

Serie: Documentos de Trabajo – N° 15

DE RESIDUO A RECURSO
Bioreciclaje de cáscara de arroz en los Humedales del Este

Universidad de la República
Facultad de Agronomía



GLOBAL
ENVIRONMENT
FACILITY

pnud

Rosana Díaz

*Programa de Conservación de la Biodiversidad y Desarrollo Sustentable
en los Humedales del Este (PROBIDES)*

Gabriela Malvárez

Facultad de Agronomía - Universidad de la República

Ana Zorrilla

Facultad de Agronomía - Universidad de la República

DE RESIDUO A RECURSO

Bio-reciclaje de cáscara de arroz en los Humedales del Este

Rocha, junio de 1998

CATALOGACIÓN EN PUBLICACIÓN (CIP)

Díaz, Rosana.

De residuo a recurso: bio-reciclaje de cáscara de arroz en los Humedales del Este / Rosana Díaz, Gabriela Malvárez, Ana Zorrilla.- Rocha, UY : PROBIDES, 1998.

31 p.: tpls., grafs. (*Documentos de Trabajo; 15*)

Incluye bibliografía.

TABLA DE CONTENIDO

PRIMERA PARTE: LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN EL SUELO

1. La actividad biológica en el suelo.....	5
--	---

SEGUNDA PARTE: TECNOLOGÍAS DE BIO-RECICLAJE

1. Compostaje	9
1.1 Formación de la pila.....	9
1.2 Etapas de la degradación.....	10
1.3 Factores que afectan el compostaje y cómo se controlan.....	11
2. Vermicompostaje.....	17

TERCERA PARTE: EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE COMPOSTAJE Y VERMICOMPOSTAJE EN LA DEGRADACIÓN DE LA CÁSCARA DE ARROZ.

1. Introducción.....	23
2. Materiales y métodos.....	23
3. Resultados.....	25
4. Discusión	28
5. Conclusiones.....	29
BIBLIOGRAFÍA	30

**PRIMERA PARTE:
LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN EL SUELO.**

1. La actividad biológica en el suelo.

Millones de microorganismos operan y conviven en el suelo, de manera simultánea o sucesiva con el resto de los meso y macro organismos animales y vegetales, y contribuyen a través de sus propios procesos vitales a la liberación de gran parte de los nutrientes que sustentan a todo el sistema. Así, a través de intensas interacciones biológicas, se degradan los residuos orgánicos y los minerales sufren importantes transformaciones.

La población microbiana, bacterias, hongos, protozoarios, actinomicetes y otros (Cuadro 1), se presenta sin mayores modificaciones en la mayoría de los suelos y puede alcanzar, en suelos de alta fertilidad, valores de biomasa expresada en peso superiores al peso de los animales que viven sobre él.

Cuadro 1.

Bacterias	1 - 10 ton/Ha
Hongos	0,5 - 5 ton/Ha
Protozoarios	100 kg/Ha
Actinomicetes	100 - 1000 kg/Ha

Los principales componentes del suelo en sus valores promedio, se distribuyen en 25% de gases, 25% líquidos y 50% de sólidos, dentro de los cuales 5% aproximadamente corresponden a la materia orgánica (Figura 1).

Principales componentes del suelo

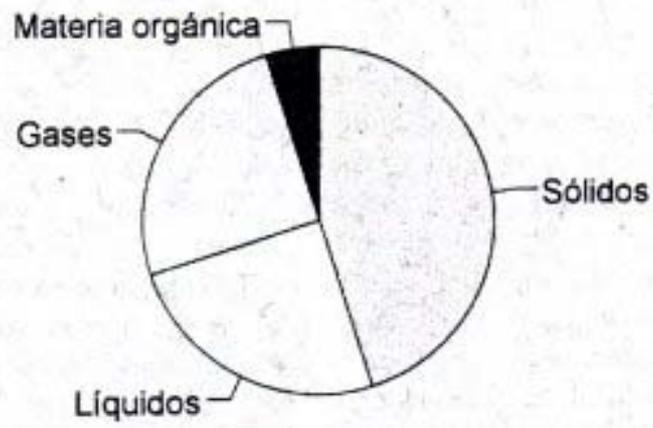


Figura 1.

Dentro de los sólidos, los minerales de las fracciones limo y arena tienen escasa o nula actividad ya que se descomponen muy lentamente. Por el contrario, los minerales de la fracción arcilla así como los materiales húmicos, son responsables de gran parte de la actividad coloidal del suelo.

La fracción orgánica (es decir, todos los restos de animales y vegetales que llegan al ambiente del suelo) contiene una mínima proporción de materia viva; el resto lo constituye la materia orgánica en proceso de descomposición o relativamente estable por procesos de humificación.

En los suelos, los procesos de degradación de la materia orgánica (pastos, ramas, huesos, etc.) tienen una dinámica continua: se trata de procesos que no se detienen.

Los organismos que intervienen en este ciclo viven en la capa superficial del suelo ya que necesitan oxígeno y humedad para cumplir sus funciones. Algunos se alimentan directamente de los restos caídos al suelo: hojas, animales muertos o sus desechos, a los que trituran y descomponen en partículas cada vez más pequeñas que poco a poco se integran al suelo.

El sol y la lluvia participan también en los procesos de transformación de la materia orgánica en compuestos minerales solubles asimilables por las plantas, modificando las condiciones de humedad y temperatura del medio.

Solamente las bacterias autótrofas (que usan anhídrido carbónico como fuente de carbono) y las plantas, son capaces de sintetizar materia orgánica a partir de compuestos minerales y elementos simples, mediante la fotosíntesis. Los demás seres vivos obtienen el carbono de moléculas orgánicas tales como glucosa y celulosa, entre otras.

Si se incorporan los residuos de las plantas o animales al suelo, o se disponen en una pila de compost bajo condiciones favorables de aereación y humedad, y en presencia de microorganismos, se producirá inicialmente una rápida descomposición que decrecerá con el tiempo.

Algunos componentes de la materia orgánica son utilizados por los microorganismos para la formación de su propio material celular, otros son volatilizados y otros son biológicamente transformados en una sustancia oscura, uniforme, rica en partículas coloidales que proporcionan al material formado propiedades físicas, químicas y fisico-químicas diferentes a las de la materia prima original. Esta sustancia es la materia orgánica estabilizada bajo forma de compuestos húmicos, lo que en conjunto se denomina "humus".

Los residuos orgánicos son una mezcla compleja de moléculas fácilmente degradables y resistentes, constituidas principalmente por carbono (50-55%) y nitrógeno (7-8%). La accesibilidad de estas fracciones a la descomposición determina su destino en el suelo (Chaney et al. 1990).

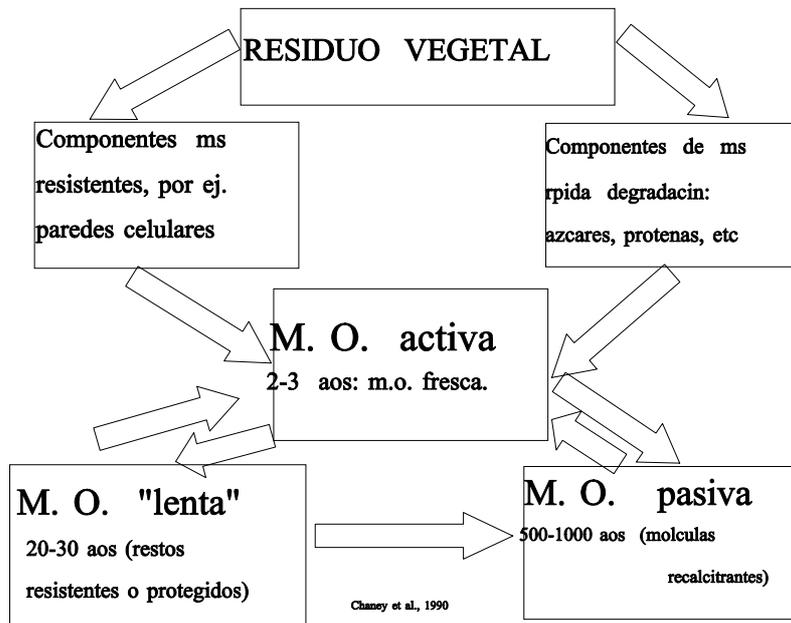


Figura 2.

La diferencia fundamental en la composición de los residuos vegetales y de la materia húmica del suelo está en la importancia relativa de la celulosa, la cual abunda en los primeros pero falta en el material humificado (Russell 1964).

La presencia de humus en el suelo cumple tres funciones:

- mejora la estructura, porosidad y retención de agua y aire del suelo
- provee elementos nutritivos
- corrige la toxicidad y aumenta la resistencia de las plantas a las enfermedades.

Un efecto importante de la presencia del humus es el de favorecer las propiedades físico-químicas del suelo, mientras que la fracción orgánica que está en descomposición opera como una fuente inmediata de nutrientes en el medio.

En relación con los restos frescos, el humus ofrece mayor resistencia a la descomposición pudiendo acumularse en el suelo durante largos períodos. Puede, sin embargo, desaparecer a causa de un mal manejo del suelo.

Ningún sistema de agricultura puede ser permanente si no mantiene una adecuada estructura del suelo. El apropiado manejo del mismo, de los cultivos y de las condiciones climáticas, y el uso de abonos orgánicos, son los factores que más inciden en el mantenimiento de las propiedades físicas de un suelo.

**SEGUNDA PARTE:
TECNOLOGÍAS DE BIO-RECICLAJE.**

1. Compostaje.

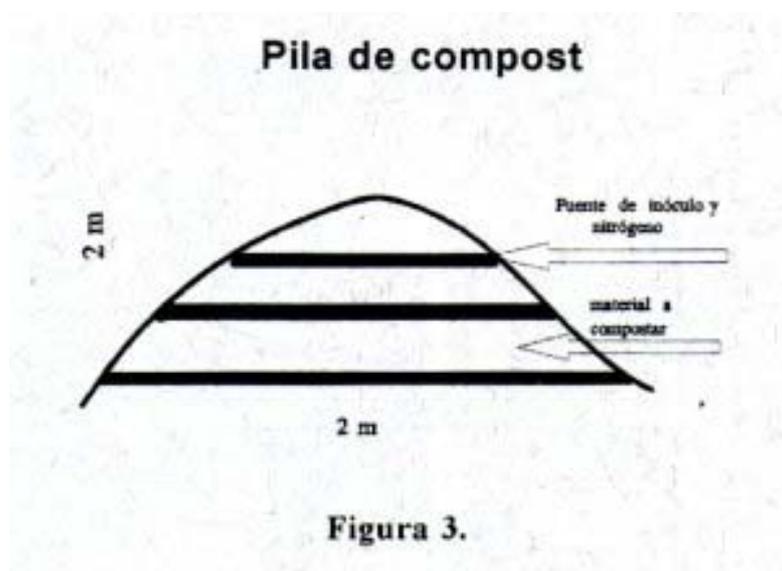
El compostaje es un proceso controlado de descomposición bioquímica de materia orgánica para su transformación en productos más estables, que en su conjunto se denominan compost y pueden ser utilizados como abonos o mejoradores de suelo.

El compost es el resultado de un proceso biológico dinámico que involucra una población muy variada de microorganismos. Prácticamente todos los residuos orgánicos pueden ser utilizados para hacer compost; el producto final y su calidad varían según la composición original del material, la naturaleza del proceso de compostaje y el estado de madurez del compost.

El proceso de transformación que se produce en el compost es similar al que ocurre en la naturaleza, salvo que, bajo condiciones controladas, se logra acelerar la velocidad de descomposición de los residuos.

1.1 Formación de la pila.

Para su degradación el material es depositado en capas alternadas formando pilas como se muestra en la figura 3.



La experiencia ha demostrado que las dimensiones ideales para las pilas son las siguientes: 2,5 a 3,5 m de ancho, 1,5 a 1,8 m de altura (que baja de 1/3 a 1/6 del original) y largo variable (no menor de 2m).

La pila no puede ser muy alta, porque se corre el riesgo de que las capas superiores ejerzan presión sobre las inferiores, compactándolas, provocando anaerobiosis y los consiguientes procesos de fermentación anaeróbica. Las pilas altas alcanzan temperaturas más altas, pudiendo llegar a niveles indeseables; las pilas bajas, por el contrario pierden calor fácilmente y no calientan lo suficiente para destruir patógenos. Si las pilas son estrechas y bajas, habrá pérdida de humedad.

En cuanto a la forma, las pilas pueden tener sección triangular o trapezoidal. La forma triangular es recomendada para estaciones lluviosas, pues favorece el escurrimiento del agua de lluvia. La trapezoidal, por el contrario, facilita la infiltración del agua.

1.2 Etapas de la degradación.

Como se observa en la gráfica de la figura 4, partiendo de temperatura ambiente el compost pasa rápidamente por la temperatura mesófila, subiendo a la termófila (65-70°C), donde se mantiene por espacio de un tiempo. Prosiguiendo la descomposición, si no falta oxígeno ni humedad, la temperatura decrece estableciéndose una nueva etapa termófila más prolongada. Al cabo de un período no inferior a 100 días, en que la materia orgánica estará ya humificada, la temperatura que continuó decreciendo se estabiliza a la del ambiente.

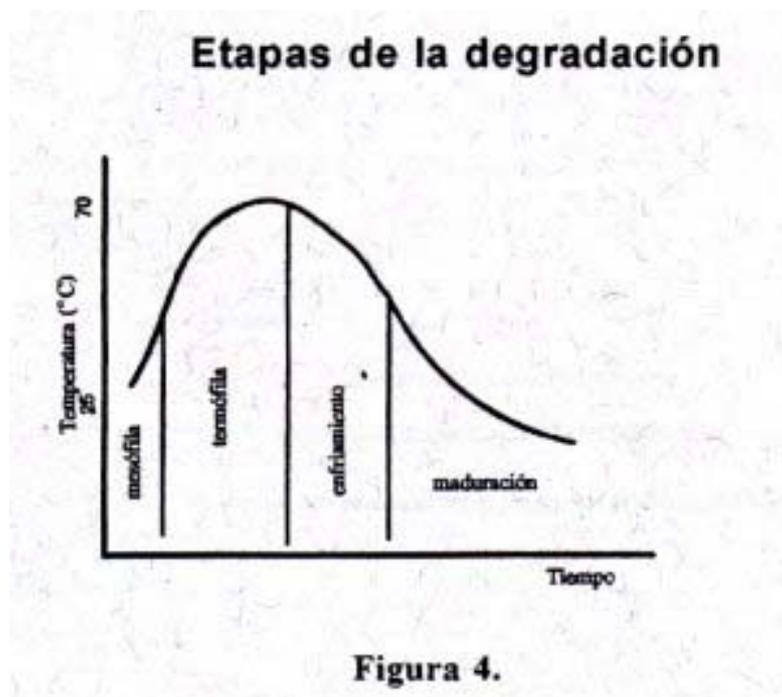


Figura 4.

1.3 Factores que afectan el compostaje y cómo se controlan.

Relación carbono/nitrógeno (C/N).

Los microorganismos que realizan la descomposición de la materia orgánica absorben los elementos carbono y nitrógeno en la proporción de 30 a 1, eliminando 2/3 del carbono en forma de anhídrido carbónico (CO_2) e inmovilizando en su protoplasma 1/3 del carbono. El nitrógeno excedente, no incorporado por el microorganismo, es liberado como amonio (NH_4) el cual puede combinarse con una nueva porción del carbono de la materia orgánica aún no descompuesta y ser inmovilizado en el protoplasma.

Uno de los resultados de la digestión es la liberación de elementos químicos como el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) los cuales dejan la forma orgánica (**inmovilizada**) para pasar a la forma de iones o compuestos minerales (**mineralizada**) disponible para las plantas.

Cuando un abono orgánico con relación C/N alta es aplicado en el suelo, los microorganismos, además de reciclar el nitrógeno de los microorganismos que mueren, retiran nitrógeno del suelo en forma nítrica o amoniacal. De esta manera reducen la elevada proporción del carbono respecto al nitrógeno, quedando el nitrógeno "inmovilizado" en forma de biomasa celular. Cuando el exceso de carbono es eliminado, el sustrato del suelo estará siendo mineralizado, es decir, el nitrógeno orgánico se estará transformando en nitrógeno mineral soluble, volviendo a estar disponible para las raíces.

Cuando se da el caso opuesto, donde la relación C/N de la materia a ser compostada es baja, en el entorno de 5-10/1, como sucede con residuos de frigorífico, los organismos tienen a disposición un alto tenor de nitrógeno y bajo de carbono como fuente de energía; en estos casos, utilizan todo el carbono disponible y eliminan el exceso de nitrógeno en forma amoniacal. Esa liberación de amoníaco (NH_3) a la atmósfera causa pérdidas de nitrógeno en el producto final. En este caso se recomienda agregar restos vegetales celulósicos para elevar la relación C/N a un valor próximo al ideal, que es 33/1, para materia prima a ser compostada. Relaciones más bajas provocan pérdidas prácticamente inevitables de nitrógeno en forma de amoníaco, y altas relaciones tornan el proceso muy prolongado.

La relación C/N óptima para la conservación del nitrógeno y rápida descomposición varía entre 25/1 y 30/1. Para obtener la relación óptima es común combinar estiércol con residuos vegetales.

Microorganismos.

Los residuos vegetales y animales no son igualmente atacados ni se descomponen enteramente de una sola vez, sus varios constituyentes son descompuestos en diferentes estadios, con diferentes intensidades y por diferentes poblaciones de microorganismos. Los azúcares,

almidones y proteínas solubles, de más fácil descomposición, son los compuestos atacados en primer lugar, seguidos de ciertas hemicelulosas y demás proteínas. La población microbiana que realiza tales descomposiciones es variada y se alterna predominando en el medio de acuerdo con la cantidad y tipo de material a descomponer. La celulosa, ciertas hemicelulosas, aceites, grasas, resinas y otros constituyentes de las plantas son descompuestos más lentamente y por organismos específicos; la lignina, ciertas grasas y taninos son materiales considerados como los más resistentes a la descomposición.

Participan de ese ataque infinidad de microorganismos como bacterias, hongos, actinomicetes, protozoarios, algas, además de vermes, insectos y sus larvas. Los microorganismos, como otras formas de vida, requieren agua y nutrientes para su crecimiento, reproducción y mantenimiento. Además de las formas utilizables de carbono, nitrógeno y azufre, los microorganismos generalmente requieren sodio (Na), potasio (K), hierro (Fe) y otros minerales. El factor principal al seleccionar un residuo para un proceso microbiano es su fuente de carbono.

Durante el proceso se da una sucesiva predominancia de microorganismos, en función de factores tales como la composición química de la materia prima que está siendo digerida con mayor intensidad, el tenor de humedad, la disponibilidad de oxígeno, la temperatura, la relación C/N y el pH (grado de acidez o alcalinidad).

Al principio de la descomposición, en la fase mesófila, predominan bacterias y hongos mesófilos productores de ácidos. Luego, con la elevación de la temperatura, comenzando la fase termófila, la población dominante será de actinomicetes, bacterias y hongos termófilos o termotolerantes.

Pasada la fase termófila, el compost va perdiendo calor y retornando a la fase mesófila, pero con otra composición química, puesto que los azúcares y el almidón ya han sido consumidos por los microorganismos. Hongos y bacterias típicamente mesófilos reaparecen. A medida que el compost va tomando la temperatura ambiente pueden ser encontrados protozoarios, nematodos, hormigas, miriápodos, lombrices e insectos diversos. Los microorganismos presentes en un compost entre vivos y muertos pueden constituir hasta el 25% del peso total.

Residuos vegetales celulósicos o lignocelulósicos, pobres en microorganismos, con pocas condiciones para la proliferación de bacterias, hongos y actinomicetes, pueden ser compostados impregnándolos con estiércol animal, lodos o cualquier material que contenga una alta carga microbiana.

El número de microorganismos existente en una masa en buenas condiciones para la degradación raramente es un factor limitante.

Humedad.

La presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos. El contenido de agua tiene límites máximos y mínimos, dado que en ausencia de aire los procesos son mucho menos eficientes.

Los residuos vegetales contienen en promedio 60-90% de agua, dependiendo de la especie vegetal, de la parte de la planta (las hojas son más ricas en agua mientras que las ramas son más pobres) y grado de maduración de los mismos. Las semillas como órganos responsables de la perpetuación de las especies vegetales, tienen bajo tenor de agua, lo que les da mayor resistencia al ataque microbiano y menor posibilidad de deterioro. La materia seca de las plantas contiene de 1-10% de compuestos minerales y 90-99% de compuestos orgánicos.

Si se satura una masa orgánica, todos los espacios vacíos serán ocupados por agua, no quedando lugar para el aire. Cuanto más finas son las partículas de los residuos a ser compostados, mayor será su capacidad de retención de agua. La turba, rica en materia orgánica coloidal, llega a absorber más del 90% de su peso en agua, el estiércol 70 a 80% y las cáscaras, pajas y otros materiales fibrosos y groseros 60 a 70% (Vogtmann & Wagner 1987).

A medida que avanza el proceso de humificación de la materia orgánica, aumenta su capacidad de retención de agua.

Se ha establecido experimentalmente que el contenido óptimo de humedad en la materia orgánica para compost debe aproximarse al 50%, siendo los límites máximos y mínimos 60 y 40% respectivamente. Materiales más groseros y fibrosos, pueden iniciar el proceso sin riesgo de anaerobiosis (que provocaría putrefacción), con porcentajes de humedad superiores al 60%. Materiales finos, con tendencia a compactarse, tienen un límite máximo inferior al 60%.

La capacidad de resistir la compactación va a gobernar también la porosidad total de la pila. En el compost se van a encontrar, igual que en el suelo, dos tipos de poros: microporos, que retienen agua por capilaridad, y macroporos, cuyos vacíos están ocupados normalmente por aire o por agua en condiciones de anegamiento. Por efecto de la gravedad, una vez que termina la condición de saturación, el aire vuelve nuevamente a ocupar el espacio de macroporos.

El porcentaje de porosidad total es igual a la suma de macro y microporosidad. Los materiales groseros tienen mayor porcentaje de macroporosidad, mientras que en los de granulometría fina predominan los microporos (densidad aparente).

Es muy importante el control de la humedad durante el compostaje: humedad por debajo del 40% reduce la actividad microbiana, principalmente de las bacterias, y cuando llega al 30% se torna un factor limitante para la descomposición. Debajo del 12% cesa prácticamente toda actividad biológica, tornándose muy lenta mucho antes de ese límite.

Aereación.

La descomposición de la materia orgánica puede ser realizada en ambiente aerobio (en presencia de oxígeno) o anaerobio (en ausencia de oxígeno). El compostaje debe ser hecho en ambiente aerobio, pues con abundancia de aire la descomposición, además de ser más rápida y mejor conducida, no produce mal olor ni proliferación de moscas. Durante la descomposición aeróbica los compuestos más fácilmente degradables son atacados por los microorganismos descomponedores resultando en la producción de anhídrido carbónico, amoníaco, agua y calor. Moléculas mayores, como hemicelulosa y lignina son modificadas para formar humus, material amorfo y oscuro que se obtiene una vez completada la descomposición.

La descomposición anaeróbica (también llamada fermentación) resulta en la producción de ácidos orgánicos y otros compuestos que son tóxicos a las plantas.

Las pilas de compost pueden ser aereadas por medio de mezclados manuales, haciendo que las capas externas pasen a ocupar la parte interna. Por medios mecánicos se logra un mezclado más homogéneo. El aire también puede ser insuflado al centro de las pilas.

Los microorganismos aerobios necesitan oxígeno para efectuar su metabolismo; su consumo de oxígeno depende principalmente de la temperatura, de la humedad, de la granulometría y de la composición química de la materia prima, así como de la intensidad del mezclado, que deberían ser hechas de acuerdo con la concentración de oxígeno encontrada en el medio de la masa. Sin embargo, dada la dificultad de esta medida, el momento adecuado para hacer el mezclado es decidido en función de otros factores, como la temperatura (evitar temperaturas superiores a 70°C) la humedad (superior a 55-60%) el intervalo en días (según un esquema rígido prefijado, muy usado en ciertas usinas de tratamiento de residuos) o la presencia de moscas y malos olores, índices de estado de putrefacción.

Vista en corte, la pila de compost presenta porcentajes variables de oxígeno en el aire encontrado en los espacios vacíos; la capa más externa, que reviste la pila, generalmente contiene de 18 a 20% de oxígeno, casi tanto como el aire atmosférico, cuyo contenido oscila en torno al 21% en volumen; camino al centro de la pila, el tenor de oxígeno va bajando y el del gas carbónico se va elevando. Así, a partir de una profundidad mayor que 60 cm, el tenor de oxígeno baja a 0,5 a 2%, en la parte central de la base de la pila. Se considera que en la fase termófila el contenido mínimo de oxígeno debe ser de 0,5% para asegurar la descomposición aerobia; se ha encontrado en el centro de la pila 0,5% sin que se observaran síntomas de anaerobiosis.

Si el tenor de oxígeno baja demasiado, los microorganismos aerobios mueren y son sustituidos por anaerobios, que descomponen la materia orgánica con más lentitud, produciendo malos olores y atrayendo moscas.

Con la finalidad de mejorar la aereación, se ha probado con varios artificios, como la construcción de pisos permeables con ticholos o ladrillos asentados con juntas abiertas para

drenar el agua y permitir el pasaje de aire; otro sistema consiste en distribuir tubos perforados debajo de las pilas.

Hay una relación ideal entre la porosidad y el contenido de agua del compost; de manera general, los autores consideran que un buen parámetro está entre 30 y 36% de porosidad total, y 55 y 60% en peso, de agua.

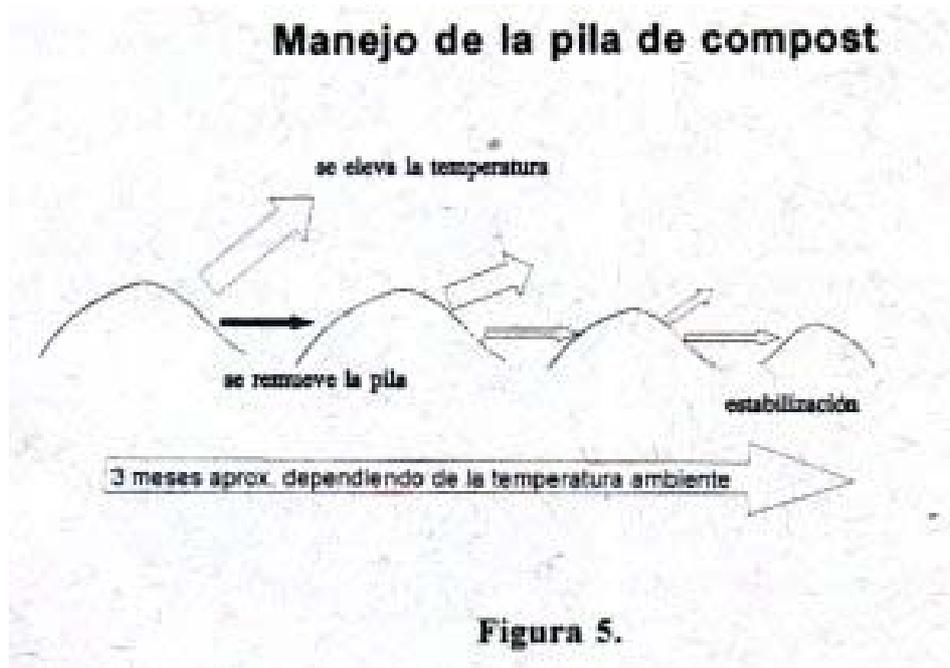
Temperatura.

El metabolismo de los microorganismos es exotérmico. La respiración aerobia, especialmente, desarrolla un rápido calentamiento de la masa con la multiplicación de la población microbiana. De manera general, ciertos grupos de organismos tienen una faja de temperatura óptima de desarrollo.

Cuando la materia orgánica es descompuesta en pequeño volumen, el calor generado por el metabolismo de los microorganismos se disipa y el material no se calienta, mientras que si se hacen pilas, en grandes masas, por ser materiales aislantes térmicos, el calor desarrollado se acumula y la temperatura alcanza valores elevados, pudiendo llegar cerca de los 80°C. Las altas temperaturas son consideradas deseables por el hecho de destruir semillas de malezas y organismos patógenos, que son poco resistentes a temperaturas en torno de 50 a 60°C por cierto período de tiempo.

Las fajas de temperatura que definen la predominancia de determinados grupos deben ser mesófilas o termófilas, pues cuanto mayor sea el calor, más rápida será la descomposición. Se considera que la faja óptima se da entre 50 y 70°C, siendo 60°C la más indicada.

Sin embargo, estas temperaturas altas no deben extenderse por largos períodos, porque restringen el número de microorganismos que consiguen vivir, insolubilizan proteínas hidrosolubles, provocan alteraciones químicas indeseables y desprendimiento de amoníaco, principalmente cuando el material posee baja relación C/N (Figura 5).



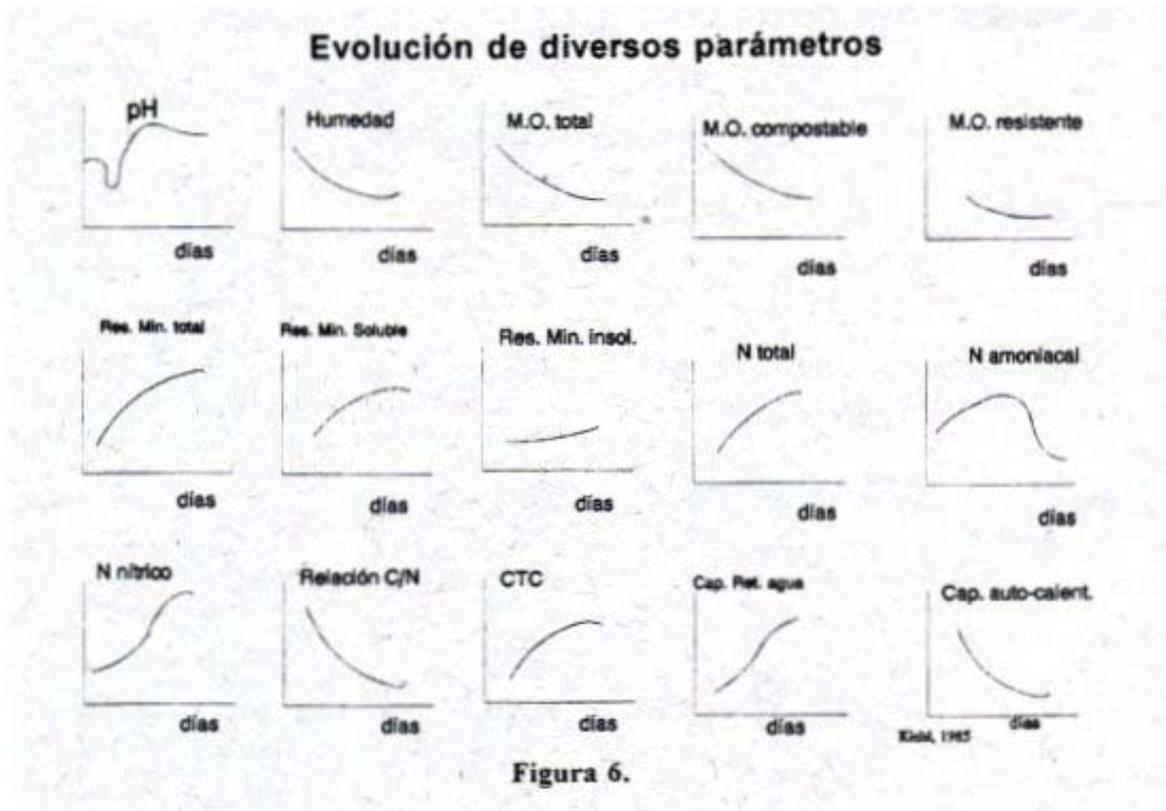
Montada la pila de compost, generalmente alcanza la temperatura de 40 a 50°C en dos a tres días, pudiendo llegar a 60 y 70°C antes de 15 días, si las condiciones favorables predominan.

El desarrollo de la temperatura está relacionado con varios factores: materiales ricos en proteínas, con relación C/N baja, se calientan más rápidamente y alcanzan mayor temperatura que los celulósicos, con elevada relación C/N. Materiales molidos, con granulometría fina y mayor homogeneidad, forman pilas con mejor distribución y menor pérdida de calor. Pilas con material grosero, que proporciona buena aereación, alcanzan altas temperaturas, pero están sujetos a pérdidas de calor mayores que los anteriores.

La práctica ha demostrado que se puede establecer una relación aproximada entre la temperatura del proceso de compostaje y el grado de descomposición, cuando todo ocurre normalmente y no hay exceso o falta de agua. Se considera que después de la fase termófila el compost debe estar semi-estabilizado, y luego de la nueva fase mesófila, estará humificado.

Madurez del compost.

A medida que el proceso de compostaje avanza, una mayor proporción de los residuos orgánicos será atacada resultando en la estabilización y modificación del material original. Generalmente el compost maduro tiene una relación C/N menor, mayor contenido de humus y mayor capacidad de intercambio catiónico que el compost inmaduro (Figura 6).



2. Vermicompostaje.

El vermicompostaje es una variante de la técnica del compostaje en la que se utilizan las lombrices para digerir la materia orgánica provocando la transformación de los residuos en abonos orgánicos en condiciones controladas.

La descomposición de los restos orgánicos se presenta de hecho como una sucesión de digestiones microbianas y de digestiones por lombrices, con los procesos químicos y mecánicos en ellas implicados: los microorganismos y las lombrices desempeñan un papel complementario en la degradación de la materia orgánica.

La ingestión-digestión produce una auténtica dispersión de la microflora que es sucesivamente ingerida y expulsada por las lombrices. Algunas poblaciones (algas y protozoos) son digeridas por el animal. Otras parecen estar protegidas, pero en conjunto las colonias raramente mantienen su unidad de manera que los supervivientes son dispersados por las lombrices en zonas aptas para una nueva colonización. Además, los microorganismos quedan estrechamente mezclados con los elementos minerales y los fragmentos orgánicos ingeridos por las lombrices, a la vez que los productos de degradación del metabolismo del animal proveen nuevos alimentos para la microflora.

El tránsito a través del intestino de la lombriz produce una modificación tanto de los elementos disponibles que son sustrato energético para los microorganismos, como del ambiente: relaciones de antibiosis, distribución, temperatura, humedad y pH.

Se da todavía otro efecto: una fracción de lo que es ingerido por la lombriz es asimilado. Los asimilados se incorporan a los tejidos de la lombriz y tras numerosas transformaciones terminarán expulsados en forma de moléculas degradadas (CO_2 , NH_3 , urea, etc.), o serán elaborados hasta formar parte de los depósitos de mucus que se van mezclando y dando cohesión al contenido intestinal.

El resultado final del trasiego a través del intestino es un compuesto en el cual las partículas orgánicas y los microorganismos se encuentran íntimamente mezclados. Las heces evolucionan rápidamente por influencia de las bacterias y ello conduce, por una parte, a la cimentación de estos materiales en una estructura grumosa y con pH neutro de humus estabilizado, y por otra, a la liberación de elementos minerales: nitrógeno, fósforo, potasio.

La actividad descomponedora de las lombrices puede ser potenciada mediante el control de algunos parámetros. Su escaso poder migrador y el aislamiento de sus poblaciones en espacios restringidos la lleva a desempeñar un papel importante en el tratamiento de los residuos que acumula el hombre: domésticos, agroalimentarios, etc. y que provocan graves problemas ambientales. De hecho no se trata más que de dar a las lombrices el papel que desempeñan en el ciclo natural.

La utilización de las lombrices para elaborar abono orgánico partiendo de estos desechos, se presenta como una biotecnología factible de ser aplicada para resolver varios de estos problemas, y a su vez puede ser encarada como actividad económica paralela rentable, de fácil transferencia y bajo costo inicial, si se manejan los parámetros básicos que gobiernan la sobrevivencia, el crecimiento y la reproducción de estos animales.

La calidad del producto a obtener, el vermicompost, depende fundamentalmente de los materiales con que se parte, y de los procesos microbiológicos relacionados con el desarrollo y la reproducción, los que deben ser conocidos y optimizados con miras a su aplicación a gran escala.

El montaje del cantero se realiza usando material picado y bien mezclado dado que en el vermicompostaje el material sólo es removido por las lombrices. Las dimensiones de los canteros deben ser de aproximadamente: 1-1,20 m de ancho, 30-40 cm de altura y largo variable. La altura no debe sobrepasar los límites señalados, ya que esto puede provocar el calentamiento excesivo del material como sucede en el compostaje (lo cual es indeseable para las lombrices) o compactar la pila por el propio peso del material.

Las lombrices prefieren los estiércoles a otros alimentos, aunque ingieren toda aquella materia orgánica que no sea muy ácida o de olor muy pronunciado. Deben evitarse por lo tanto,

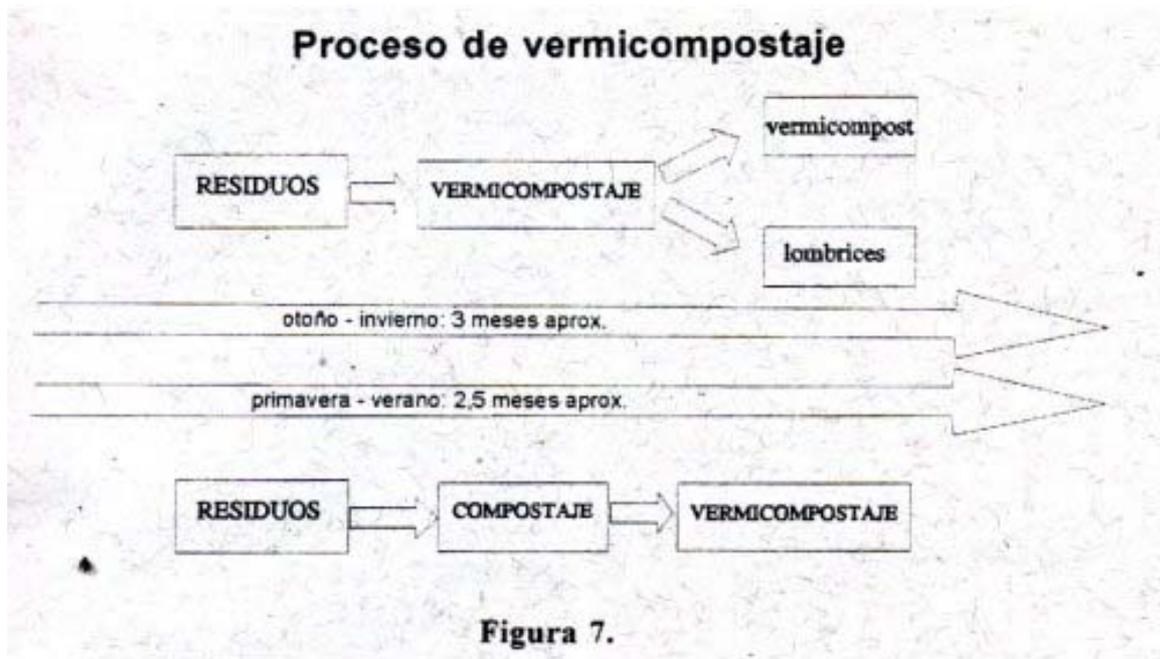
ajo, cebolla o gran cantidad de residuos cítricos. El estiércol de gallina debe ser usado con cautela ya que calienta con facilidad y rapidez cuando es usado en grandes proporciones. Las lombrices aprecian los restos de café, té y mate. (Kiehl 1985). El material puede también ser pre-compostado por algunas semanas (cuatro a seis) antes de colocar las lombrices. Considerando que el vermicompostaje es también un proceso microbiológico, la optimización del proceso pasa como en el caso del compostaje por la optimización del material desde su relación C/N, humedad, tamaño de partícula, etcétera.

Una vez agregadas las lombrices, el material debe mantenerse en condiciones de humedad en torno al 60-80% y no expuesto directamente a los rayos solares (Figura 7).

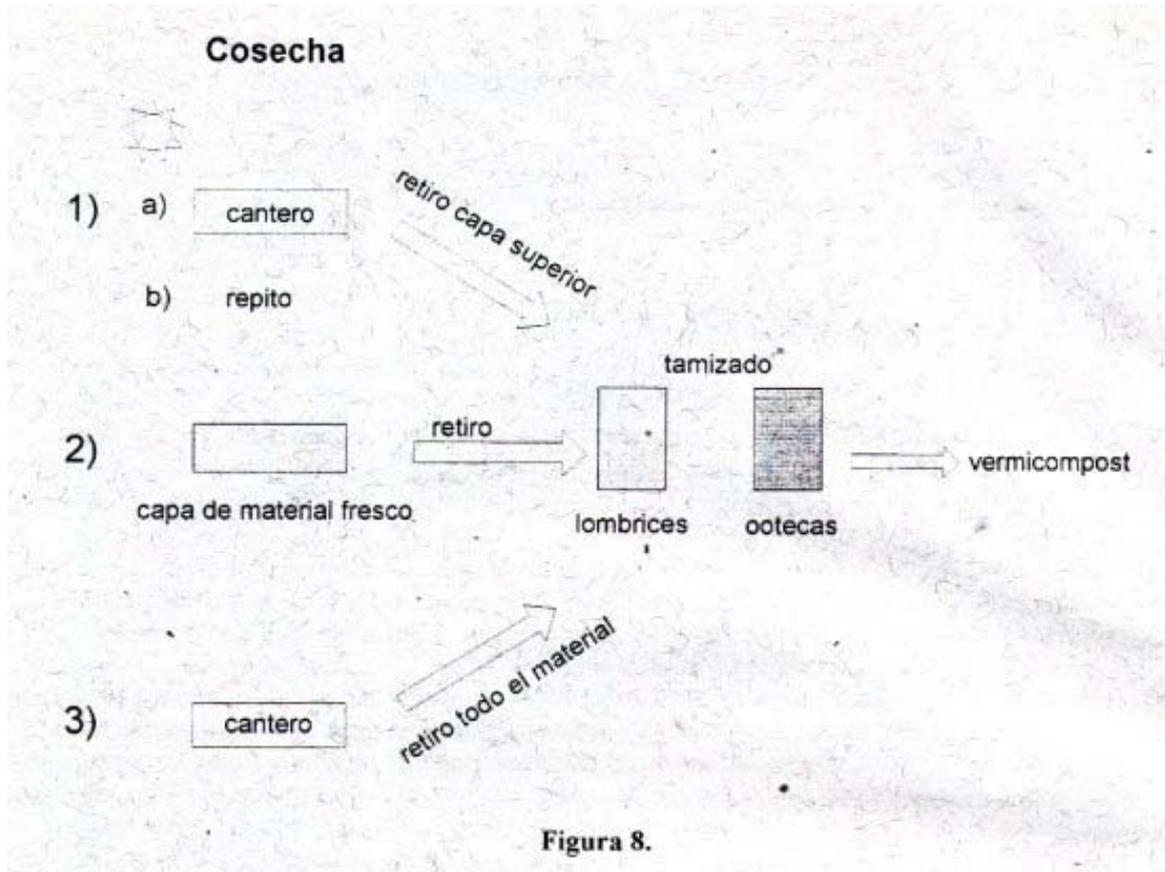
La cantidad de lombrices a aplicar y el manejo de los canteros dependerá del objetivo que se desee: la elaboración de vermicompost o la cría de lombrices.

En el primer caso, lo que se procura es tener gran cantidad de lombrices para una cantidad determinada de alimento, ya que lo que se desea es la rápida degradación de ese sustrato para su uso.

En el segundo caso, los factores se invierten y es deseable que haya una gran cantidad de sustrato para una población inicial pequeña ya que el propósito en este caso es que la lombriz cumpla su ciclo y se reproduzca, para lo cual debe contar con suficiente alimento. En este caso, el nivel de humedad debe ser de alrededor de 80-90%. Para acelerar el proceso de crecimiento y multiplicación de las lombrices, cada 15 días se saca la mitad del cantero y el material extraído se mezcla con más residuos a fin de aumentar la disponibilidad de alimento. La mitad del cantero que se dejó en el lugar debe también ser mezclada con otro tanto de residuos. El tiempo de vermicompostaje se ve afectado por la temperatura ambiental y variaría en alrededor de tres meses en otoño-invierno y de dos meses a dos y medio en primavera-verano.



Existen diferentes formas de separar las lombrices del vermicompost ya estabilizado. Entre ellas está la de permitir que la camada superior se seque, lo que hace que las lombrices migren hacia abajo; así, se van retirando camadas sucesivas hasta llegar al fondo del cantero donde las lombrices están concentradas. Otra forma es la de colocar material fresco en la superficie sobre una red de modo que las lombrices vayan al alimento y luego de un tiempo retirar el material fresco donde están las lombrices. En cualquiera de los dos casos, el material debe ser tamizado para retener la ootecas. Otra forma también es la de tamizar directamente todo el sustrato primero en una malla en la que queden retenidas las lombrices y luego una segunda malla donde se recuperen las ootecas. El tamaño de la malla también va a depender del granulado que se quiera obtener para el vermicompost (Figura 8).



TERCERA PARTE:
EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE COMPOSTAJE Y VERMICOMPOSTAJE EN LA
DEGRADACIÓN DE LA CÁSCARA DE ARROZ.

1. Introducción.

Como se observa en el cuadro 2, la cáscara de arroz tiene una relación C/N baja, por lo que sería fácilmente degradable. Sin embargo, su superficie está cubierta por ceras que impiden que se humedezca, lo cual imposibilita el ataque microbiano. Esto lo convierte en un material de difícil degradación y por lo tanto un problema como residuo.

Cuadro 2.

Materia orgánica	55%
Relación C/N	39
Nitrógeno.....	0,78%
P ₂ O ₅	0,58%
K ₂ O	0,49%
Si	20% aprox.

Algunos autores citan como una dificultad adicional para la degradación de la cáscara de arroz el alto contenido en silicio (Si). Trabajos realizados por Zorrilla et al. (datos no publicados, 1993) concluyen que el silicio presente en este residuo no es impedimento para el crecimiento microbiano.

En la zona de Tacuarembó, se evaluó la degradación de cáscara de arroz con lombrices. En dicho trabajo se comprobó que las lombrices son capaces de procesar sustratos con alta proporción de este material (50%) (Malvárez et al. 1994).

Los objetivos del presente trabajo fueron:

- Degradar la cáscara de arroz mediante compostaje y vermicompostaje para la elaboración de abonos orgánicos.
- Evaluar el efecto del agregado de diferentes fuentes de nitrógeno e inóculo (estiércol de vaca, cerdo, aves).

2. Materiales y métodos.

Tratamientos.

Se realizaron los seis tratamientos siguientes:

- a) compostaje de estiércol vacuno y cáscara de arroz (50/50, v/v)

- b) compostaje de estiércol de cerdo y cáscara de arroz (50/50, v/v)
- c) compostaje de estiércol de ave y cáscara de arroz (50/50, v/v)
- d) vermicompostaje de estiércol de vaca y cáscara de arroz (50/50, v/v)
- e) vermicompostaje de estiércol de cerdo y cáscara de arroz (50/50, v/v)
- f) vermicompostaje de estiércol de ave y cáscara de arroz (50/50, v/v).

En todos los tratamientos se trabajó con cáscara de arroz producida en el mismo año y en una proporción de 50% de volumen de cáscara de arroz y 50% de volumen de estiércol de cada tipo.

Las pilas y canteros fueron instalados en predios de productores de la zona y manejados por éstos.

Predio del Sr. Víctor Méndez: tratamientos a, d y f (Predio 1).

Predio del Sr. Saladino Ortiz: tratamientos a, b, c, d y e (Predio 2).

Manejo.

Las pilas fueron, en todos los casos, removidas a los siete días (cuando la temperatura se elevó) y luego cada diez días, dos veces.

En el caso de los tratamientos con lombrices se mantuvo la humedad constante protegiendo el cantero con paja y agregando agua cuando fue necesario. Las dimensiones de los canteros fueron: ancho 0,7 m, largo 2,5 m y altura 0,3-0,5 m.

El proceso de degradación se llevó a cabo entre enero y abril de 1995.

Muestras.

Se realizó un muestreo mensual de todos los tratamientos durante cuatro meses.

Evaluaciones.

a) Biológicas: se determinó la actividad biológica global por el método de determinación de la actividad deshidrogenásica (Von Mersi et al. 1991).

b) Químicas: sólo se realizaron análisis químicos en el último muestreo. Los mismos

fueron realizados por la Dirección de Suelos y Agua del MGAP, donde se determinó la composición química del sustrato y contenido de ácidos húmicos del compost.

c) Ensayos de germinación para determinar la fitotoxicidad de los sustratos. Se realizó sobre los dos últimos muestreos. Para cada tratamiento se utilizaron mezclas de un suelo con diferentes sustratos. El suelo pertenece al predio 1 (Sr. Víctor Méndez), donde se realizarán luego los ensayos de producción con los sustratos obtenidos.

Las proporciones de la mezcla fueron: suelo solo y suelo con porcentajes crecientes de sustrato (25, 50, 75 y 100%).

En almacigueras con reparticiones de 60 ml se colocaron diez semillas por cada tratamiento y tres repeticiones por tratamiento. Las almacigueras así sembradas fueron llevadas a solarío a 20°C.

3. Resultados.

a) Evaluaciones biológicas.

Actividad biológica del sustrato en descomposición en los tratamientos a, b, c, d, e y f (μg INTF/ g sustrato seco).

Tratamiento	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3
a	290,1795	123,17	46,3845
b	94,693	86,376	30,827
c	88,851	83,064	31,136
d	117,24	82,888	29,894
e	189,65	163,276	34,88
f	142,56	121,752	32,755

b) Evaluaciones químicas.

Tratamiento	MO % (1)	N % (2)	K meq/ 100g (3)	P disp. ppm (4)	Relación C/N
a	43	1,435	9,77	639,5	38,48
b	32	1,16	4,16	1421	18,10
c	21	1,04	4,10	1019	13,46
d	21,5	0,775	5,87	811	17,39
e	18	0,67	7,80	1265	17,91
f	31	0,96	2,83	732	22,91

(1) Materia orgánica.

(2) Nitrógeno total.

(3) Potasio (miliequivalentes/ 100 g).

(4) Fósforo (disponible en partes por millón).

Tratamientos	% de materia orgánica (MO)	% materiales húmicos (MH)	MH/MO
a	43	9,99	23,2
b	32	6,38	19,9
c	21	5,01	23,9
d	21,5	5,36	24,9
e	31	4,70	26,1
f	18	6,95	22,4

c) Ensayos de germinación.

Germinación de semillas de lechuga sobre sustrato con dos meses de descomposición
(n° de plantas/10).

Tratamiento	0	25%	50%	75%	100%
a	5	5	5	6	5
b	5	1	0	0	0
c	5	6	1	2	2
d	5	5	5	6	6
e	5	4	4	2	2
f	5	10	6	4	6

Germinación de semillas de lechuga sobre sustrato con tres meses de descomposición
(n° de plantas/10).

Tratamiento	0	25%	50%	75%	100%
a	5	4	7	6	4
b	5	5	1	0	0
c	5	7	6	4	4
d	5	7	7	7	3
e	5	7	6	5	2
f	5	10	5	9	7

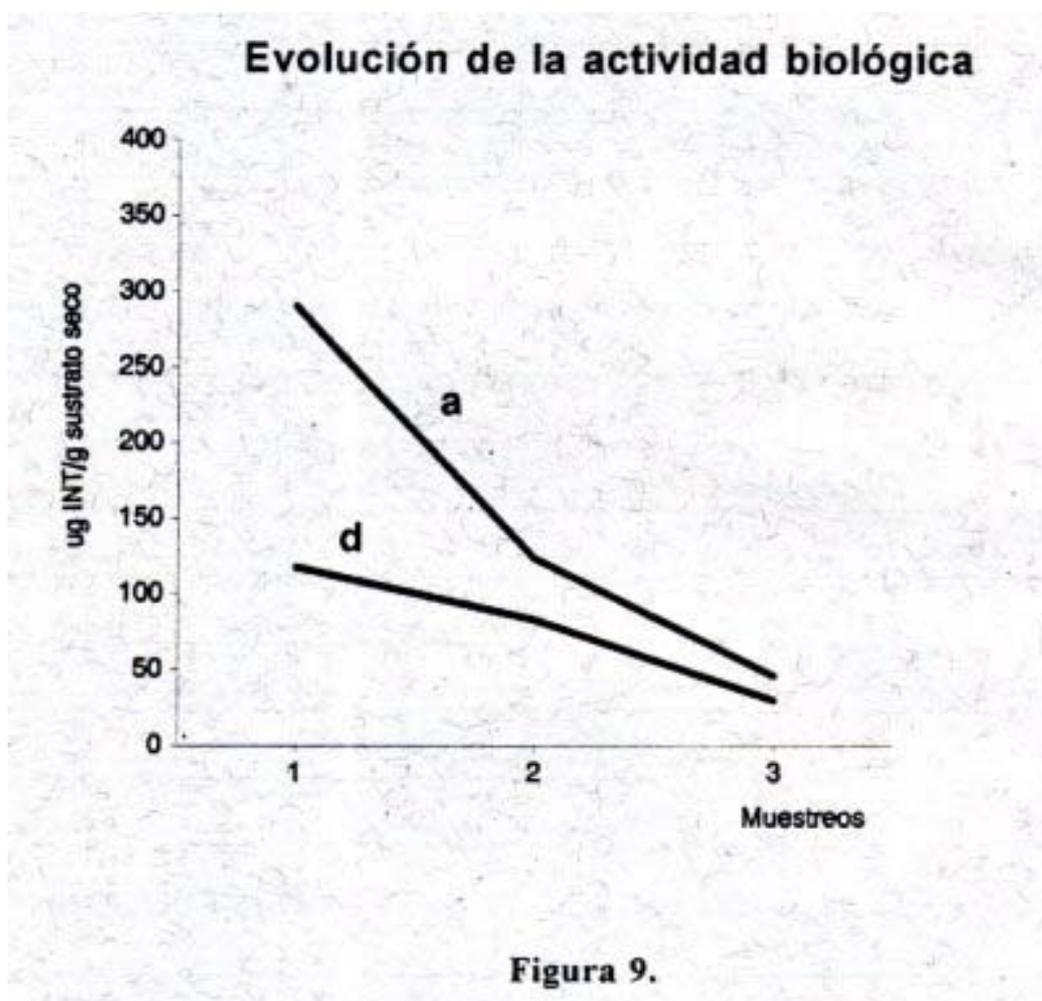
Porcentaje de plántulas con desarrollo defectuoso a siete días de la emergencia.

Tratamiento	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
a	18	18	18	6	3
b	18	3	0	6	0
c	18	3	12	0	0
d	18	0	0	6	0
e	18	3	0	3	9
f	18	0	0	0	0

4. Discusión.

Comparación compostaje vs. vermicompostaje de cáscara de arroz y estiércol vacuno (tratamientos a y d).

- Desde el punto de vista microbiológico el vermicompost está más degradado, lo que se ve por la estabilización a un nivel más bajo de la actividad biológica, por la relación C/N menor y por un valor más reducido de la materia orgánica total, además de presentar una relación de materiales húmicos mayor.



- El menor nivel de nitrógeno y potasio en el vermicompost respecto al compost podría deberse a la inmovilización de éstos en biomasa de lombriz.

- En el caso del fósforo la diferencia del orden del 25% mayor en el vermicompost, sería explicable por la actividad de la lombriz. La actividad de enzimas fosfatasa (solubilizadoras de fósforo) puede provenir de dos fuentes: las lombrices y la microflora que se ve potenciada en su tracto digestivo.

- El ensayo de germinación de semillas de lechuga no evidenció toxicidad en ninguno de los tratamientos ni se observaron diferencias entre compost y vermicompost; sí se observó en el tratamiento con compost un elevado número de plántulas anormales, lo que no sucedió en el vermicompost.

Comparación compostaje vs vermicompostaje de cáscara de arroz y estiércol de cerdo y gallina (tratamientos b y e y tratamientos c y f).

- Los niveles de nutrientes son similares a los composts y vermicomposts con estiércol de vaca, pero con altos contenidos en fósforo disponible y bajo porcentaje de nitrógeno.

- En el compost y vermicompost con estiércol de cerdo se observó toxicidad que inhibió la germinación.

- En general los mejores niveles de germinación se obtuvieron en la mezcla con 25% de sustrato disminuyendo a medida que la proporción de éste aumenta.

5. Conclusiones.

- Al finalizar cuatro meses en los composts la degradación de la cáscara de arroz no fue total como lo fue en el caso de los vermicomposts donde la cáscara perdió identidad, no diferenciándose a simple vista del resto del material.

- Se destaca el papel de la lombriz en la fragmentación de la cáscara. Esta función podría ser sustituida por medio de la molienda del material previa al compostaje o por la prolongación del tiempo de procesamiento.

- El menor nivel de nitrógeno en vermicomposts que en composts podría deberse a la inmovilización en biomasa de lombriz.

- Si bien desde el punto de vista nutricional su aporte de macronutrientes es bajo comparado con un fertilizante químico, continúa siendo de valor la función del compost como mejorador de suelo y suplementador de oligoelementos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, M. 1980. **Microbiología del suelo**. AGT Editor S.A. México. 491 pp.
- Celadu. 1992. **Lombricultura**. Editorial Espacio Srl. Montevideo. 79 pp.
- Chaboussou, F. 1987. **A teoría da trofobiose**. En: Centro de Agricultura Ecológica IPE. Brasil. 1993. 20 pp.
- Chaney, D., L. Drinkwater y G. Tettygrove. 1990. **Organic soil amenvments and fertilizer**. Publication 21505. Universidad de California, División de Agricultura y Recursos Naturales. 30 pp.
- Buckman, H. O. y N. O. Brady. 1977. **Naturaleza y propiedades de los suelos**. Montaner y Simon S.A. Barcelona. 590 pp.
- Frioni, L. 1990. **Ecología microbiana del suelo**. Universidad de la República. Departamento de Publicaciones y Ediciones. Montevideo. 519 pp.
- Kiehl, J. 1985. **Fertilizantes orgánicos**. Editora agronómica Ceres Ltda. San Pablo. 439 pp.
- Longo, A. 1993. **Minhoca**. Icone. Editora Ltda. Sao Paulo, Brasil. 79 pp.
- Malvárez, G., A. Rodríguez y A. Zorrilla. 1994. **Alternativas de abonos orgánicos. Compostaje con lombrices**. Escuela Agroecológica. Programa Norte. Cáritas Uruguaya. Impresora Central Coop. 38 pp.
- Siqueira, O. y A. Franco. 1988. **Biotecnologia do solo**. MEC, ESAL, FAEPE, ABEAS. Brasilia. 235 pp.
- Russell, J. y W. Russell. 1964. **Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas**. Ed. Aguilar. Madrid. 768 pp.
- Vogtmann, H y R. Wagner. 1987. **Agricultura ecológica. Teoría & Práctica**. Editora Mercado Aberto Ltda. Sao Paulo. Brasil. 164 pp.
- Von Mersi, W y F. Schinner. 1991. **An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with codometrotetrazolium chloride**. 2: 216 a 220.