con los resultados analíticos.
- **Descripción del perfil de suelo:** Se debe realizar esta descripción para cada unidad de suelo diferenciada en el muestreo.
- **Toma de muestras suficientes, en cantidad y calidad:** Tanto la calidad como la cantidad de muestras son fundamentales para obtener datos analíticos de características y propiedades químicas y físicas del suelo, que sirvan de apoyo al diagnóstico.
- **Objetivos del análisis:** Se realizan análisis químico-nutritivos del suelo para evaluar el régimen de elementos nutritivos. Los análisis físicos del suelo permiten evaluar otros factores de la fertilidad del suelo como los regímenes de aire y agua.

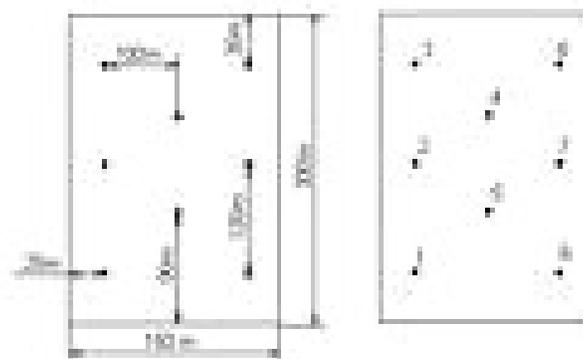


Figura 16. Puntos en el muestreo aleatorio

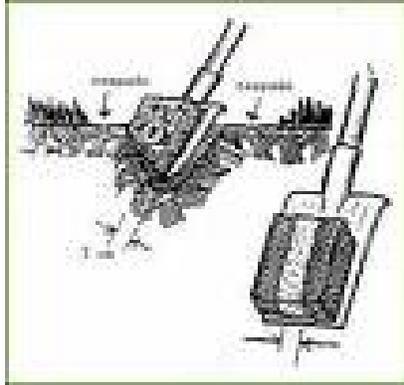


Figura 17. Extracción de la muestra

Figura 18. Muestra lista para enviar al laboratorio

C.2. Preparación de la muestra de suelo en el laboratorio

Se debe hacer una buena preparación de la muestra de suelo en el laboratorio, evitando correr riesgos de contaminación, de manera tal que se reporten resultados reales de cada una de los análisis a realizar.

C.2.1. Materiales

- Cuarto de secado.
- Libro de registro.
- Bandeja.
- Envases plásticos.
- Tamiz de 2 mm.
- Cápsula de porcelana.

- Marcador, tirro.

C.2.2. Procedimiento

Primeramente se identifica la muestra tanto en el interior como en exterior con tinta indeleble al agua, para luego dejarla secar al aire libre extendida en una bandeja. Cuando el suelo está completamente seco se tritura bien con el rodillo y capsula de porcelana y como la muestra que interesa es la fracción fina del suelo, ésta es tamizada y luego almacenada en un recipiente limpio de plástico, con el fin de realizar los análisis requeridos

C.3. Determinación de la textura del suelo

La textura es la cantidad relativa expresada en % de arena, %de limo y % de arcilla contenida en una porción de suelo. Este término se refiere a las diferentes proporciones de separados en la fracción mineral del suelo, denominándose de la siguiente manera:

Arenas (a): Si sus tamaños son de 2,00 a 0,05mm de diámetro.

Limos (L): Si sus tamaños son de 0,05 a 0,002mm de diámetro.

Arcillas (A): Si sus tamaños son menores de 0.002mm de diámetro.

De acuerdo con el separado que domine en el suelo, éste recibe un nombre especial; así como por ejemplo si domina la arena, el suelo se denomina arenoso o liviano; si domina la arcilla se denomina arcilloso; si denomina el limo se denomina limoso, si hay una mezcla adecuada de los tres separados se le denomina franco o mediano.

C.3.1. Método empleado para determinar la textura

Método del hidrómetro (Bouyoucos Modificado): Permite expresar como porcentaje (%) de peso seco total los diferentes tamaños de partículas que constituyen la fracción de tierra fina del suelo. Se basa en la velocidad de decantación en un medio acuoso de las partículas de arena, limo y arcilla sobre la base de la ley de Stokes.

C.3.2. Materiales y Equipos

- Hidrómetro o densímetro de Bouyoucos

- El cilindro graduado de 1000 cm³
- Batidora.
- Embolo de agitación (varilla de cobre)
- Termómetro

C.3.3. Reactivos

- Agente dispersante (hexametáfosfato de sodio) (HIMEDIA, 99% de pureza)

C.3.4. Procedimiento

Primeramente se agrega a la muestra el agente dispersante para separar las partículas de arena, limo y arcilla y se deja reposar durante veinticuatro horas. Luego se agita de cinco a diez minutos en la licuadora. El contenido se vierte en un cilindro y se afora, con la varilla se agita hasta lograr la homogeneidad en la suspensión. Si se produce espuma, se agrega alcohol amílico. A cada lectura del densímetro de bouyoucos efectuada se debe tomar la temperatura de la suspensión, con el fin de obtener, el factor de corrección. A los cuarenta segundos se hace una primera lectura para el cálculo del porcentaje de arena y a las cinco horas se hace una segunda lectura para el cálculo del porcentaje de arcilla.

C.4. Determinación de la reacción de suelo en una solución acuosa relación 1:2

El pH, es utilizado como un indicador inicial muy útil de las características químicas del suelo y permite seleccionar los métodos que se usarán en análisis posteriores de otras propiedades. La dificultad de la medida del pH de un suelo reside en que el pH de la solución edáfica insitu no se corresponde con el medido en el laboratorio pues este varía con el tiempo desde la toma de la muestra y con el grado de desecación. Otro problema con la medida del pH es que no se utiliza siempre el mismo método, con lo que muchas veces es difícil comparar los resultados de uno experimentos con otros. Por ello hay que hacer constar siempre los tiempos de agitación, los tipos de suspensiones y, sobre todo, la proporción entre agua y tierra fina.

C.4.1. Técnica para medir el pH en Laboratorio

Potenciómetro: Se basa en la medición del potencial eléctrico que se crea en la membrana de vidrio del mismo. Lo cual funciona de las actividades de iones hidrógeno a ambos lados de la membrana. La medición del pH se hace en suspensión, el contenido de humedad no guarda una relación definida con las condiciones de campo y lo que en realidad se determina es el pH de la solución, cuya concentración de iones hidrógeno entra en equilibrio con los iones de hidrógeno del suelo. (Cuaderno agronomía, 1993).

C.4.2. Material y equipo

- Medidor de pH (pHchímetro).
- Agitador mecánico.
- Balanza analítica de precisión 0.1 g.
- Fiola de 50 cm³.
- Cilindro graduado de 50 cm³.

C.4.3. Reactivos

- Solución KCl 0.1 M (FISHER, 99% de pureza)
- Soluciones patrón comerciales para calibrado del pH de pH 4, 7 y 9.
- Agua destilada.

C.4.4. Procedimiento

Se pesan 10 gramos de suelo, en una fiola de 50 ml se agrega 20 ml de agua destilada y luego agitar por 30 minutos la solución del suelo. Utilizando un pHchímetro se obtiene el valor del pH.

C.5. Determinación de las Bases Cambiables. Capacidad de Intercambio Catiónico

Las bases intercambiables están constituidas por metales alcalinos o alcalinotérreos unidos a las arcillas y a los constituyentes orgánicos de los suelos, los cuales pueden intercambiarse entre si o con otros iones positivamente cargados, existente en la solución del suelo. Las principales bases son:

- *Potasio (K)*: Este nutriente se encuentra en minerales (feldespatos, mica e illita), disuelto en agua y en estado cambiante y no cambiante. El K disuelto en agua y el cambiante son los que mejor se asimilan, y el no cambiante actúa como reserva.
- *Calcio (Ca)*: La reserva de Ca en los suelos ácidos de las zonas húmedas se hallan en silicatos. Facilita la absorción de otros nutrientes (P, Mo), neutraliza el aluminio y el manganeso, y activa la vida microbiana, al modificar el pH.
- *Magnesio (Mg)*: Este elemento se encuentra en el suelo formando parte de silicatos y carbonatos. El Mg desempeña un papel importante en la fisiología de la planta: por su presencia en la clorofila (S. Bara Temes, 1986).
- *Sodio (Na)*: Es un metal suave, reactivo y de bajo punto de fusión, con una densidad relativa de 0.97 a 20°C.

C.5.1. Métodos

Para bases cambiantes: Acetato de amonio 1N pH 7, como solución extractante: El acetato tiene la propiedad de sustituir los cationes cambiantes en el complejo de intercambio de un suelo. La solución filtrada contiene los cationes a ser determinados por fotométrica de llamas y absorción atómica.

Para la capacidad de intercambio Catiónico (C.I.C): uso de KCL 1N con pH 2,5: la determinación de la C.I.C implica la medición de la cantidad total de cargas negativas por unidad de peso del material.

C.5.2. Materiales y Equipo

- Embudos de vidrio
- Fiolas o balón aforado de 100 cm³ y 300 cm³
- Papel filtro whatman N° 42.
- Tubos de ensayos
- Vasos plástico desechable N° 3.
- Pipeta volumétrica de 20 ó 25 cm³.
- Espectrofotometría de llama.

- Destilador.

C.5.3. Reactivos

- Acetato de amônio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1N pH 7 (HIMEDIA, 99% de pureza)
- Patrones para la determinación de Ca, Mg, K y Na.
- Alcohol isopropílico (JTB, 99% de pureza)
- Reactivo Nessler.
- Cloruro de potasio 1N pH 2,5 (FISHER, 99% de pureza)
- Ácido Bórico al 2% (SIGMA, 99% de pureza)
- Indicador mezclado
- Hidróxido de soda al 5% (RDH, 99% de pureza)
- Ácido sulfúrico al 0,025N (RDH, 99% de pureza)

C.5.4. Procedimiento

Para Bases Cambiables

Se toma una pequeña muestra de suelo y se lixivia con acetato de amonio hasta recoger 100 cm^3 de lixiviado. Luego se afora este con $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, para posteriormente leer en el Espectrofotometría de llama, los valores de cada elemento.

Para Capacidad de Intercambio Catiónico.

En el aparato de absorción atómica se toman las lecturas de cada elemento. Por otro lado se lava la muestra con alcohol al 80% hasta eliminar el amonio en exceso y luego se lava con cloruro de potasio hasta lo indique el reactivo nessler. Finalmente se destila la muestra

C.6. Determinación Nitrógeno total

El nitrógeno es el principal macro elemento que las plantas requieren para su crecimiento y desarrollo. Interviene en diferentes procesos metabólicos y forma parte de numerosas biomoléculas, En los suelos la mayor parte se presenta en forma orgánica, existiendo

cantidades relativamente pequeñas en forma de compuestos de amonio. Las principales fuentes de nitrógeno son la atmósfera y la materia orgánica.

C.6.1. Método para determinar el contenido de nitrógeno

Micro – Kjeldahl, con modificaciones de Winkler: Se fundamenta en la transformación del Nitrógeno en sulfato de amonio (NH_4HSO_4) a través de una digestión en medio sulfúrico con agentes catalizadores. El sulfato de amonio se destila en forma de amoníaco (NH_3), alcalinizando previamente con hidróxido de sodio (NaOH), se determina volumétricamente con un ácido diluido de concentración conocida.

C.6.2. Materiales y Equipo

- Balanza analítica.
- Espátulas.
- Balón de micro Kjeldahl de 50 ml.
- Vaso precipitado de 50 ml. Buretas de 25 ml.
- Aparato de digestor.
- Aparato de destilación.

C.6.3. Reactivos

- Solución digestora.
- Solución de hidróxido de sodio 1:1.
- Solución al 2% de ácido Bórico (SIGMA, 99% de pureza)
- Indicador mezclado.
- Solución valorada de H_2SO_4 al 0,025 N (RDH, 99% de pureza)

C.6.4. Procedimiento

Para determinar el contenido de nitrógeno se introduce en el balón de micro kjdahl 0,40 g de suelo y se añade 2 ml de solución digestora. Se coloca el balón a digerir por una hora y se agita cada 20 minutos, observando que la muestra este de un color blanco. Seguidamente se retira la muestra del aparato y se deja enfriar para adicionar 5ml de agua destilada por el borde del balón y dejar enfriar otra vez. Se agrega 20 ml de ácido bórico en el vaso precipitado y 2 gotas del indicador, se destila la muestra hasta recoger entre 40 a 60 ml y se titula tomando el volumen gastado de ácido sulfúrico.

C.7. Determinación de Materia Orgánica

La determinación del contenido de la materia orgánica de los suelos, resulta importante para el estudio de génesis, clasificación y fertilidad, debido a la influencia que tiene sobre las propiedades físicas y químicas cuyas características están relacionadas con el mayor o menor contenido del material orgánico.

La fuente principal de materia orgánica son los restos de animales y vegetales que se depositan en el suelo y que se encuentra parcial o totalmente descompuesto.

Estos restos orgánicos se degradan hasta compuestos más simples pudiendo ser a su vez objeto de procesos de resíntesis y polimerización originando nuevos compuestos. En el proceso de descomposición intervienen, además de las variables climatológicas (humedad, temperatura,...) los microorganismos del suelo. Fundamentalmente, la mayoría de los métodos utilizados consiste en su determinación indirecta.

La materia orgánica mejora muchas propiedades químicas, físicas y microbiológicas que favorecen el crecimiento de las plantas. Los suelos con menos de 2% de materia orgánica tienen bajo contenido, y de 2 a 5% es un contenido medio, siendo deseable que el valor sea superior a 5%.

C.7.1. Método para determinar el contenido de materia orgánica

El método Walkley-Black: Se fundamenta en el ataque al carbono presente en la materia orgánica el cual se oxida mediante solución de dicromato de potasio y ácido sulfúrico

concentrado, el exceso de ácido crómico no reducido por la materia orgánica, es determinado por titulación frente al sulfato ferroso amoniacal, usando di fenilamina como indicador.

C.7.2. Materiales y equipos

- Balanzas
- Espátulas
- Buretas
- Vasos de precipitado de 250 ml

C.7.3. Reactivos

- Dicromato de potasio 1N ($K_2Cr_2O_7$). (FISHER, 99% de pureza)
- Acido sulfúrico concentrado al 96% (RDH, 99% de pureza)
- Acido fosfórico al 85% (RTH, 99% de pureza)
- Difenil- anina indicador. (JTB, trasvasado)
- Sulfato ferroso amoniacal, aproximadamente 0,5N (HIMEDIA, 99% de pureza)

C.7.4. Procedimiento

Para determinar el contenido de materia orgánica se comienza introduciendo en un vaso de precipitado de 250 ml 0,40 g de suelo, se adiciona 10 ml de dicromato de potasio 1N, 20 ml de ácido sulfúrico concentrado agitando cuidadosamente y dejando enfriar. Se añade 130 ml de agua destilada, se deja enfriar y se agrega 10 ml de ácido fosfórico, 1 ml de indicador (Se torna una coloración violeta-negro). Finalmente se titula con sulfato ferroso amoniacal hasta el punto final que se indica por la aparición de un color verde brillante. Se toman los mililitros consumidos por la muestra.

C.8. Determinación Fósforo Asimilable

El fósforo es el segundo elemento de importancia para las funciones nutricionales de las plantas, está presente en diversos compuestos que forman parte de los procesos de transferencia de energía: fotosíntesis, conversión de carbohidratos, la glucólisis, grasas y aminoácidos entre otros.

En el suelo generalmente, el fósforo se encuentra en forma orgánica e inorgánica o combinado con elementos como: hierro, aluminio, flúor y calcio entre otros, tendiendo a formar compuestos pocos o insolubles en el agua. El pH influye en la disponibilidad del fósforo inorgánico, disminuyendo en suelos ácidos.

C.8.1. Métodos para Determinar el Fósforo Asimilable

El método de extracción Kurt – Bray: Este método se emplea si la muestra presenta pH ácido. El fósforo del suelo se extrae mediante fluoruro de amonio (NH_4F) el cual reacciona con los iones de Al^{+3} y Fe^{+3} unidos a los fosfatos. El fósforo extraído se hace reaccionar con molibdato de amonio y cloruro stannoso, se forma el complejo fosfomolibdato de color azul, después de la combinación entre fósforo y molibdeno y reducción de este mediante cloruro stannoso. La concentración de fósforo se determina colorimétricamente, tomando en cuenta la intensidad de la coloración es directamente proporcional a la cantidad de fósforo presente en la muestra de suelos.

C.8.2. Materiales y Equipo

- Balanzas
- Buretas de 50ml
- Papel filtro Whatman N° 42
- Pipetas volumétricas de 2ml.
- Tubos Klett.
- Tubos de ensayos.
- Fiolas de 50ml.
- Picetas con agua destilada.
- Fotoclorímetro con un haz de luz de 660 nm.

C.8.3. Reactivos

- Solución extractora Kart Bray
- Solución extractora de bicarbonato de sodio de 0,5 m pH 8,5.
- Molibdato de amonio (FISHER, 99% de pureza) 1,5% en HCL (FISHER, 99% de pureza) 3,5 N.
- Cloruro Estañoso (FLUKAR, 99% de pureza)
- Patrones de fósforo.

C.8.4. Procedimiento

Para determinar el fósforo asimilable a 1 gramo de muestra, se le adiciona 7 ml de solución extractora, se agita por tres minutos y se filtra. Luego se pipetea 2 ml del destilado colocando en el tubo klert, se añade 5 ml de agua destilada, 2 ml de molibdato de amonio y 1 ml de cloruro estañoso. Finalmente se agita la solución y se lee en el fotoclorimetro después de transcurrir cinco minutos y antes de los veinte minutos.

Nota: El análisis físico químico del suelo y humus fue realizado en el Laboratorio de Suelo de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes. Los reactivos empleados son importados y distribuidos por Científica Andina ubicada en la Avenida 4 entre calle 31 y 32 - Mérida.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Compostador

Tabla 5 .Datos del compostador elaborado

Estado del Proceso	Variables	Volumen
Residuos orgánicos sin triturar	D = 0,210 m H = 0,360 m	0,0250 m ³
Residuos triturados	D = 0,210 m H = 0,360 m	0,0125 m ³
Compost producido	D = 0,360 m	0,0057 m ³

	H = 0,056 m	
--	-------------	--

A.1. Cálculos

Formulas

Calculo de razón de alimentación (relación entre volumen de residuos triturados y sin triturar)

$$ra = \frac{V}{V_o}$$

ra = Razón de alimentación

V = Volumen de residuos triturados (alimentación al compostador)

V_o = Volumen residuos iniciales (residuos sin triturar)

Calculo de razón de producción (Relación entre volumen de compost producido y residuos sin triturar)

$$rcp = \frac{V_{cp}}{V_o}$$

rcp = Razón de producción

V_{cp} = Volumen de compost producido

V_o = Volumen residuos iniciales (residuos sin triturar)

A.2. Resultados

$$ra = \frac{0,0125m^3}{0,0250m^3} = 0,5 \frac{m^3 \text{ res} \cdot \text{triturados}}{m^3 \text{ res} \cdot \text{sin} \cdot \text{triturar}}$$

$$rcp = \frac{0,0057m^3}{0,025m^3} = 0,228 \frac{m^3 \text{ compost} \cdot \text{producido}}{m^3 \text{ res} \cdot \text{sin} \cdot \text{triturar}}$$

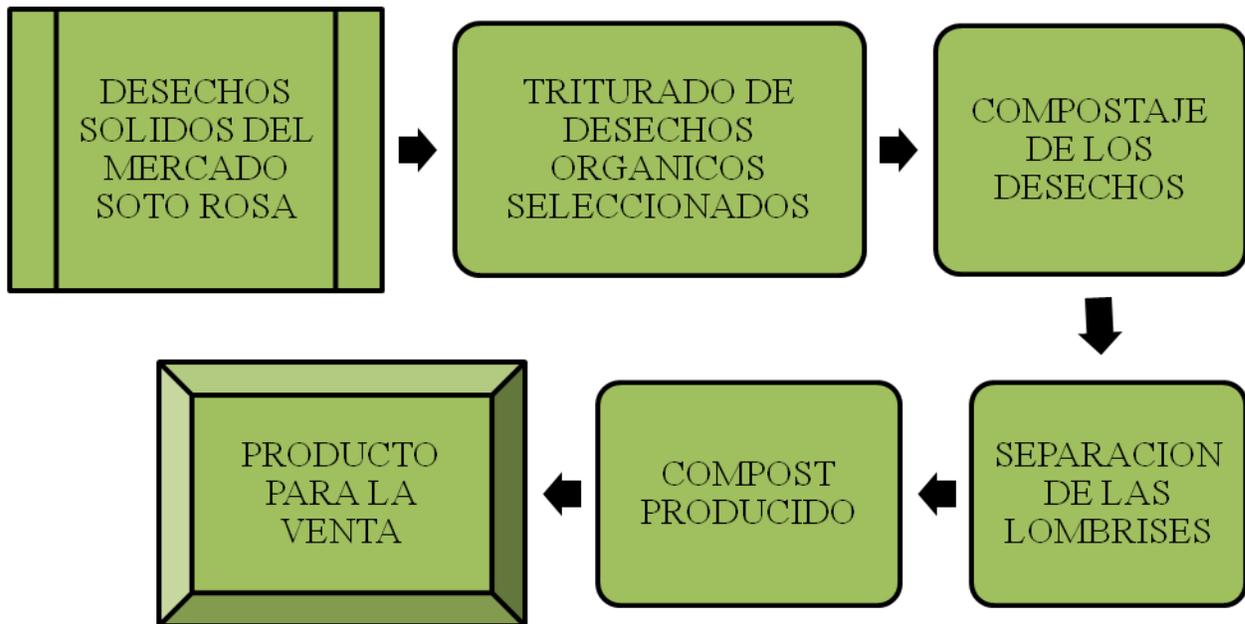


Figura 19. Diagrama del proceso de compostaje.

B. Semilleros. Evaluación de Crecimiento

Semana 0: Para promover la germinación las semillas requieren de agua, oxígeno y una temperatura adecuada, es por ello que se colocaron en agua un par de días antes de ser sembradas, alrededor de cincuenta semillas y solo algunas brotaron y fueron solo estas las que se emplearon en los envases, distribuidas equitativamente en cada uno de los ensayos, la razón por que el resto de las semillas no germinaron se debe a microorganismos que destruyen el interior de ella, o también se debe que las semillas no han alcanzado un nivel de madurez adecuado, o podría darse el caso que las semillas pierden su viabilidad, o se encuentran en estado de latencia.

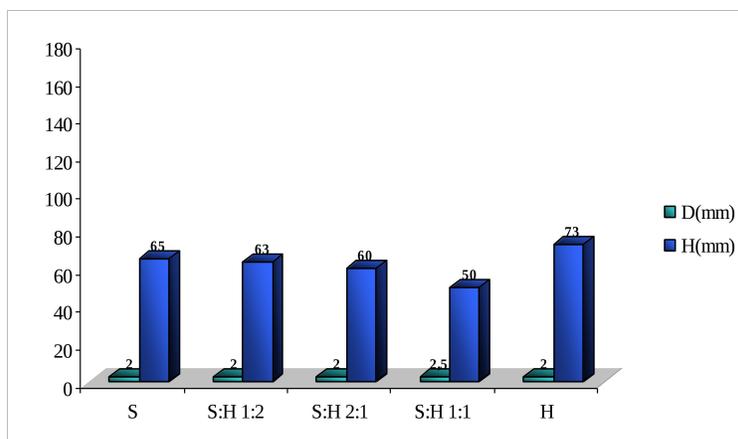
Tabla 6. Datos de diámetro y altura de las plantas

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
--	----------	----------	----------	----------	----------

	D(mm)	H(mm)								
S	2	65	2,3	98	2,3	100	2,3	120	2,3	130
S:H 1:2	2	63	2,5	114	2,5	115	2,5	150	2,5	155
S:H 2:1	2	60	2	82	2	95	2	135	2	145
S:H 1:1	2,5	50	2,5	108	2,5	110	2,5	165	2,5	168
H	2	73	2	124	2	125	2	170	2	171

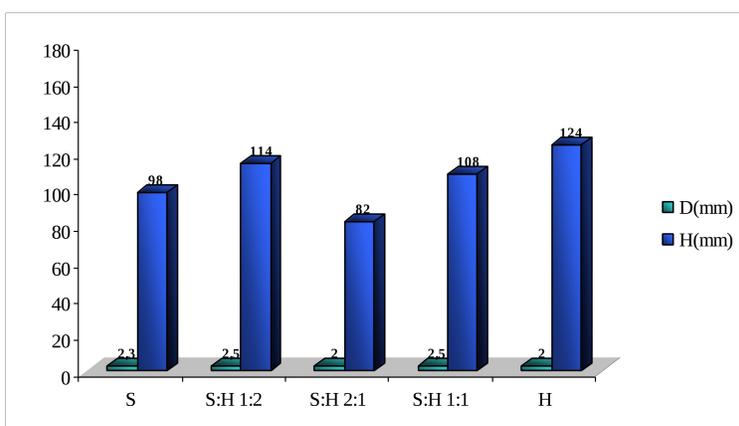
D (diámetro); H (altura).

Semana 1: Los tallos de las plantas son en una media de 2mm y de color verdoso en cualquier caso, existe una diferencia de tamaño de hojas despreciable, y en cuanto altura se considera que empleado humus solo se obtiene mejor resultado. Sin embargo este es el menos recomendable debido que a la larga el exceso de nutrientes podría destruir a larga la planta.



Gráfica 1. Semana 1

Semana 2: Los ensayos en cualquier caso son de color verdoso, lo cual significa que las plantas están recibiendo los nutrientes necesarios. En cuanto a diámetro se refiere empleado suelo y humus en proporción 1:1 y en proporción 1:2 se obtiene mejores resultados. Mientras que la mejor altura se alcanzo empleado humus. Sin embargo, en términos generales el ensayo con humus y suelo 1:2 es el que representa mayor desempeño ya que su diámetro es amplio y su altura es favorable. A pesar que el ensayo de solo humus presenta mejor resultados de altura, y no con respecto a su grosor, con el tiempo podría desarrollarse una planta muy alta pero frágil.



Gráfica 2. Semana 2

Semana 3: En esta semana el crecimiento no es muy notable con respecto a la anterior en cuanto a medidas de diámetro y altura. Sin embargo, en cuanto a apariencia física el ensayo de suelo humus en proporción 1:2 y 1:1 es el que presenta mayor número de hojas y mejor pigmentación de ellas.

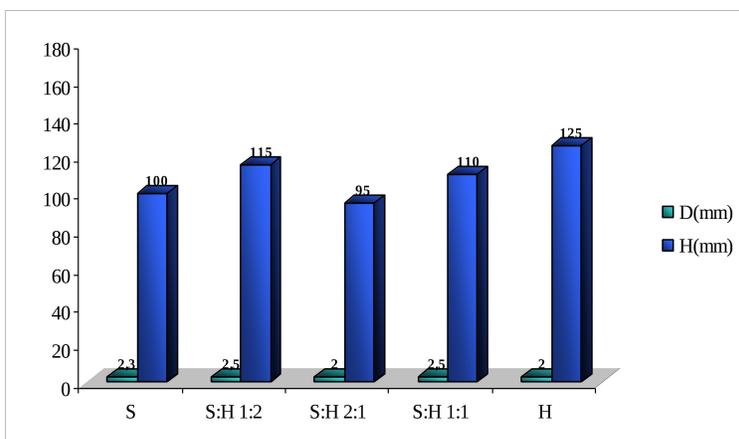
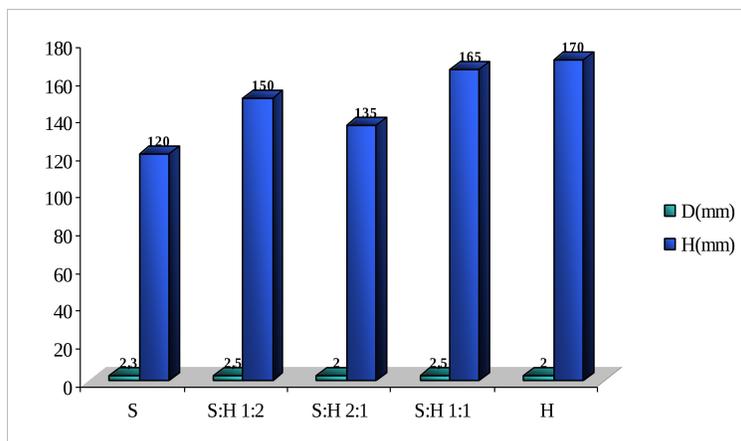


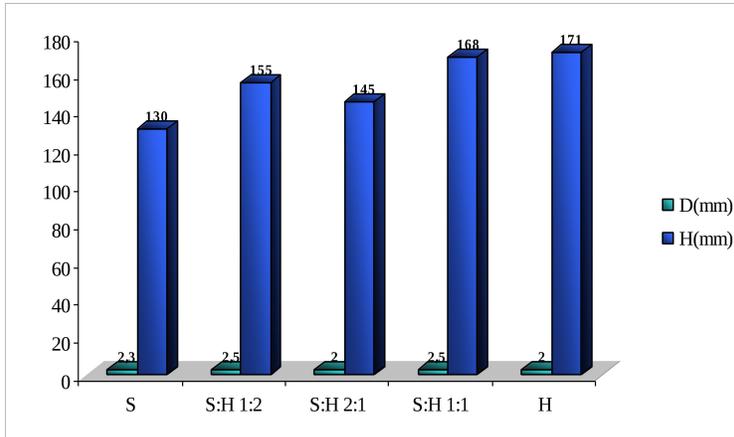
Grafico 3. Semana 3

Semana 4: El ensayo de humus más suelo en proporción 1:1 es hasta el momento el de mejor resultado, un grosor favorable y una altura aceptable, además de una buena coloración de las hojas, se puede observar que el suelo empleado en nuestro ensayos por si solo no presenta los nutrientes necesarios para un optimo desarrollo de las plantas, comparando con el resto, es una planta muy pequeña.



Gráfica 4. Semana 4

Semana 5: En esta semana el ensayo de solo humus no se observan mejorías, empleado solo suelo presenta un déficit de nutrientes, se puede notar en su crecimiento. Las diferentes proporciones de suelo y humos, se obtienen los mejores resultados es decir que los nutrientes necesarios se compaginan perfectamente al mezclar el suelo con el humus obtenido. En nuestro caso se obtuvo mejor resultado mezclando el suelo y el humus en proporción 1:1.

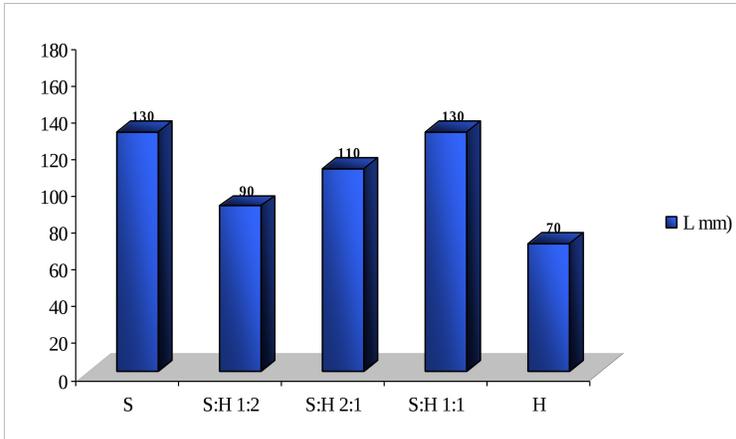


Gráfica 5. Semana 5

Tabla 7. Datos de longitud de raíces y cantidad

	L (mm)	Cantidad
S	130	Medianamente
S:H 1:2	90	Muchas
S:H 2:1	110	Pocas
S:H 1:1	130	Pocas
H	70	Medianamente

En el ensayo de suelo humus en proporción 1:2 se tiene abundante raíces pero muy cortas, algo parecido ocurre en el ensayo de solo humus, pudiendo inducir que la presencia excesiva de materia orgánica como ocurre en los ensayos mencionados, provoca el desarrollo excesivo de las raíces y las longitudes de las plantas, permitiéndole un óptimo desarrollo, cabe destacar que el ensayo de suelo humus en proporción 1:2 presenta un mejor diámetro entre ambos. Comparando con los datos de diámetro y altura el suelo humus en proporción 1: 2 no es necesariamente el más alto pero presenta un diámetro bueno comparado con el resto y abundantes raíces.



Gráfica 6. Longitud de raíces

C. Análisis Físico Químico del Suelo y Humus

C.1. Determinación de la textura del suelo

C.1.1. Expresión de los resultados

Cálculo del blanco corregido:

$$BC = \text{lectura} \cdot \text{hidrómetro} \cdot \text{blanco} \pm \text{temperatura} \cdot \text{corregida} \cdot \text{del} \cdot \text{blanco}$$

Cálculo del % de arena (a):

$$\%(a) = (\text{lectura} \cdot \text{hidrómetro} \cdot a \cdot \text{los} \cdot 40 \cdot \text{seg} \pm \text{temperatura} \cdot \text{corregida} \cdot 40 \cdot \text{seg})$$

$$BC = y$$

$$\%(a) = (y \times 2) - 100$$

Cálculo de % de arcilla (A):

$$\%A = (\text{lectura} \cdot \text{hidrómetro} \cdot a \cdot \text{las} \cdot \text{cinco} \cdot \text{horas} \pm \text{temperatura} \cdot \text{corregida} \cdot \text{cinco} \cdot \text{horas})$$

$$BC = X$$

$$\%(A) = X \cdot 2$$

Cálculo % de Limo (L):

$$\%(L) = 100 - (\%(a) - \%A)$$

Tabla 8. Corrección de las temperaturas

Temperatura en O°C	Corrección de Temperatura
18.0	- 0.8
18.5	-0.6
19.0	-0.4
19.5	-0.2
20.0	0
20.5	0.2
21.0	0.4
21.5	0.6
22.0	0.8
22.5	1
23.0	1.2
23.5	1.4
24.0	1.6

Con los datos que se arrojan utilizando las formulas anteriores, se introducen en el triangulo (Figura 20) para determinar la clase textural del suelo.

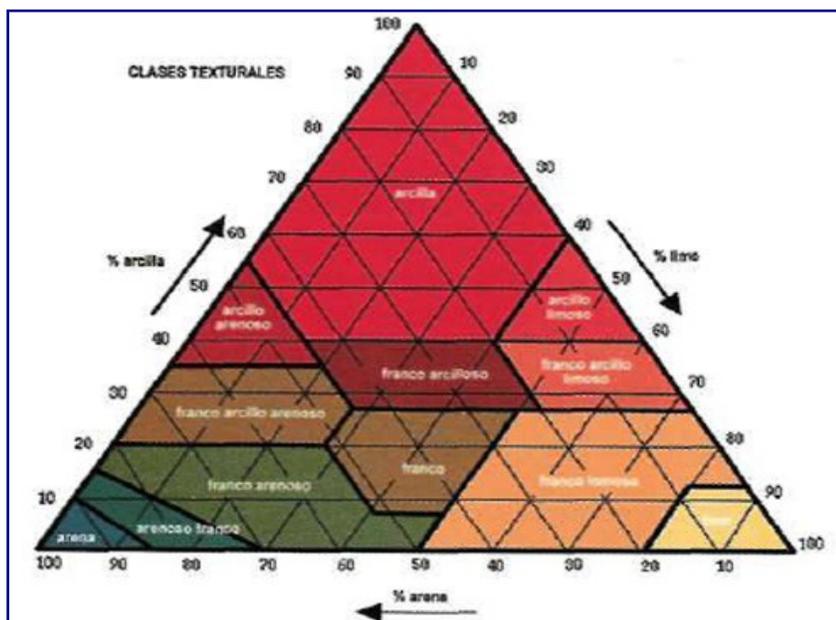


Figura 20. Triángulo textural de Bouyoucos.

C.2. Determinación de la reacción de suelo en una solución acuosa relación 1:2

C.2.1. Interpretación de los resultados

Tabla 9. Interpretación de los rangos de pH

Rango	Interpretación
Menor a 4,5	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muy Fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Medianamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 - 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Medianamente básico
7,9 – 8,4	Básico
8,5 – 9,0	Ligeramente alcalino
9,1 – 10,0	Alcalino
Mayor a 10	Fuertemente alcalino

C.3. Determinación de las Bases Cambiables. Capacidad de Intercambio Catiónico

C.3.1. Expresión de Resultados

Bases Cambiables

$$\text{Elemento} = \frac{\text{PMPextracto} \times \text{ml} \cdot \text{de} \cdot \text{aforo} \cdot 100 \cdot 100}{1000000 \cdot \text{g} \cdot \text{de} \cdot \text{muestra} \times \text{peso} \cdot \text{equivalente} \cdot \text{de} \cdot \text{cada} \cdot \text{elemento}}$$

Capacidad de intercambio catiónico

$$\text{C.I.C} = \frac{\text{mlH}_2\text{SO}_4 \cdot \text{NH}_2\text{SO}_4}{\text{g} \cdot \text{de} \cdot \text{muestra}} \cdot 100$$

$$\text{g} \cdot \text{de} \cdot \text{muestra} = \frac{\text{ml} \cdot \text{de} \cdot \text{la} \cdot \text{aliquota}}{\text{ml} \cdot \text{de} \cdot \text{aforo}} \times \text{g} \cdot \text{total} \cdot \text{pesado}$$

% Saturación de bases

$$\%SB = \frac{\text{Sumatoria} \cdot \text{de} \cdot \text{las} \cdot \text{bases}}{\text{C.I.C}} \cdot 100$$

C.3.2. Interpretación de Resultados

Tabla 10. Interpretación de las bases cambiables

Interpretación	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio
Muy alto	> 20	> 8	> 1,2	> 2
Alto	10 - 20	3 - 8	0,6 - 1,2	0,7 - 2
Medio	5 - 10	1 - 3	0,3 - 0,6	0,3 - 0,7
Bajo	2 - 5	0,3 - 1	0,2 - 0,3	0,1 - 0,3
Muy bajo	< 2	< 0,3	< 0,2	< 0,1

Tabla 11. Interpretación C.I.C. meq/100g de suelos

Rango	Interpretación
Mas de 35	Muy alto
20 a 35	Alto
12 a 20	Medio
6 a 12	Bajo
Menos de 6	Muy bajo

Tabla 12. Interpretación % saturación de bases

Rango	Interpretación
70 - 100	Muy débilmente lixiviado

50 – 70	Débilmente lixiviado
30 – 50	Moderadamente lixiviado
15 – 30	Fuertemente lixiviado
Menor 15	Muy fuertemente lixiviado

C.4. Determinación Nitrógeno total

C.4.1. Expresión de los resultados

Calculo del % de nitrógeno total presente

$$\%N.T = \frac{V \times N(H_2SO_4)}{g_muestra} \times \frac{14}{1000} \times 100$$

V= volumen del consume de H₂SO₄.

N= normalidad del H₂SO₄.

14/1000=es el peso de la muestra sobre la base seca.

C.4.2. Interpretación de Resultados

Tabla 13. Interpretación del nitrógeno total en tanto por ciento

Nitrógeno Total (%)	Interpretación
0,05	Muy bajo
0,06-0,10	Bajo
0,11 -0,20	Normal
0,21-0,30	Alto
0,30	Muy alto

C.5. Determinación de Materia Orgánica

C.5.1. Expresión de los resultados

Calculo del contenido de materia orgánica

$$\%MO = \frac{V_1 \cdot N_1 - V_2 \cdot N_2}{g_de_muestra} \times 100 \times \frac{12}{4000} \times \frac{1,724}{0,74}$$

V_1 = Volumen de dicromato

N_1 = Normalidad del dicromato

V_2 = Volumen de la sal de Mohr.

N_2 = Normalidad de la sal de Mohr.

12/4000 = meq del carbono.

1,724 = factor correspondiente a la transformación del carbón a materia orgánica.

0,74 = factor de recuperación

Calculo del contenido de carbono

$$\%C.O = \text{Resultado de Mo} \times 0,58$$

0.58 = el 58 % de la M. O. Corresponde a la transformación del carbón en M. O.

C.5.2. Interpretación de los resultados

Tabla 14. Contenido de carbono y materia orgánica en la muestra

Materia Orgánica	Carbón Orgánico	Interpretación
13.62- 8.45	7.90-4.90	Muy alto
8.45-6.03	4.90-3.50	Alto
6.03-3.28	3.50-1.90	Medio
3.28-0.86	1.90-0.50	Bajo
> 0.86	>0.50	Muy bajo

C.6. Determinación fósforo asimilable

C.6.1. Expresión de los resultados

Calculo de la concentración de fósforo

$$ppm = \frac{ppm \cdot P \cdot en \cdot solución \times ml _ solución _ extractora \times ml \cdot totales}{g \cdot de \cdot muestra \times ml \cdot del \cdot filtrado}$$

Las ppm del P en solución se obtienen en una curva previamente establecida, con patrones de fósforo de concentración conocida

C.6.2. Interpretación de Resultados

Tabla 15 .Interpretación de fósforo, extraído por el Método Olsen

Fósforo Asimilable (ppm)	Interpretación
< de 5,0	Muy bajo
5,1 – 15,0	Bajo
15,1 – 30,0	Normal
30,1 – 40,0	Alto
> de 40,0	Muy alto

Tabla 16. Interpretación de fósforo, extraído por el Método Bray

Fósforo Asimilable (ppm)	Interpretación
< de 3,0	Muy bajo
3,1 – 7,0	Bajo
7,1 – 20,0	Normal
20,1 – 30,0	Alto
> de 30,0	Muy alto

C.7. Resultados de Análisis de Suelo

Granulometría (Bouyocus Modificado)				
% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural	Interpretación
69,6	28,0	2,4	Fa	Gruesas

pH
(Método Potenciométrico, 1:2)
Agua

Valor	Interpretación
-------	----------------

8,26	Ligeramente alcalino
------	----------------------

pH
(Método Potenciométrico, 1:2)

Carbono Orgánico
(Walkley-Black)

Valor	Interpretación
-------	----------------

7,72	Muy Alto
------	----------

Conductividad Eléctrica
(mmhos)

Valor	Interpretación
-------	----------------

0,00767	Muy Baja
---------	----------

Nitrógeno
(Walkley-Black)

Valor	Interpretación
-------	----------------

0,39	Alto
------	------

Materia Orgánico
(Walkley-Black)

Fósforo
(Kart- Bray y Olsen) ppm

Valor	Interpretación
-------	----------------

13,30	Muy Alto
-------	----------

16,8	Bajo
------	------

Bases Cambiables
(Acetato de Amonio 1N pH 7) (meq/100g)

Calcio		Magnesio		Potasio	
Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación

C.8. 9,75 Medianos 0,21 Muy Bajo 1,66 Muy Alto **Result**

ados de Análisis del Humus

Conductividad Eléctrica
(mmhos)

Valor	Interpretación
-------	----------------

0,01010	Muy Baja
---------	----------

Carbono Orgánico (Walkeley-Black)	
Valor	Interpretación
7,89	Muy Alto

Nitrógeno (Walkeley-Black)	
Valor	Interpretación
13,60 0,67	Muy Alto Muy Alto

Fósforo (Kart- Bray y Olsen) ppm	
Valor	Interpretación
50,4	Muy Alto

Bases Cambiables (Acetato de Amonio 1N pH 7) (meq/100g)					
Calcio		Magnesio		Potasio	
Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
9,00	Medianos	0,33	Bajo	13,35	Muy Alto

D. Diseño de Planta de Compostaje Semi-Industrial para el manejo de los desechos orgánicos del Mercado “Soto Rosa” de Merida

En vista de los resultados obtenidos en la prueba piloto realizada anteriormente se comprobó la eficacia de la técnica del compostaje como un método de alta importancia en cuanto a la reutilización de desechos orgánicos con vista a mejoras ecológicas y como

apoyo a las técnicas de reciclaje, ya que como ingenieros además de crear productos para la sociedad, también se debe tener en cuenta la importancia del buen manejo de los recursos naturales y su adecuado aprovechamiento. Por todo ello se desea expandir esta técnica al tratamiento de desechos a mayor escala, específicamente los desperdicios recolectados diariamente, y su acumulación durante un mes en el Mercado Municipal “Soto Rosa” ubicado en el Municipio Libertador del Estado Mérida, para realizar este proyecto se planteara el diseño de la planta presentando sus costos y maquinaria necesaria para desarrollar satisfactoriamente todo el proceso, obteniendo así como producto una determinada cantidad de compost que servirá como abono orgánico para cultivos domésticos y de alta producción.

Existen dos sistemas básicos de compostaje, los sistemas abiertos (o compostaje en pilas) y los sistemas cerrados (contenedores o reactores), los sistemas abiertos, en general, son más difíciles de controlar, necesitan gran cantidad de medidores para mantener condiciones optimas de temperatura, pH y humedad, y además necesitan emplear volteadoras muy costosas para la correcta aireación del compost. En cambio los sistemas cerrados pueden ser diseñados y pueden funcionar en las condiciones que se encuentren ideales para cada caso, por ende en nuestro caso se aplicara el diseño de un sistema cerrado debido a que no se cuenta con grandes cantidades de desechos necesarios para hacer un diseño netamente industrial, donde si hubiera sido indispensable un sistema abierto con todos los gastos que implica la adquisición de maquinaria y equipamiento necesario. Cabe destacar que en los sistemas cerrados a emplear, existe un alto costo en la implementación de composteros, pero se produce un gran ahorro en cuanto a que no se necesita maquinaria pesada, ni medidores, ni sondas que monitoreen el proceso.

Las plantas de producción de compost varían unas a otras en cuanto a su diseño, pero se centran básicamente en una serie de etapas:

1. Recolección de desechos
2. Transporte
3. Recepción
4. Trituración

5. Compostación
6. Separación
7. Ensacado
8. Venta del producto obtenido

Estas etapas se pueden apreciar en el siguiente diagrama y los equipos utilizados durante cada una de ellas se detallaran posteriormente



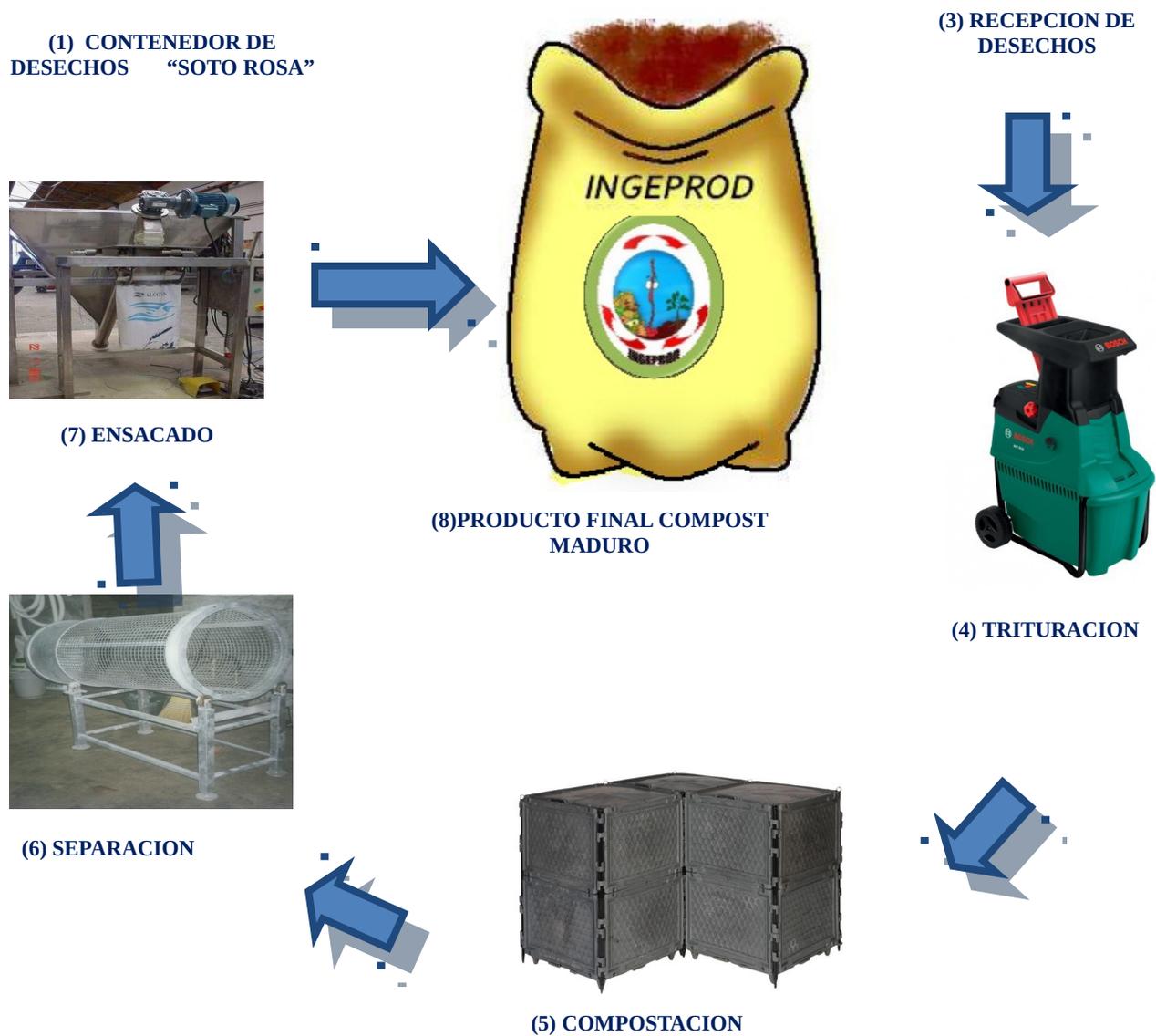


Figura 21. Diagrama Secuencial del proceso de compostaje

Etapa 1. Recolección:

Esta etapa consta simplemente de la acumulación de desperdicios en los contenedores del Mercado Soto Rosa durante las jornadas de trabajo.

Etapa 2. Transporte:

Ingeprod realizaría el proceso de transporte de los residuos desde el mercado hasta las instalaciones de la planta a través del alquiler de camiones tipo 350 con capacidad de casi 4000Kg, esto simultaneo con un posible plan de co-ayuda con la alcaldía del Municipio Libertador, ya que con esta acción se unirían lazos para disminuir la cantidad de desechos del sector.

Etapa 3. Recepción:

En este instante la materia prima es recibida en la planta; los desechos son apilados sobre una zona apta para contener una determinada cantidad de dicha materia. Ingeprod contaría con un espacio de 49m², de manera de estar en la capacidad de retenerlos mientras se prosigue a la otra etapa.

Etapa 4. Trituración:

Previo al proceso de compostación es necesario reducir el tamaño de todas las partículas a compostar de manera que las lombrices puedan transformar con mayor facilidad la materia prima. Para ello es necesario la implementación de una maquina trituradora. Por motivos monetarios y de procesamiento de mediana escala Ingeprod opta por la Biotrituradora Bosch modelo AXT 25D, la cual cuenta con un potente rendimiento de desmenuzamiento y en la que solo se tienen que introducir los desechos en la tolva de alimentación rápida. El sistema de rodillos corta y tritura en un único proceso, obteniéndose así un material desmenuzado biodegradable de alta calidad. El rendimiento es de hasta unos 200kg/h

Etapa 5. Compostación:

En esta etapa es donde ocurre el proceso de transformación de la materia prima en compost. Los residuos ya triturados son mezclados con lombrices rojas californianas, las cuales serán proporcionadas por un criadero instalado en la misma planta, esto a partir de 50 Kg de lombrices adquiridas inicialmente. La cantidad de estas a emplear dependerá de la

capacidad de almacenaje de cada compostador. En vista de que Ingeprod decidió recurrir a sistemas de compostaje cerrados se emplearan contenedores denominados “Combox”, cada combox tiene una capacidad para más de 0.15 m³ por lo que se plantea adquirir 10 Combox 2100 gris, que son equivalentes a 140 combox normales, con una capacidad neta de casi 23 m³. Se decidió trabajar con este tipo de compostadores porque hacen posible distribuir y separar las distintas etapas de madurez por las que transcurre el proceso de compostaje, permitiendo una óptima accesibilidad, tanto para depositar restos como para extraer compost parcial o totalmente por cualquier lateral, además son inalterables a los golpes y a las condiciones meteorológicas y resistentes a la degradación por parte de los organismos descomponedores.

Etapa 6. Separación

Para obtener un producto de mayor calidad luego que se ha dado el tiempo necesario para que el proceso de compostaje se complete, es necesario separar los productos inertes y material no degradado. Por lo que se pasaran todo los productos obtenidos de los composteros a través de un “tromel”, el cual es un cilindro giratorio de malla de 2 m de largo y 60cm de diámetro accionado por un motor dónde se introduce manualmente el humus ya cosechado, y luego por la parte final del cilindro se extraen los materiales que no pasaron por la malla de 10mm. Este tamizado permite dar una granulometría más fina al producto favoreciendo su aplicación y agregándole valor comercial. El humus fino queda amontonado para pasar a la parte final.

Etapa 7. Ensacado:

Una vez listo el producto se procederá al empaquetado para su posterior distribución y comercialización. Para ello la empresa dispondrá de una ensacadora automática CFL, la cual es una máquina versátil y de dimensiones reducidas. Esta ensacadora tiene entrada

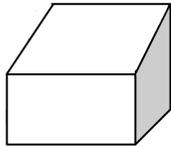
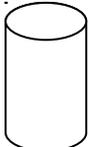
gravitatoria, es de accionamiento neumático e ideal para instalaciones de granulometrías superiores a 1.5-2 mm. La producción es de 300 sacos/hora.

D.1. *Materia prima*

A procesar en nuestro proyecto de planta se obtiene de los residuos orgánicos que se acumulan en el Mercado Soto Rosa.

Suponiendo que se llenan completamente los contenedores que se encuentran en esta zona, se realizan los siguientes cálculos.

Tabla 17. Semanalmente se obtiene una acumulación de residuos

Contenedor	Variables	Volumen	Número de Contenedores	Volumen Total
Prisma	 $H_1 = 21 \text{ cm}$ $H_2 = 36 \text{ cm}$ $A = 160 \text{ cm}$ $P = 170 \text{ cm}$	1,972 m ³	4	7,888 m ³
Cilíndrico	 $D = 40 \text{ cm}$ $H = 70 \text{ cm}$	0,088 m ³	8	0,704 m ³

D.1.1. *Cálculo de volumen de desechos acumulado*

$$\text{Volumen de residuos mensuales} = (7,888 \text{ m}^3 + 0,704 \text{ m}^3) 4 \text{ Semanas} = 34,36 \text{ m}^3$$

Para fines de diseño se aumenta 30 %

$$\text{Volumen de residuos mensuales} = 34,36 \text{ m}^3 (1 + 0,3) = 44,66 \text{ m}^3 \cong 45 \text{ m}^3$$

Tomando en cuenta la producción mensual de residuos orgánicos y las relaciones para el compostador y compost.

D.1.2. Formulas

Calculo de alimentación al compostador

$$V = V_o * ra$$

V = Volumen de residuos triturados (alimentación al compostador)

V_o = Volumen residuos iniciales (residuos sin triturar)

ra = Razón de alimentación

Calculo de Compost producido

$$V_{cp} = V_o * rcp$$

V_{cp} = Volumen de compost producido

V_o = Volumen residuos iniciales (residuos sin triturar)

rcp = Razón de producción

D.1.3. Resultados

$$V = 45m^3 \text{res_sin_triturar} * 0,5 \frac{m^3 \text{res_triturados}}{m^3 \text{res_sin_triturar}} = 22,5m^3 \text{res_triturados}$$

$$V_{cp} = 45m^3 \text{res_sin_triturar} * 0,228 \frac{m^3 \text{compost_producido}}{m^3 \text{res_sin_triturar}} = 10,26m^3 \text{compost_producido}$$

1.2. Finanzas Requeridas

Maquinaria De Planta

Equipos	Capacidad	Costo (Aproximado)
Trituradora	200 Kg/h	2275,50 Bs
Composteros (10)	23 m ³	21815,25 Bs.

Tromel	400 Kg/h	26550,00 Bs.
Ensayadora	300 sacos/h	28300,00 Bs.
Total Requerido		78940,75 Bs.

Gastos Adicionales De Planta

Material	Cantidad	Costo
Lombrices Rojas	50 Kg	1500 Bs.
Total Requerido		1500 Bs.

Gastos Mensuales

Servicio	Capacidad	Costo
Alquiler Camión 350	4000 Kg/carga	3000 Bs.
Total Requerido Mensualmente		3000 Bs.

Personal

Etapa	Número de obreros	Salario
Recepción	2	1800 Bs
Trituración	2	1800 Bs
Compostación	3	2700 Bs
Separación	2	1600 Bs
Ensayado	2	1600 Bs
Total Requerido Mensualmente		9500 Bs

1.3. Plano de la Planta

1 Recepción 2 Triturador 3 Lombricario 4 Compostadores
5 Tromel 6 Ensayadora 7 Almacen y Oficinas

1.4. Venta y Presentación Del Producto

Presentación	Costo
Sacos de 10 Kgs	15,00 Bs
Sacos de 20 Kgs.	25,00 Bs

Sacos de 50 Kgs.	40,00 Bs
------------------	----------

D.5. Publicidad

CONCLUSIONES

- La descomposición se llevó a cabo mediante un proceso aeróbico, donde además de obtenerse el compost, se liberó dióxido de carbono, agua, calor y amoníaco.
- Se utilizó el proceso de vermicompostaje debido a que es un método complementario con el compostaje para reducir los residuos orgánicos, en donde las lombrices producen un humus de alta calidad, proporcionando una serie de ventajas frente a otro tipo de abonos orgánicos, como son la riqueza en enzimas y microorganismos restaurando el equilibrio tierra-vegetal.
- Para el vermicompostaje se empleó la lombriz roja californiana “Eisenia Foetida” gracias a su rusticidad, tolerancia a los factores ambientales (pH, temperatura, humedad), potencial reproductor y capacidad de transformación de materia.
- Las pruebas de laboratorio, junto a las pruebas biológicas permiten evaluar satisfactoriamente las propiedades y calidad del compost obtenido.
- El ensayo biológico que mostró mejores resultados fue empleando suelo y humus en proporción 2:1. Esto en vista de que se lograron establecer las condiciones ideales para el adecuado crecimiento de las plantas.
- El Compost aumenta la acción biológica del suelo. Opera como sostén y alimento de los microorganismos que necesitan del humus y favorecen a su mineralización.
- El compost obtenido en comparación con el suelo estudiado, está enriquecido en potasio, nitrógeno y fósforo, que son la fuente principal para el óptimo desarrollo de las plantas.
- Obtener compost es un proceso económico, ecológico y de fácil manipulación.
- El compostaje a pequeña escala sigue los mismos principios y reacciones químicas que ocurrirían en un compostador a gran escala o industrial, permitiendo evaluar las propiedades del compost, así como. Tener una base de cálculo para el diseño de una planta de compostaje.

- El sistema de compostaje es un método eficaz de transformación de residuos orgánicos hasta ahora no utilizados, en recursos que se enfoquen hacia una agricultura más racional, acorde con el respeto a la naturaleza y que sea más sostenible, lográndose mayor rentabilidad a mediano y largo plazo.

RECOMENDACIONES

- Darle a conocer a las comunidades los beneficios del compost para que puedan realizar este proceso ya sea mediante el compostaje doméstico o compostaje comunitario, reduciendo así la acumulación de desechos en sus sectores.
- Es fundamental en los programas domésticos que los usuarios entiendan el funcionamiento de las unidades de compostaje y que conozcan qué materiales pueden depositarse en ellas. Por ello se debe orientar a la comunidad en su correcta implementación.
- Crear una planta que procese los desechos orgánicos que se producen en el mercado Soto Rosa disminuiría el impacto ambiental que este puede ocasionar.
- Orientar a los agricultores en el adecuado manejo y manipulación de fertilizantes, impulsando el empleo de biofertilizantes debido a su economía y contribución ecológica.
- La cantidad de humus de lombriz a emplear en una siembra cualquiera, depende del tipo de suelo a usar, extensión del terreno, clima, temperatura y con sinfín de parámetros ambientales así como también de las semillas a sembrar, y sus requerimientos para su óptimo desarrollo.
- Considerando la producción agrícola del estado Mérida, es conveniente sondear las necesidades de abono en esta región de Venezuela, sistemas de distribución del producto, así como; fuentes alternativas de desechos orgánicos, para aumentar la capacidad de producción de la planta de compostaje y satisfacer la demanda del mercado.
- Para establecer una planta de compostaje en el estado Mérida, que permita obtener grandes volúmenes de producto a bajo costo es conveniente coordinar la cooperación entre entes gubernamentales y la Universidad de Los Andes para crear un proyecto de acción conjunta, (terrenos, recolección de desechos orgánicos, equipos de planta, procesamiento, distribución y apoyo técnico).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANDFIASS, AC. 1998. ¿Cómo elaborar una composta?. Fertilización alternativa. México. p. 1-10.
- Andrés, P. y Rodríguez, R. 2008. Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamérica ISBN: 978-84-96742-37-6. Documenta Universitaria. Girona (España)
- Aviles, M.; E. Carmona.; J. Ordovas. y M. C. Ortega. 1996. Evolución de la carga fúngica durante el compostaje del residuo industrial del corcho para su uso como sustrato de cultivo hortícola y silvícola. Investigaciones Agrícolas: Producción vegetal. 11 (2): 9-11.
- Bongcam Vásquez, Elkin., 2003. Guía para compostaje y manejo de suelos. Convenio Andrés Bello; Serie Ciencia y Tecnología, N° 110. 32p. Bogotá.
- CHIU-CHUNG YOUNG, PD REKHA, and AB ARUN. 2005. What Happens during Composting?. Food & Fertilizer Technology Center. Taiwan.
- Eweis, J. B. Principios de biorecuperación. Tratamiento para contaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y fisicoquímicos. McGraw-Hill. España, 1999.
- Fontalva C. y Santander P., 2001. estudio de gestión del compostaje como alternativa de disposición de lodos de aguas residuales. Universidad de Santiago de Chile. Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Geográfica.
- Funes, F. M. y D. Hernández. 1996. Algunas consideraciones y resultados sobre la elaboración y utilización del compost en fincas agroecológicas. Agricultura Orgánica. Vol. 2 No 1: 6 – 15.
- GUERRERO. Jhoniers. Monsalve Jaime. El Compostaje Como Una Estrategia De Producción Más Limpia En Los Centros De Beneficio Animal Del Departamento De Risaralda. 2006.

- Golueke, C.G. (1972). *Composting: A Study of the process and its Principles*. JG Press Inc. Emmaus-Penn Ed.
- GROSSI, M. L. Evaluación de la calidad de los productos de las usinas de compostaje de Brasil de residuos sólidos domésticos a través de metales pesados y sustancias orgánicas. Universidad de Sao Paulo, 1993.
- Haug, R.T. 1993. "The Practical Handbook of Compost Engineering". 1ª Edición. Lewis Publishers. USA.
- Hertelendy, K. (1974). «Paper chromatography a quick method to determinate the degree of humification». *Compost IRCWD News*. n. 7, 1-3.
- Karczynsky, H. 1996. *Agricultura biodinámica y compostaje*. Asociación Nacional de Agricultura Orgánica. Costa Rica. Vol. 3.1: 5-6.
- LUGO, Saskya. 1998. *Evaluación de los Proyectos de Compostaje en el Ecuador* Fundación Natura, Quito.
- Mayea, S. S. 1995. Efectividad de la inoculación artificial y con estiércol vacuno en la elaboración del compost. (biotierra). Centro agrícola. *Revista del MES*. Cuba. UCLV. p. 28-33.
- Negro. M., Villa. F, Aibar. J., Alarcón. R., Ciria. P., Cristóbal. M. De Benito. A., García Martín A., García Muriedas. G., Labrador. C., Lacasta, J.A. Lezaún, R. Meco, G. Pardo, M.L. Solano, C. Torner, C. Zaragoza. C. 2000 .*Informaciones Tecnicas*. Direccion General de Tecnologia Agraria. Centro de Tecnicas Agrarias. Número 88. Aragon
- Ozores-Hampton M., Obreza T. y Hochmuth. 1998. Composted municipal solid waste use on Florida vegetable crop. *HortTechnology* 8:10-17.
- Parr, J.F., Hornick, S.B..1993. Utilization of municipal wastes. En: F.Blaine Metting Jr. (Ed.) *Soil Microbial Ecology*, p. 545-559.
- Peña-Turruella, E., Carrion Ramirez, M., Martinez, F. Rodriguez Nodals, A. y Companioni-Concepcion, N., 2002. *Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana*. INIFAT, Cuba.
- Saña, J. y Soliva, M. 1987. «El compostaje: Proceso, sistemas y aplicaciones». *Quaderns d'ecologia aplicada*, nº 11. Diputació de Barcelona. Servei de Medi Ambient. Barcelona.

- Sztern D. y Pravia M., 1999. manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. *Organización panamericana de la salud*. Organización Mundial de la Salud. 65p.
- TCHOBANOGLOUS, G., Theisen, H., Vigil, S. 1993. Gestión Integral de los residuos Sólidos, Vol. II McGraw Hill. Madrid.
- Urbano Terrón, P., 1992. Tratado de Fitotecnia General. Ed. Mundi-prensa.
- Yágodin, B.; A. Peterburgski.; J. Asárov.; V. Diomin.; B. Pleshkov. y N. Reshétnikova. 1986. Agroquímica II. Ed: Mir. Moscú. p. 136 – 142.