

DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS Y

CENTRO DE DOCUMENTACION

REVISION**BIOTRANSFORMACION AEROBIA
DE RESIDUOS ORGANICOS SOLIDOS**

L. Frioni y C. de los Santos

Recibido: 29 de mayo de 1998. Aceptado: 6 de agosto de 1998.

RESUMEN

Se analizan las condiciones que conducen a la biodegradación aerobia de residuos orgánicos de muy variada naturaleza, como los subproductos de la actividad agropecuaria y forestal, residuos agroindustriales y domiciliarios. Las características de los *composts* y *vermicomposts* obtenidos se discuten en relación a su empleo en la actividad agropecuaria y forestal. Finalmente se analizan algunos de los resultados de experiencias realizadas en el país en el tratamiento de cáscara de arroz y de desechos de la industria forestal con el objetivo de estabilizarlos y emplearlos en la producción de plantines hortícolas, forestales y en producciones intensivas.

PALABRAS CLAVE: compostaje, vermicompostaje, degradación aerobia, residuos orgánicos.

SUMMARY**BIODEGRADATION OF SOLID ORGANIC RESIDUES**

This review is related to the aerobic processes that contribute to the biodegradation of solid organic residues. The organic wastes are related to agronomic and forestry activities, such as manure, rice hull and sub-products of farming. The characteristics of composts and vermicomposts obtained and their use in agronomic and forestry production are discussed. Finally, results of researches made in our country in the biotreatment of rice hull and forestry sub-products with the aim of stabilization of the organic matter are analyzed. The employment of this organic manures in the seedling production or as soil improving substances for the horticultural production are reviewed.

KEY WORDS: compost, aerobic biodegradation, rice hull.

INTRODUCCION

La crisis en la disponibilidad de alimentos, la limitación en el uso de combustibles fósiles y el incremento de la contaminación ambiental, han conducido a que numerosos residuos orgánicos e inorgánicos de la agricultura, actividad forestal, de las industrias o de los animales o el hombre, sean reciclados para obtener alimentos, energía, fertilizantes o sustancias químicas. Como por lo general la tasa de degradación de residuos orgánicos es muy inferior a su tasa de generación y además, muchos de ellos no son productos naturales, el hombre se ve obligado a efectuar su tratamiento en el terreno donde se producen, o en plantas industriales especialmente diseñadas.

Los tratamientos a que son sometidos los residuos se pueden agrupar en:

- i) físicos, como transformaciones termoquímicas, pirólisis a altas temperaturas
- ii) químicos, como hidrólisis ácida o alcalina y

iii) biológicos, con intervención de enzimas, fermentaciones, enriquecimiento proteico, hidrólisis enzimática. Así, desde muy antiguo se han reciclado restos orgánicos para obtener biogás, abonos orgánicos, proteínas unicelulares, etanol.

Los objetivos en el tratamiento de los residuos se pueden agrupar en:

- i) disminución de la carga contaminante como, por ejemplo los tratamientos de grandes volúmenes de estiércol, efluentes de la industria láctea.
- ii) obtener fuentes de energía, como son la producción de etanol, metano, hidrógeno; la obtención de moléculas de interés, como proteínas, sustancias del tipo humus, estimulantes del crecimiento vegetal.

Los procesos pueden realizarse en:

- i) aerobiosis: tratamiento con aeradores de residuos líquidos o de sólidos en pilas o reactores; o en
- ii) anaerobiosis: metanogénesis o producción de biogás, en biodigestores rurales (modelos chino o hindú) o en reactores para el tratamiento de efluentes industriales.

La alternancia de ambos procesos se realiza en el tratamiento de grandes volúmenes de aguas contaminadas en pilas sucesivas, como en el caso de depuración de aguas aplicada en la industria láctea.

Este artículo considera aspectos relativos al tratamiento aerobio de residuos sólidos y analiza experiencias realizadas en el país en el tema del compostaje de residuos agrícolas.

COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGANICOS SOLIDOS

Compostaje es el término que se emplea para designar la degradación aerobia y termófila de materiales orgánicos de diferente origen, en estado sólido, realizada por comunidades microbianas quimiheterotróficas existentes en los propios restos, bajo condiciones controladas del que se obtiene un producto estable que puede emplearse como fertilizante (Dalzell *et al.*, 1991, Mustin, 1987, Frioni, 1998). Lamentablemente no existe un correcto término en español para designar a este proceso y al producto final. El término correcto sería compuesto, en lugar de *compost*, pero dado la amplia difusión del término *compost*, se emplearán en este artículo ambos nombres indistintamente.

Las ventajas de emplear este proceso son:

- no se forman productos de mal olor, fundamentalmente gases,
- se disminuye el volumen, peso o tenor de humedad en relación al material original lo que facilita el almacenamiento, transporte y empleo del residuo,
- se inactivan microorganismos patógenos y semillas de malezas, y
- se puede emplear el producto final (*compost*, o compuesto) en la agricultura, contribuyendo al reciclaje de los nutrientes del residuo (Lambais, 1992).

Esta técnica permite la estabilización de la materia orgánica en forma rápida y en condiciones que no provocan luego de su aplicación la inmovilización del nitrógeno del suelo. Al mineralizarse provee gradualmente los nutrientes que requieren los vegetales. En la naturaleza, esta estabilización se da en un tiempo indeterminado de acuerdo a las condiciones en que se encuentra el sustrato. El compostaje se realiza en pilas, al aire libre, dentro del establecimiento rural, con o sin aereación forzada, o en reactores cerrados, con inoculación, control de la aereación, humedad, temperatura y pocos días de retención.

PROCESOS MICROBIANOS EN EL COMPOSTAJE

En el compostaje los procesos son respiraciones aerobias, con sustratos orgánicos de naturaleza diversa: restos de cosechas, malezas, estiércol, residuos forestales. Es un proceso realizado por organismos presentes en los residuos: bacterias, incluidos los actinomicetes y hongos en procesos aerobios, (Frioni, 1990, 1996).

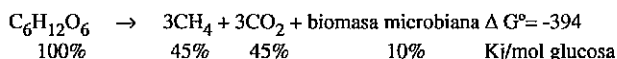
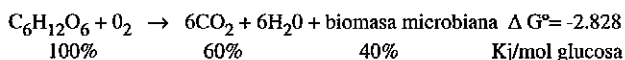
Los primeros sustratos atacados son los hidratos de carbono simples, las proteínas, los compuestos solubles en etanol y otros solventes orgánicos (ceras, grasas, cutina). La fracción ligno-celulósica no es degradada en su totalidad y se mezcla con la biomasa microbiana en el producto final.

aerobiosis: respiraciones: CO₂, H₂O, biomasa microbiana, material bioestabilizado, energía.

Complejo ligno-celulósico

anaerobiosis: fermentaciones y respiraciones anaerobias CO₂, CH₄, ácidos, alcoholes, H₂, H₂O, biomasa microbiana.

Comparando los procesos aerobios con los anaerobios:



Como se aprecia, la alta eficiencia en la asimilación del carbono en los procesos aerobios conduce a la producción de gran volumen de biomasa microbiana (denominados barros en los tratamientos de efluentes líquidos).

El proceso se puede dividir en dos etapas: estabilización y maduración.

Estabilización: se da al comienzo una etapa mesófila, con bacterias y hongos productores de ácidos que atacan la materia orgánica fácilmente degradable, generando calor que favorece el desarrollo de los organismos termófilos. Esta fase puede ocurrir a partir de los 10 días en las pilas, con elevación de la temperatura. La población dominante se compone de bacterias, actinomicetes y de hongos termófilos y termotolerantes. En esta etapa, además de una muy activa degradación de los sustratos carbonados, se produce una inactivación de microorganismos patógenos como: coliformes, *Salmonella*, *Streptococcus*, *Aspergillus*. La figura 1 muestra las variaciones de temperatura, pH y la sucesión microbiana en el proceso de compostaje (Mustin, 1987). Se puede llegar en las pilas muy aereadas a los 75°C, mientras las menos oxigenadas alcanzan 60°C. Las bacterias esporuladas sobreviven en esta etapa.

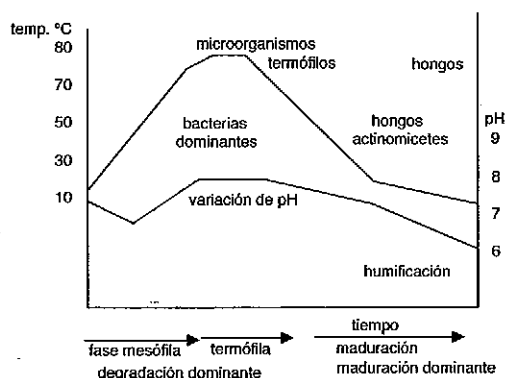


Figura 1. Cambios de temperatura, pH y sucesiones microbianas durante el compostaje

En la fase de maduración ocurre una lenta degradación de la materia orgánica hasta que el volumen se reduce aproximadamente 50%. A medida que el compuesto permanece a temperatura ambiente, pueden encontrarse protozoos, nemátodos, hormigas, miriápodos, lombrices e insectos diversos. La biomasa microbiana puede representar hasta el 25% del peso total del compuesto. El cuadro 1 muestra los microorganismos activos en el proceso.

Cuadro 1. Principales microorganismos aislados de un compost

Bacterias	Actinomicetes
Mesófilas <i>Cellulomonas folia</i> <i>Chondrococcus exigus</i> <i>Myxococcus fulvus</i> <i>Thiobacillus thiooxidans</i> <i>Thiobacillus denitrificans</i> <i>Aerobacter sp.</i> <i>Proteus sp.</i> <i>Pseudomonas sp.</i>	Termotolerantes <i>Micromonospora vulgaris</i> <i>Nocardia brasiliensis</i> <i>Streptomyces rectus</i> <i>S. thermofuscus</i> <i>S. thermophilus</i> <i>S. thermoviolaceus</i> <i>Thermomonospora fusca</i> <i>T. glaucus</i> <i>Thermoactinomyces sp.</i> <i>Thermopolyspora sp.</i>
Termófilas <i>Bacillus stearothermophilis</i>	
Hongos	
Mesófilos <i>Fusarium culmorum</i> <i>F. roseum</i> <i>Stysanus stemonitis</i> <i>Coprinus cinereus</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Geothricum candidum</i> <i>Mucor jansseni</i>	Termófilos <i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Humicola insolens</i> <i>Mucor pusillus</i> <i>Dactylomyces crustaceus</i> <i>Torula thermophila</i>

TECNOLOGIA DEL PROCESO

Dispositivo: En el campo, el proceso se realiza en pilas, sobre el piso de tierra o pavimentado. Las dimensiones más convenientes son : largo 2,5 a 3,5 metros; alto: 1,5 a 1,8 metros, que se reduce de 1/3 a 1/6, ancho: variable. El peso disminuye entre 50 y 80% y el volumen total se reduce entre un 20 y un 60%. Las pilas no pueden ser muy altas, ya que se corre el riesgo de que las capas inferiores ejerzan presión sobre las inferiores, compactándolas, provocando anaerobiosis y los consiguientes procesos de fermentación y putrefacción.

En cuanto a la forma, las pilas pueden tener sección triangular o trapezoidal, la primera es recomendada en estaciones lluviosas, ya que facilita el escurrimiento del agua, la

trapezoidal facilita su infiltración. Las pilas son removidas, mecánicamente o con ayuda de palas, a los efectos de oxigenar el material y reinocularlo con microorganismos del ambiente, ya que su número disminuye por las altas temperaturas (pasteurización). Se posibilita así recomenzar el ciclo degradativo mientras queden sustratos biodegradables. El compuesto está preparado cuando luego de aerear la pila, ésta no calienta más, indicando que se han agotado los nutrientes fácilmente empleados por los microorganismos. La materia orgánica se ha estabilizado y se acumula aquella de lenta degradación, la fracción lignocelulósica, en íntima mezcla con la biomasa microbiana. La figura 2 esquematiza el manejo de la pila de compost hasta la estabilización (Díaz *et al.*, 1995)

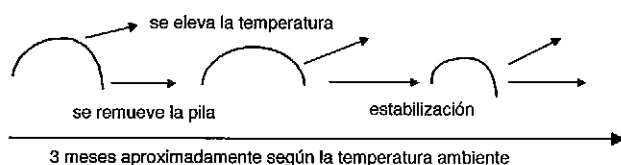


Figura 2. Manejo de una pila de compost

A nivel controlado, en el caso de usinas para el tratamiento aerobio de residuos domiciliarios, subproductos de agroindustrias, donde se manejan grandes volúmenes de residuos, se diseñan reactores con controles de aereación, humedad, temperatura, muy sofisticados, que permiten realizar el biotratamiento en pocos días.

Factores que regulan el proceso

Los materiales a compostar son muy variados: pasturas, pajas, aserrín, papel, harina de pescado, de huesos, desechos de agroindustrias, estiércol, etc..

Los factores a tener en cuenta en el proceso incluyen:

Biodegradabilidad: los sustratos a compostar tienen en común su extrema diversidad, la cantidad y calidad de los elementos que serán nutrientes para los microorganismos difieren mucho entre materiales. La figura 3 muestra que la relación celulosa+lignina/materia orgánica total es alta en los materiales de baja biodegradabilidad, como por ejemplo las maderas, residuos domiciliarios. Materiales con altas relaciones azúcares simples+hemicelulosas / materia orgánica total son mas aptos para el proceso

Relación C/N, si la materia prima presenta alta relación, se la corrige agregando materiales ricos en N (estiércol, camas de animales, tortas vegetales, residuos de madereros, fertilizantes nitrogenados, etc). Una relación ideal para un proceso rápido se sitúa entre 25 y 35/1. Materiales con C/N inferiores a 30/1 conducen a pérdidas de N como amonio, agravados si el pH es alcalino. En este caso se corrige por el agregado de materiales como pajas, tierra, arcilla, etc. Al final, la mayor parte del nitrógeno está en forma de nitratos en solución, directamente aprovechable por las plantas. También puede ocurrir fijación del N₂ at-

mosférico por microorganismos diazotrofos. El cuadro 2 (Dalzell *et al*, 1991) presenta la composición de algunos residuos orgánicos posibles de compostar.

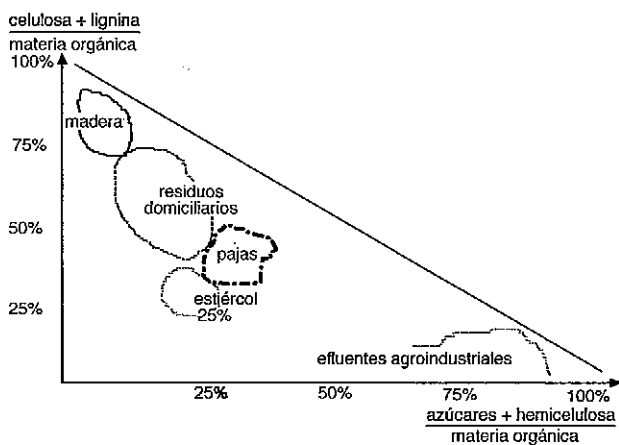


Figura 3. Biodegradabilidad de distintos sustratos durante el compostaje.

Cuadro 2. Composición de residuos a compostar.

Materiales	%N (peso seco)	Relación C/N
Orinas de animales	15-18	0.8
Sangre seca	10-14	3
Harina de cuernos	12	ND
Harina de pescado	4-10	4-5
Torta de oleaginosa	3-9	3-15
Lodos cloacales	5.5-6.5	6-10
Fangos activados	5-6	6
Harina de huesos	2-4	8
Cama de aves	4	ND
Pasturas jóvenes	2-4	12
Restos de cervecería	3-5	15
Estiércol de cerdo	1.9	ND
Estiércol vacuno	1.0-1.8	ND
Paja de trigo	0.6	80
Hojas recién caídas	0.4-0.1	40-80
Restos de remolacha	0.3	150
Aserrín fresco	0.1	500
Papel	0	infinito

ND: No determinado.

Granulometría: para facilitar la acción de los microorganismos el tamaño de las partículas se adecua moliendo los materiales gruesos o agregando restos como pajas en residuos finos como los lodos residuales u otros sustratos con tendencia a compactarse. Se pueden agregar materiales no degradables como esferas porosas, arcillas, plástico, goma.

pH: el óptimo se sitúa entre 6,0 y 7,5. Los vegetales presentan en general reacción ácida que se puede corregir agregando cal, cenizas u otro producto alcalino, evitando que el pH suba de 8,0.

Humedad: la óptima para la máxima eficiencia del proceso se sitúa entre 60 y 65% del peso seco para granulometrías groseras (pajas de cereales) y de 55 a 60% para granulometrías finas (aserrín, contenido ruminal). La humedad mínima se sitúa en 40%; con valores inferiores a 12% la actividad biológica cesa y las muy altas inducen anaerobiosis y pérdidas de nutrientes. La humedad se puede controlar por irrigación al montar la pila o por remoción de la pila para favorecer la evaporación si su nivel es alto. La humedad debe mantenerse en el entorno del 50% en la fase inicial y del 30% en la fase final de estabilización.

Aereación: es de suma importancia para los procesos eficientes, rápidos. Su control es una de las tareas más difícil y costosas. El nivel de O_2 no debe descender debajo de 5 y 10% del volumen de los macroporos. En los digestores cerrados, la aereación se controla mecánicamente, en las pilas, por mezclado o por sistemas de aereación forzada.

Temperatura: el calor es la primera señal de que el proceso se inició. La ausencia de calor indica problemas por baja actividad microbiana, falta de O_2 por exceso de agua o por materiales de granulometría muy fina. Las altas temperaturas son deseables porque la actividad microbiana es más activa, se destruyen los patógenos y las semillas de malezas. No se debe prolongar mucho esta etapa porque se limita a la microflora mesófila, se coagulan proteínas y ocurren pérdidas de N como amonio.

Inoculación con microorganismos seleccionados

Se ha intentado seleccionar microorganismos para usarlos como inoculante en cultivos puros o mezclas. Existen a nivel comercial productos recomendados para la inoculación de diferentes tipos de residuos. Sin embargo, los datos encontrados en la bibliografía señalan escasas diferencias en el producto final entre restos inoculados y sin inocular. Los microorganismos autóctonos, existentes en esos materiales se encuentran en general en cantidad y calidad suficiente para producir la descomposición. La aereación de las pilas asegura la multiplicación de los microorganismos en toda la masa.

Para que los sustratos puedan ser inoculados con éxito, sería necesario en primer lugar esterilizarlos o pasteurizarlos para luego inocularlos. La cantidad de inóculo puede representar una limitante, teniendo en cuenta los grandes volúmenes que normalmente se procesan. La competencia entre el inoculante y la microflora nativa puede causar una rápida desaparición de los microorganismos introducidos. Se recomienda, sin embargo, la reinoculación de nuevas pilas con material proveniente de ciclos anteriores, lo que asegura la colonización rápida y a muy bajo costo con los microorganismos seleccionados naturalmente. Este es el caso en producciones continuas de materiales de muy baja biodegradabilidad.

Mustin (1987) señala respuestas positivas a la inoculación realizada en la etapa de estabilización, al final de la fase termófila, con microorganismos fijadores de nitrógeno del género *Azotobacter* conjuntamente con bacterias solubilizadoras de fosfatos (*Aspergillus awamorii* y *Bacillus polymyxa*). El cuadro 3 muestra estos efectos en incremento del nitrógeno total y fosfatos solubles a partir de fosfato de roca incorporado molido al comienzo de la experiencia, en el producto final.

Cuadro 3. Inoculación de un compost con *Azotobacter* y bacterias

Materiales	%N (peso seco)	Relación C/N
Orinas de animales	15-18	0.8
Sangre seca	10-14	3
Harina de cuernos	12	ND
Harina de pescado	4-10	4-5
Torta de oleaginosa	3-9	3-15
Lodos cloacales	5.5-6.5	6-10
Fangos activados	5-6	6
Harina de huesos	2-4	8
Cama de aves	4	ND
Pasturas jóvenes	2-4	12
Restos de cervecería	3-5	15
Estiércol de cerdo	1.9	ND
Estiércol vacuno	1.0-1.8	ND
Paja de trigo	0.6	80
Hojas recién caídas	0.4-0.1	40-80
Restos de remolacha	0.3	150
Aserrín fresco	0.1	500
Papel	0	infinito

ND: No determinado.

Material inicial: C=46%; N=0.86%; C/N=53.3/1

Pérdida total en carbono: testigo = 38%; (I) = 40.2%; (II) = 42.2%; (I) + (II) = 52.4%

VERMICOMPOSTAJE

Constituye una variación en la tecnología del compostaje en la cual se utilizan lombrices para acelerar la degradación de la materia orgánica. Si bien su rol en la fertilidad del suelo es reconocido desde muy antiguo, el uso en gran escala data de más recientemente, Mustin (1987) señala que el lombricompostaje es una técnica desarrollada a pequeña escala a partir de 1930, sobre todo para producir lombrices como carnada para pescadores. La lombriz más utilizada es *Eisenia fetida*, más conocida como roja californiana. Numerosos países han desarrollado este cultivo y se destacan Brasil, Chile, Argentina y Perú. En la región, Brasil es el país con más desarrollo y existen productores dedicados exclusivamente a la lombricultura y a la comercialización de sus productos (CELADU, 1992),

La lombriz trabaja cavando galerías en el suelo o en el compuesto, moliendo y humedeciendo partículas en el tubo digestivo (acción mecánica más que enzimática).

Son las bacterias de su tracto digestivo las que provocan la degradación de las macromoléculas.

El proceso presenta algunas desventajas en relación al compostaje corriente, como la necesidad de más mano de obra, el material debe estar triturado para una mayor eficiencia en la degradación, se requieren áreas mayores, no presenta la fase termófila que mataría a la fauna que no tolera más de 35-40°C (Keild, 1985), Se acelera el proceso empleando materiales orgánicos previamente compostados.

Características de los productos formados (compost y vermicompost)

El cuadro 4 muestra la composición final de *compost* a partir de dos materiales (Dalzell *et al.*, 1991) y el cuadro 5 la de un *vermicompost* elaborado a partir de estiércol bovino (Compagnoni y Putzolu, 1990).

Como se aprecia en el cuadro 5 los *compost* elaborados con desechos municipales, basuras y lodos cloacales presentan niveles de materia orgánica y nutrientes bajos, pero alto contenido de cenizas (minerales) y calcio. Los desechos agrícolas y de jardinería producen compuestos con más alto nivel de materia orgánica y demás nutrientes. Compagnoni y Putzolu (1990), señalan que los datos analíticos más importantes para evaluar un *vermicompost* son: densidad microbiana, materia orgánica y nivel de sustancias del tipo humus. El cuadro 4 presenta los valores óptimos de recuentos de la microflora así como la distribución de los grupos. El nivel de materia orgánica es muy variable dadas las fluctuaciones en el contenido de fibra del estiércol. El índice de ácidos húmicos resulta muy significativo: si el *vermicompost* presenta los valores mínimos, indica que el material original se ha empleado fresco y no previamente compostado.

Cuadro 4. Composición de un *compost* a partir de estiércol bovino

componente	% de la materia seca
materia orgánica	55-75
humedad	30-40
ácidos húmicos	4-17
pH	6.7-7.2
microorganismos/g	
bacterias	1x10 ⁹
actinomicetes	2.4x10 ¹⁰
hongos	4.5x10 ⁹
nutrientes	
Ntotal	1.5-2
P2O5	2-2.5
K2O	4-6

Cuadro 5. Composición de un *vermicompost* a partir de dos desechos orgánicos

Análisis(%MS)	Municipales	Agricultura y jardinería
materia orgánica	25	80
C	8,0	50
N	0,4	3,5
P	0,1	1,6
K	0,4	1,6
Ca	6,0	1,1
cenizas	75	20

El grado de maduración requerido en un *compost* depende del uso que se le vaya a dar. Para la protección de la superficie del terreno (alrededor de árboles o entre hileras), el *compost* inmaduro puede ser adecuado. En caso de que el producto se incorpore al suelo o se emplee como fuente de nutrientes para las plantas, se requiere de un producto con un alto grado de madurez (Dalzell *et al.*, 1991).

El *compost* inmaduro es muy fitotóxico, libera al medio amonio y compuestos orgánicos tóxicos para los vegetales (Mustin, 1987). Presenta problemas en el almacenamiento, comercialización y uso. El proceso continúa luego de aplicado, se generan gases, como el metano, que junto a los fosforos puede provocar incendios. El nitrógeno mineralizado es inmovilizado por la microflora, generándose deficiencias para los cultivos (Kiehl, 1985). Según Hoitink y Fahy (1986) durante el compostaje se eliminan patógenos por exposición a altas temperaturas ya que la mayoría de ellos se eliminan por exposición a 55°C durante 30 minutos y por la acción de microorganismos antagonistas que actúan durante la etapa de maduración, como *Trichoderma spp*, *Gliocladium virens*, entre los hongos y bacterias como *Flavobacterium balustinum*, *Pseudomonas putida* y *Xanthomonas maltophilia*, que colonizan rápidamente la materia orgánica.

Maduración de los compost

Mustin (1987) clasifica los criterios de evaluación de la maduración de los *compost* en: empíricos, físicos, químicos y biológicos. Los criterios **empíricos** definen a un *compost* maduro como el producto de edad y origen conocidos, de color muy oscuro, olor agradable, flexible al tacto y donde no se puede reconocer a simple vista el compuesto de origen. La actividad biológica es muy reducida y el consumo de O₂ y la liberación de CO₂ son débiles. Este punto, según algunos autores, coincide con el estado de la masa en el momento en que la temperatura desciende a 45 o 50°C. Este período, que sucede a la etapa termófila, es la fase de maduración o decrecimiento y corresponde a una actividad biológica más lenta, más favorable a la humificación. El *compost* puede venderse desde que termina la fase termófila, ya que la maduración prosigue *in-situ* por la acción de los microorganismos del suelo y la pasteurización del producto se ha logrado por las altas temperaturas.

Los métodos **físico-químicos** determinan el pH, S⁼(sulfuros), SOD (sustancias orgánicas degradables), SOR (sustancias orgánicas resistentes), DQO (demanda química de O₂), relación C/N, nitrógeno mineral (amonio, nitratos).

García *et al.*, (1992) discuten la validez de estos índices en su aplicación a productos obtenidos a partir de materiales de muy distinta composición y el cuadro 6 muestra valores propuestos para estos parámetros por estos autores.

Cuadro 6. Determinación de la madurez de *composts*

Capacidad de int.catiónico/Corg	mayor 3,5
mg C-CO ₂ /100g deC org.total	menor a 500
N soluble en agua	menos de 0,5%
HdeC solubles	menos 0,1%
Índice de biodegradabilidad (Bi)	menor a 2
N soluble/Ntotal	menor a 0,3
Csoluble/Nsoluble	menos de 0,2

El índice de biodegradabilidad (Bi) se define como

$$Bi = 3,166 + 0,039 (Corg) + 0,832 (HdeCsol) - 0,011 (\text{días de compostaje})$$

El cuadro 7 presenta un análisis de *compost* obtenidos a partir de residuos urbanos, realizado en Francia, donde se observa un gran paralelismo entre la disminución de la materia orgánica total y la del carbono, evidenciada en la relación C/N en función del tiempo. En general los *compost* cuyas relaciones C/N están comprendidas entre 15 y 18/1 (para la legislación francesa entre 10 y 25/1) pueden considerarse maduros.

Mathur *et al.*, (1993) analizan la aplicabilidad de analizar más de 25 parámetros, señalando las limitaciones de muchos de ellos.

* **Reducción del volumen:** la masa final de la pila deber ser por lo menos 1/3 de la del material original

* **Coloración y aspecto:** el color inicial es ceniciento y sin brillo: con el correr del proceso la masa se va tornando más oscura y brillante cuando húmeda (como el humus). Debido a la creciente descomposición, la mayor parte de la materia prima no se reconoce, quedando una masa moldeable cuando se humedece.

* **El olor característico** de ciertas materias primas se va perdiendo, quedando un olor a tierra mojada muy tolerable.

* **La humedad** se reduce, lo que se aprecia al apretar el material con la mano: se pasa de una consistencia mojada a húmeda a casi seca cuando madura.

* **pH** : si el material es ácido, con pH inferior a 6,0, se considera al *compost* en fase inicial de degradación. Si éste es neutro o ligeramente alcalino (6,0-7,6), el *compost* se encuentra en fase de bioestabilización, o sea, semimaduro. Los pH superiores a 7,6 son característicos de compuestos bioestabilizados.

* **C/N** : la relación crítica es aquella por la cual el *compost* no inmoviliza N del suelo, sino que lo libera. Rela-

ciones de 15-20/1 son aceptadas como propias de un producto estable y maduro, aunque se describen productos estables con C/N de 35/1.

* $N-NH_4^+/N-NO_3^-$: según Mathur *et al.*, (1993) esta relación varía en extractos acuosos entre 0,03 y 18,9.

Otros indicadores: el carbono total (Ct%), índice de humificación (IH), así como la relación C no humificable/C humificable, han sido empleados como índices, pero los autores señalan que éstos no se deben concentrar sólo en análisis del carbono del producto.

Actividad biológica: Eh: cuando la diferencia entre el potencial redox del centro de la pila en relación a la periferia es de 50 mV, se considera que el compost está maduro. Pero la técnica presenta dificultades en su determinación.

CO₂ liberado u O₂ consumido: la actividad respiratoria refleja la actividad global de los microorganismos, pero es influenciada por variaciones de temperatura, humedad, presencia de inhibidores (metales pesados, salinidad, toxinas).

Enzimas: con las mismas consideraciones que para la actividad biológica global.

ATP: requiere un equipo sofisticado y puede resultar inseguro si el material conserva restos de células vegetales.

Relación de grupos microbianos: la maduración determina el tipo de microorganismo que va a estar dominando. Un test emplea un hongo, el *Chaetomium gracilis* que se inocula en el compost y se incuba a 37°C por 12 días: si el número de cuerpos fructíferos formados es menor de 300/25ml de medio, el compost se considera maduro, si es superior, está inmaduro. Se supone aquí que el crecimiento microbiano es enteramente dependiente de la fuente de carbono.

CIC: la capacidad de intercambio catiónico va aumentando a medida que el proceso progresa, pero este valor puede variar con el material original.

Extractos acuosos: el de los compost maduros presentan menos C orgánico total en relación a la materia prima o a los inmaduros. A medida que el proceso avanza los extractos acuosos contienen grandes proporciones de carbono de peso molecular alto. La absorción a 665 nm refleja la composición en hidratos de carbono y es empleado por Schnitzer *et al* (1993) como uno de los test más prometedores en la determinación de la madurez de un compost.

El compost está inmaduro mientras estén presentes compuestos carbonados fácilmente degradables. En general, estos compuestos son mineralizados en un período de 5 días en el caso de aguas residuales en el test de BDO (demanda biológica de O₂). Así, el BDO5 de materiales originales fue de 138 mgO₂/g materia orgánica, mientras que en el compost maduro fue de 6 mgO₂/g de sólidos secos o de 25 mg O₂/g de materia orgánica, según Mathur *et al.*, (1993).

Fitotoxicidad: se aprecia por el crecimiento de plántulas en mezclas de suelo y compost o por el porcentaje de germinación y medida de la elongación de pequeñas semillas. Se usa mucho la semilla de lechuga (*Lactuca sativa*). El test más directo consiste en colocar una capa de compost en una caja de Petri y cubrirlo con papel de filtro. Se agrega agua hasta

que el papel se humedece y se colocan las semillas de lechuga que se incuban por 24 horas a 20°C, evaluándose el porcentaje de germinación, frente a testigos con agua sola.

Van Bochove y Nolin (1995) caracterizan *compost* obtenidos a partir de estiércol vacuno mediante análisis multivariado que incluye 19 descriptores físicos, químicos y biológicos en análisis numérico. Los autores sostienen que una mayor comprensión del ciclo del N es lograda por integración de esta aproximación multidimensional de indicadores de la actividad biológica más específicas (recuento y aislamiento de las principales cepas microbianas, medidas de actividad enzimáticas, dosificación de ATP, medidas del ADN de poblaciones microbianas complejas, etc), en lugar de la sola producción de CO₂ o consumo de O₂, que dan una medida indirecta de la actividad microbiana.

En resumen: las técnicas de evaluación de la madurez de un *compost* o un *vermicompost* discutidas precedentemente muestran que ninguna por sí sola refleja cabalmente la dinámica de este proceso y que muchas de ellas no cumplen con los requerimientos de ser sencillas, accesibles, confiables y de rápida aplicación.

Cuadro 7. Análisis de un *compost* en distintas fases de procesamiento *

	edad del compuesto					
	basuras frescas	0-10d	10d-1m	1-6m	6m-1 año	más 1 año
humedad%	38,4	35,2	32,1	33,8	34,8	32,3
pH	6,4	7,4	7,7	7,8	7,9	7,7
en % producto seco:						
MO total	47,9	41,6	40,3	38,8	31,5	29,8
carbono	18,9	14,9	13,7	12,7	7,8	7,9
nitógeno	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6
C/N	23,2	20,6	20,3	16,3	13,4	11,9
P2O5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7
K2O	0,3	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3
Na2O	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4
CaO	5,8	5,9	5,4	6,2	5,8	6,8
MgO	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
Fe	1,8	1,4	2,2	2,1	2,2	2,9
Cl	0,5	0,4	0,5	0,6	0,8	0,6
mg/kg producto seco						
Mn	550	290	600	490	650	460
Cu	160	250	130	340	210	500
Zn	780	550	90	790	1050	1120
B	16	21	17	17	17	15

Fuente: Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux, Les Residues Urbains, collecte, traitement, nettoyage des voies publiques. Technique et Documentation, París, 1975 (Mustin, 1987).

Propiedades y aplicaciones

El empleo de estos compuestos orgánicos en la agricultura es muy ventajoso, actúan como fertilizantes orgánicos

nitrogenados de liberación lenta y acción residual prolongada, de modo que se incrementa la eficiencia de absorción por las plantas, con mayor eficiencia de uso en relación al empleo de fertilizantes nitrogenados solubles (Tester y Parr, 1983). Su aplicación puede incrementar la retención de agua en el suelo. Prácticamente todos los restos orgánicos generados y acumulados en establecimientos agropecuarios son capaces de estabilizarse mediante estos procesos microbianos.

Aubert (1984) resume algunas de las propiedades de estos fertilizantes orgánicos:

- * mejora de la estructura del suelo, haciéndolo más poroso
- * aumenta la absorción y almacenamiento de agua
- * reduce la erosión, evitando el movimiento violento del agua y amortiguando el impacto de las gotas de lluvia en la superficie del suelo
- * actúa como tampón de cambios bruscos de pH
- * incrementa la retención de macronutrientes, impidiendo su arrastre por la lluvia
- * forma complejos con micronutrientes como el Fe, Zn, Mn Cu, etc.
- * libera nutrientes a las plantas, como el N, P, K, S, Ca, Mg, etc.
- * incrementa la aereación del suelo, necesaria para la respiración radical
- * mejora el drenaje de agua del suelo

Este autor reconoce 23 elementos entre macro y micronutrientes presentes en estos compuestos. Otra de las ventajas de la fertilización orgánica es la liberación de elementos en forma no directamente asimilables por las plantas, lo que impide pérdidas por lavado y erosión.

Prácticamente todos los restos orgánicos generados o acumulados en establecimientos agropecuarios, en mercados agrícolas o en desechos domiciliarios, son capaces de estabilizarse mediante este proceso microbiano. Pero la naturaleza muy variable de los sustratos y la técnica de compostaje aplicada inciden en la calidad de los productos finales y por ende en los resultados obtenidos luego de su aplicación.

Según Dalzell *et al.*, (1991), las aplicaciones de estos productos son muy variadas y se pueden citar algunas de ellas:

- * recuperación de suelos desérticos, erosionados o infértiles, conjuntamente con la plantación de árboles adecuados a cada situación
- * en trasplantes de plantines a contenedores y la venta de los mismos con mayor tamaño
- * en suelos donde se quiere fomentar la micorrización, la que se ve favorecida por alto nivel de materia orgánica y de hongos
- * como aporte de nutrientes en cultivos extensivos
- * en combinación con fertilizantes minerales
- * en cría de peces, se le añade a los estanques como

alimento directo para los mismos o para el crecimiento de plantas u otros organismos que alimenten a los peces.

Resultados experimentales obtenidos en el país

Cáscara de arroz

Trabajos realizados en coordinación entre la Facultad de Agronomía y Probides (Programa de Conservación de la Biodiversidad y Desarrollo Sustentable en los Humedales del Este) por Malvárez *et al.*, 1994, Díaz *et al.*, (1995 y 1996) y Zorrilla en 1996, tuvieron por objetivos obtener abonos orgánicos a partir de la degradación de la cáscara de arroz por procesos de compostaje y vermicompostaje. Se evaluó el efecto de la mezcla con tres tipos de estiércol como fuente de nitrógeno e inóculo de microorganismos.

La cáscara de arroz representa un importante excedente en la industria arrocería y en el país con una producción de 1.037.132 ton de arroz cáscara en la zafra 96/97 este subproducto puede sobrepasar las 200.000 toneladas. Su uso principal en la actualidad es como combustible. Otras alternativas de empleo son la fabricación de ladrillos, como aislante acústico, en la industria avícola, en cultivos hidropónicos, etc.

El compostaje y el vermicompostaje constituyen una alternativa para la utilización de este residuo.

Una de las limitantes a su biodegradabilidad se atribuye a su alta relación C/N, el nivel de lignina y a la capa de ceras exteriores que impedirían la humectación, limitando el ataque microbiano.

Los trabajos citados evaluaron distintos tratamientos que incluyeron:

- a) compostaje de cáscara de arroz y tres tipos de estiércol (bovino, cerdo y ave), mezclados a razón de 50/50, v/v.
- b) vermicompostaje, en igual relación de cáscara de arroz y los tres tipos de estiércol.

Las pilas se instalaron en predios de productores y fueron manejadas por ellos. Las mismas se removieron a los 7 días, cuando se elevó la temperatura, y luego cada 10 días, por dos veces. En el caso de los tratamientos con lombrices se mantuvo constante la humedad. La degradación se llevó a cabo en los meses de enero-abril. Se realizó un muestreo mensual durante los 4 meses y se evaluó la actividad enzimática global (deshidrogenasas) (Frioni, 1990). La composición química se determinó en el producto final (Dirección de Suelos del MGAP) y la fitotoxidad se evaluó en ensayos de germinación de semillas de lechuga en los 2 últimos muestreos, en mezclas de suelo y compuesto (25, 50, 75 y 100%), en almacigueras con 10 semillas cada una, con tres repeticiones.

En el cuadro 8 se presentan los resultados de la evaluación de la actividad enzimática global y en el cuadro 9 se muestra el análisis químico de los productos finales obtenidos.

Cuadro 8. Deshidrogenasas (mg formazán/g sustrato seco)

tratamiento	muestreos (meses)		
	1	2	3
compostaje			
estiércol:			
bovino	290	123	46
cerdo	95	86	31
ave	89	83	31
vermicompostaje			
estiércol:			
bovino	117	83	30
cerdo	190	163	35
ave	143	122	33

Cuadro 9. Análisis químico de los productos obtenidos

tratamientos	MO%	N%	Kmeq/ 100g	Pmg/ kg	C/N
compostaje					
estiércol :					
bovino	43	1,43	9,77	639	38,48
cerdo	32	1,16	4,16	1.421	18,10
ave	21	1,04	4,10	1.019	13,46
vermicompostaje					
estiércol:					
bovino	21	0,77	5,87	811	17,39
cerdo	18	0,67	7,80	1.265	17,91
ave	31	0,96	2,83	732	22,91

Desde el punto de vista microbiológico el vermicompost se mostró más degradado como se aprecia por la evolución de la actividad biológica evaluada por las deshidrogenasas (cuadro 8), la menor relación C/N y el nivel de materia orgánica (cuadro 9), particularmente en las mezclas con estiércol de bovino y de cerdo.

El menor nivel de nutrientes, sobre todo nitrógeno y fósforo en el vermicompost en relación al compost, es explicado por los autores por la toma de estos nutrientes por la biomasa de las lombrices. El ensayo de germinación de semillas de lechuga no evidenció toxicidad en ninguna de las dosis empleadas ni se apreciaron diferencias entre ambos productos orgánicos obtenidos.

Los autores concluyen que en el plazo de la experiencia (4 meses) la degradación de la cáscara de arroz no fue completa en los *compost*. En los *vermicompost*, la cáscara de arroz perdió su identidad, no diferenciándose del resto del material. Se reconoce el rol de las lombrices en la fragmentación de la cáscara. Esta función podría sustituirse en los *compost* por una molienda previa del material o por prolongación del tiempo de tratamiento.

En otro trabajo, Díaz, Méndez y Zorrilla, evaluaron en 1996 el efecto de la incorporación de diferentes dosis de los *compost* y *vermicompost* preparados en la experiencia anterior, desde octubre de 1995 a marzo de 1996, en lechuga y tomate en almacigueras de 100 ml, bajo invernáculo. Se analizó el porcentaje de germinación a los 8 días, la altura de las plantas, el diámetro de los tallos, el número de hojas y el comportamiento del pan al transplante. El diseño fue al azar con 12 tratamientos (3 *compost*, 3 *vermicompost*, con 2 dosis cada uno, con 25 y 50% en relación al volumen del suelo), un testigo con suelo solo y 3 repeticiones. Los resultados mostraron que los *vermicompost* favorecieron más la germinación de las semillas en ambos cultivos y los parámetros evaluados fueron superiores en ambos cultivos a la dosis de 25% para los *vermicompost* y 50% para los *compost*. Las mezclas con estiércol bovino y de gallina superaron estadísticamente a los que usaron estiércol de cerdo.

De estos resultados preliminares los autores concluyeron que los vermicompostos presentaron mejor efecto, incluso con mayor consistencia del pan al transplante (los *composts* se desgranaron más en esta etapa).

Otros estudios INIA (Las Brujas), MGAP (Dirección de Suelos y Aguas) y la Facultad de Agronomía se han interesado en el tema de la biodegradación aerobia y termófila de desechos agrícolas y agroindustriales, en la evaluación del efecto de los productos obtenidos en suelos bajo sistemas intensivos de producción en relación a las propiedades físicas, químicas y biológicas y su correlación con el crecimiento vegetal. Otros de los objetivos de un proyecto de investigación presentado al CONICYT (Docampo, compers) es la evaluación del efecto de la incorporación de sustancias del tipo del humus obtenidas en el compostaje e incorporadas a las aguas de riego, en términos del crecimiento y calidad de cultivos hortícolas.

Se cuenta con resultados sobre la biotransformación de residuos domiciliarios enriquecidos con N-urea en pequeños reactores que contienen hasta 2kg con flujo forzado de aire. La limitación presentada fue lograr la fase termófila, ya que la disipación del calor en estos biodigestores impide la elevación local de la temperatura.

En 1997, Barboza y Elola, realizaron un Trabajo Final en la Facultad de Agronomía, en Horticultura, sobre la: "Evaluación agronómica de sustratos orgánicos en la producción de plantines de tomate". En este trabajo se evaluó el efecto de la incorporación de los *compost* y *vermicompost* obtenidos por Díaz *et al.* (1995 y 1996) a partir de cáscara de arroz y tres tipos de estiércol. Estos se mezclaron con un el horizonte A de un suelo Brunosol de la formación Libertad, en proporción 25 y 50 % (v/v). Los tratamientos fueron 12 y la experiencia se realizó en invernáculo, en almacigueras de 55 cm³/celda, con 3 semillas cada una.

Los resultados en los distintos parámetros analizados indicaron que los tratamientos con abono orgánico permi-

tieron mejores plantines y la dosis 25% fue la más favorable, con inhibición a la dosis de 50%, explicable por la alta salinidad encontrada en los mismos (cloruro de sodio).

A nivel general, los tratamientos con *compost* presentaron mejores resultados en relación a los que contenían *vermicompost*, posiblemente debido a una mayor estabilización de la materia orgánica. En el testigo, se presentaron deficiencias de fósforo lo que limitó la producción de plantines de tomate.

Convenio entre la Facultad de Ciencias y el Mercado Modelo

Este convenio abordó entre 1993 y 1994 el reciclaje de desechos vegetales provenientes del Mercado Modelo de Montevideo con la lombriz californiana (*Eisenia fetida*). Los resultados mostraron que el volumen de desechos mensuales que alcanzan 900 toneladas y que generan un gasto de 195.000 dólares para su eliminación, puede convertirse en *vermicompost* generando un producto valorizado con producción adicional de gran biomasa de mesofauna.

RESIDUOS FORESTALES

El compostaje o vermicompostaje de residuos forestales en Uruguay se realiza a nivel de algunos viveros a partir de restos de corteza de distintas especies, de aserrín o mezclas de trozos de madera, aserrín, corteza, con urea y estiércol como fuente de N y de inóculo. En la Facultad de Agronomía, Curbelo, Heinze y Scaglia, realizaron un Trabajo Final de la carrera de Ingeniería Agronómica, en Microbiología, sobre: Compostaje de Residuos Forestales (1996). Los objetivos fueron: obtener un producto estable a partir de residuos de aserradero mediante biodegradación aerobia y evaluar la marcha del proceso por parámetros físico-químico, biológicos y de fitotoxicidad. El cuadro 10 muestra los principales componentes de la corteza de esta especie empleada en la experiencia.

Cuadro 10. Composición de la corteza de *Pinus pinaster*

componentes	% materia seca
lignina	46,3
celulosa	23,0
hemicelulosas	19,1
ceras y resinas	3,9
taninos	3,3
almidón y pectinas	4,4

Como material se emplearon residuos chipecados (mezcla de despuntes de tabla, corteza y aserrín de pino) en pro-

porción 85/7/8, Los chips presentaron tamaño promedio de 1,7 cm de largo, 0,6 cm de ancho y 0,4 cm de espesor.

La relación C/N original (262/1) se corrigió hasta 40/1 por el agregado de N-urea (46%). Las pilas se inocularon con estiércol vacuno compostado y se dejaron pilas sin inocular, como testigos. Las mismas fueron de 2,2 x 2,2 x 1,5 m de alto lo que equivale a 2,42 m³ de material original. Se fueron regando las capas con agua y urea (6,6 kg/m³) hasta un contenido de humedad de aproximadamente 60%.

Un primer ensayo no llegó a compostarse lo que se evidenció por falta de calentamiento de las pilas. En un segundo ensayo similar al anterior, evaluado por variación de la temperatura, pH, recuentos de microorganismos, relación C/N, actividad deshidrogenasa y fitotoxicidad del producto, se llegó a la temperatura máxima a los 7 días, lográndose estabilizar las pilas luego de sucesivas remociones de las mismas, a los 3 meses.

La densidad microbiana mesófila se incrementó hasta 5 unidades logarítmicas, la reducción del volumen inicial de las pilas fue de 40% y la fracción de granulometría mayor a 1,5 cm se redujo un 62%, mientras que la fracción menor a 0,6 cm se incrementó 106%.

Los autores concluyen que a partir de residuos de madera se pudo lograr al cabo de 3 meses un producto estable con propiedades que permitirían su empleo como sustrato para la producción de plantines forestales.

CONCLUSIONES

En el país se incrementan los residuos orgánicos provenientes de las agroindustrias y de la propia actividad rural. El tema de encauzar estos residuos cuidando la calidad del ambiente constituye un desafío a resolver en los próximos años.

Tampoco se reconocen tecnologías adecuadas para la preparación de abonos orgánicos como los *compost* y *vermicompost* a escalas comerciales. No existe disponibilidad suficiente de enmiendas orgánicas para suelos bajo sistemas intensivos de producción. La escasa producción actual tiene una gran demanda lo que encarece el producto y limita su aplicación. Se reconoce que la experimentación en el tema en el país es aun muy escasa, que se deben desarrollar modelos que permitan realizar los trabajos en volúmenes más pequeños a nivel de laboratorio cuyos resultados puedan luego extrapolarse a escala de campo. Esta es la mayor limitación encontrada en el presente al desarrollo de las investigaciones en la biodegradación aerobia de materiales orgánicos sólidos. Se requiere coordinación entre personal de disciplinas diversas, como biólogos, microbiólogos, fisiólogos vegetales, ingenieros en procesos.

Un aspecto muy importante lo constituye la falta de normas técnicas adecuadas para la caracterización de estos materiales orgánicos. La posible libre circulación de estos productos dentro de la región hace muy necesaria las in-

vestigaciones sobre caracterización físico, química y biológica de los denominados abonos orgánicos.

La evaluación de estos productos en diversos cultivos (hortícolas, ornamentales, forestales) a nivel de vivero y campo, así como la cuantificación de sus efectos como dinamizadores de la actividad biológica del suelo constituyen otras de las tareas a realizar.

BIBLIOGRAFIA

- AUBERT C. 1984. Agricultura orgánica. 2º Encuentro Brasileiro de Agricultura Alternativa. Petrópolis, Brasil.
- BARBOZA, R. y ELOLA, S. 1997. Evaluación agronómica de sustratos orgánicos en la producción de plantines de tomate. Trabajo Final, Facultad de Agronomía, Montevideo, 96pp.
- CELADU, 1992. Temas de agricultura orgánica: Lombricultura. Montevideo, Celadu, 79pp.
- COMPAGNONI, L. y PUTZOLU, G. 1990. Cría moderna de las lombrices y utilización rentable del humus., Editorial De Vecchi, Barcelona, 127pp.
- CURBELO, I. HEINZE, M. y SCAGLIA, C. 1996. Compostaje de residuos forestales. Trabajo Final, Facultad de Agronomía, Montevideo, 78pp.
- DALZELL, H.W.; BIDDLESTONE, A. J.; GRAY, K.R. y THURAIRAJAN, K. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. FAO, Roma, 178 pp. (Boletín de Suelos de la FAO N° 56).
- DÍAZ, R.; MALVÁREZ, G. y ZORRILLA, A. 1995. De Residuo a Recurso: Bio-reciclaje de cáscara de arroz en los Humedales del Este. PROBIDES-Universidad de la República (Facultad de Agronomía), Rocha, mayo de 1995: 27pp.
- DÍAZ, R.; MENDEZ, V. y ZORRILLA, A. 1996. Evaluación de las técnicas de compostaje y vermicompostaje en la degradación de la cáscara de arroz. Seminario de Horticultura Orgánica: Bases Técnicas para la Gestión de Cultivos a Escala Comercial, CEADU, Montevideo, abril, 1996.
- FRIONI, L. 1990. Ecología Microbiana del Suelo, Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República, Montevideo, 519pp.
- FRIONI, L. 1996. Microbiología del suelo: Biodegradación de sustancias naturales y pesticidas. Seminario de Horticultura Orgánica: Bases Técnicas para la Gestión de Cultivos a Escala Comercial, CEADU, Montevideo, abril, 1996.
- la Comercial, CEADU, Montevideo, abril, 1996.
- FRIONI, L. 1998. Biotransformación de Residuos Orgánicos, en: Procesos Microbianos, Fundación de la Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; COSTA, F. y AYUSO, M. 1992. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters. Science and Plant Analysis 23(13 y 14): 1501-1512.
- HOITINK, H.A.J. y FAHY, P. C. 1986. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. En: Cook, R.J. Annual Review of Phytopathology, Palo Alto, California, USA: 93-114, vol 24.
- KIEHL, E. J. 1985 Fertilizantes orgánicos, Ceres, San pable, 459pp.
- LAMBAIS, M. R. 1992. Poluição Orgânica e seu Controle. En: Microbiologia do Solo, Soc. Bras da Ciencia do Solo, Campinas (SP): 91-104.
- MALVAREZ, G.; RODRIGUEZ, A. y ZORRILLA, A. 1994. Alternativas de abonos orgánicos. Compostaje con lombrices. Escuela Agroecológica. Programa Norte. Caritas Uruguay, Impresora Central Cooperativa, 38pp.
- MATHUR, P.S.; OWEN, G.; DINEL, H. y SCHNITZER, M. 1993. Determination of compost Biomaturity. I- Literature review. Great Britain, Biological Agriculture and Horticulture 10: 65-85.
- MUSTIN, M. 1987. Le compost: gestion de la matiere organique, París, Français Dubusc, 954 pp.
- SCHNITZER, M.; DINEL, H.; MATHUR, S.; SCHULTEN, H. y OWEN, G. 1993. Determination of Biomaturity. III Evaluation of a colorimetric test by C-NMR spectroscopy and pyrolysis-field ionization mass spectrometry. Canada, Biological Agriculture and Horticulture, 10: 109-123.
- TESTER, C.F. y PARR, J. F. 1983. Intensive vegetable production using compost. Byocicle, Emmaus, 24(1): 34-36.
- VAN BOCHOVE, E.; COUILLARD, D. and NOLIN, E. M. C. 1995. Characterization of the composting stages by a multivariate analysis application to the nitrogen cycle. Environmental Technology 16: 929-941.
- ZORRILLA, A. 1996. Biodegradación aerobia de residuos orgánicos: Compostaje Seminario de Horticultura Orgánica: Bases Técnicas para la Gestión de Cultivos a Escala Comercial, CEADU, Montevideo, abril, 1996.