

**Ciemat**Centro de
Investigaciones Energéticas,
Medioambientales
y Tecnológicas

Miner

CIEMAT-802

RECEIVED

SEP 18 1996

OSTI

El compostaje como tecnología
para el tratamiento de residuos:
compostaje de bagazo de sorgo
dulce con diferentes fuentes
nitrogenadas

J. Vicente
J.E. Carrasco
M.J. Negro

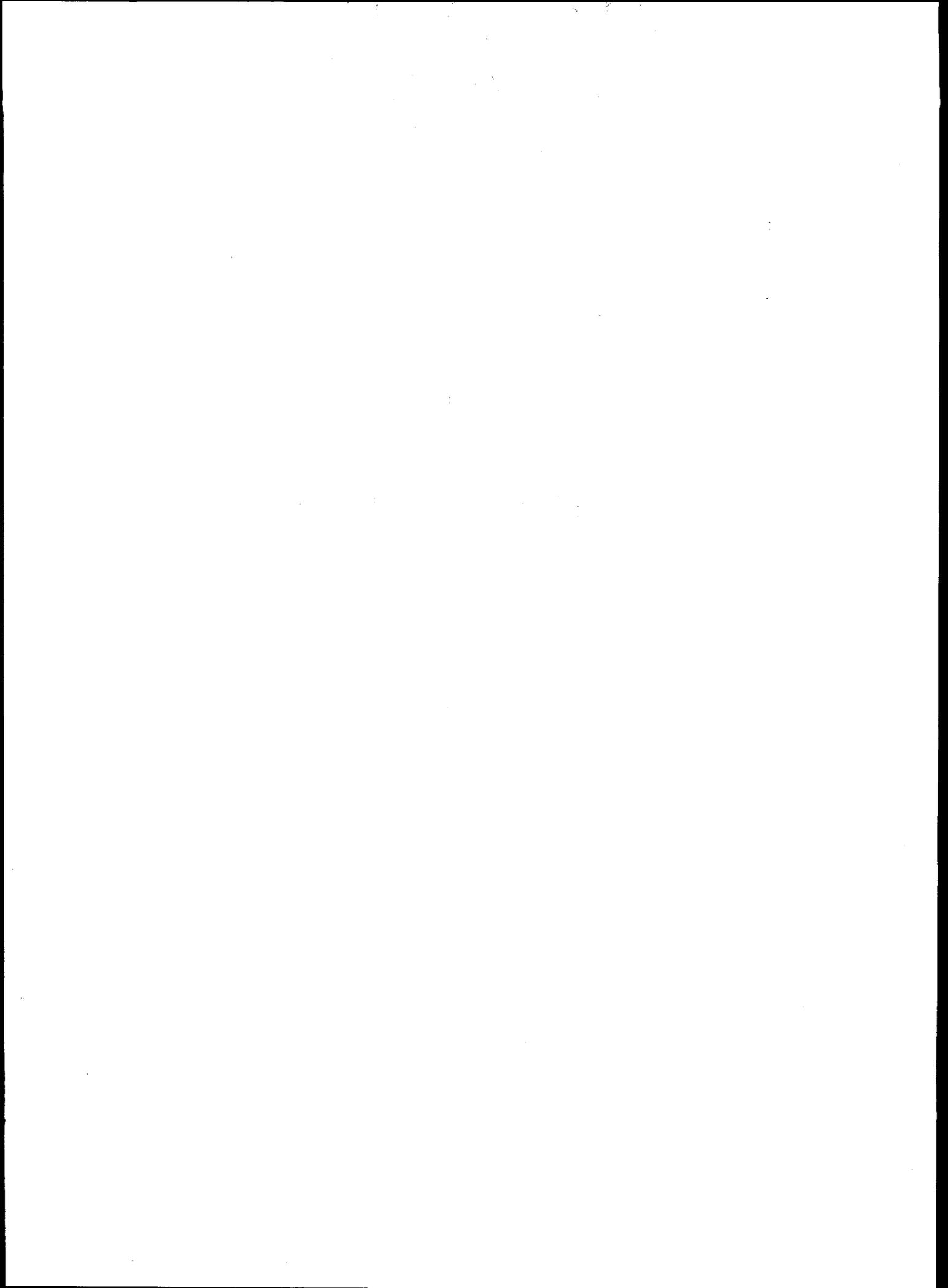
MASTER

DISTRIBUTION OF THIS DOCUMENT IS UNLIMITED

Informes Técnicos Ciemat

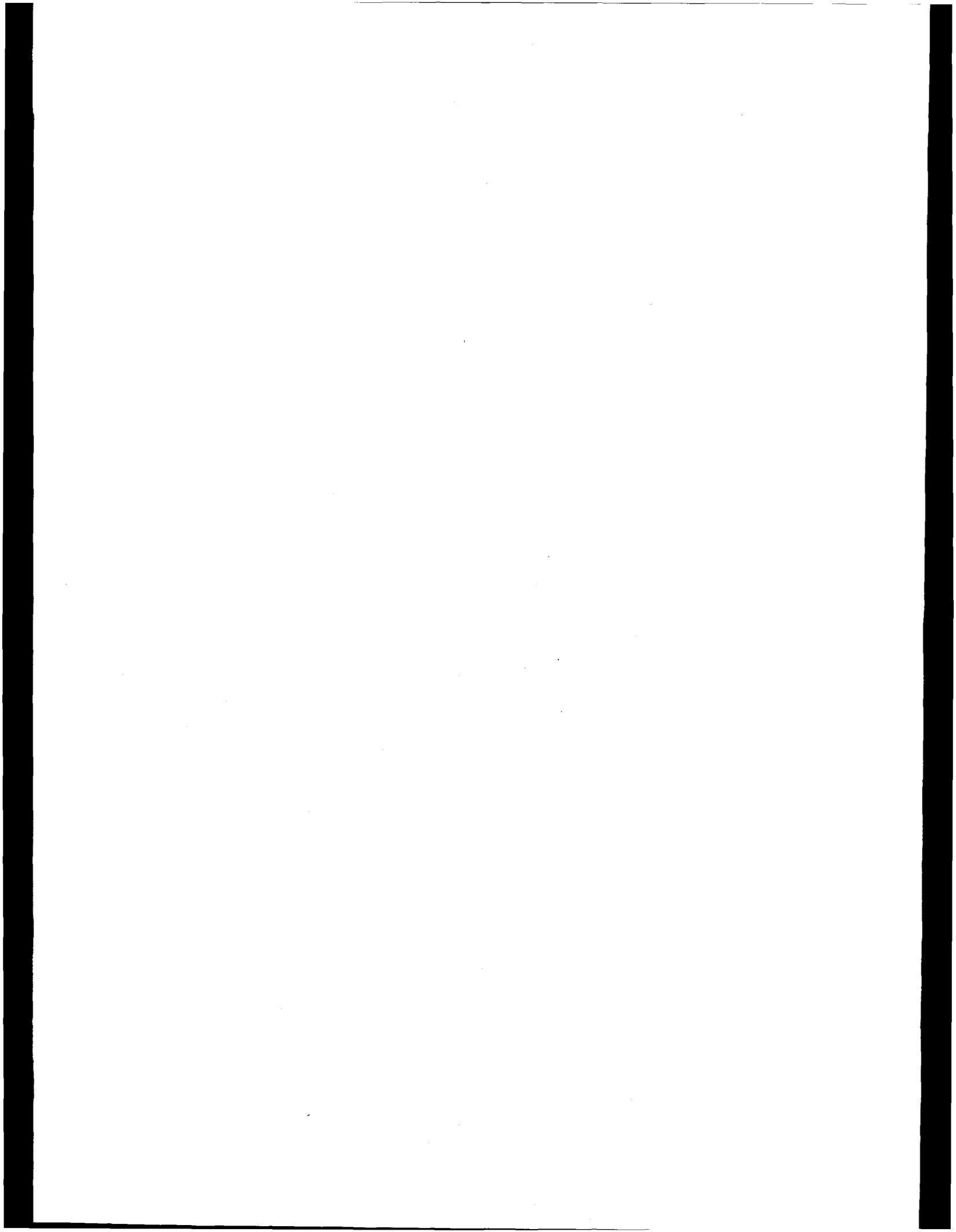
RB
802

Julio 1996



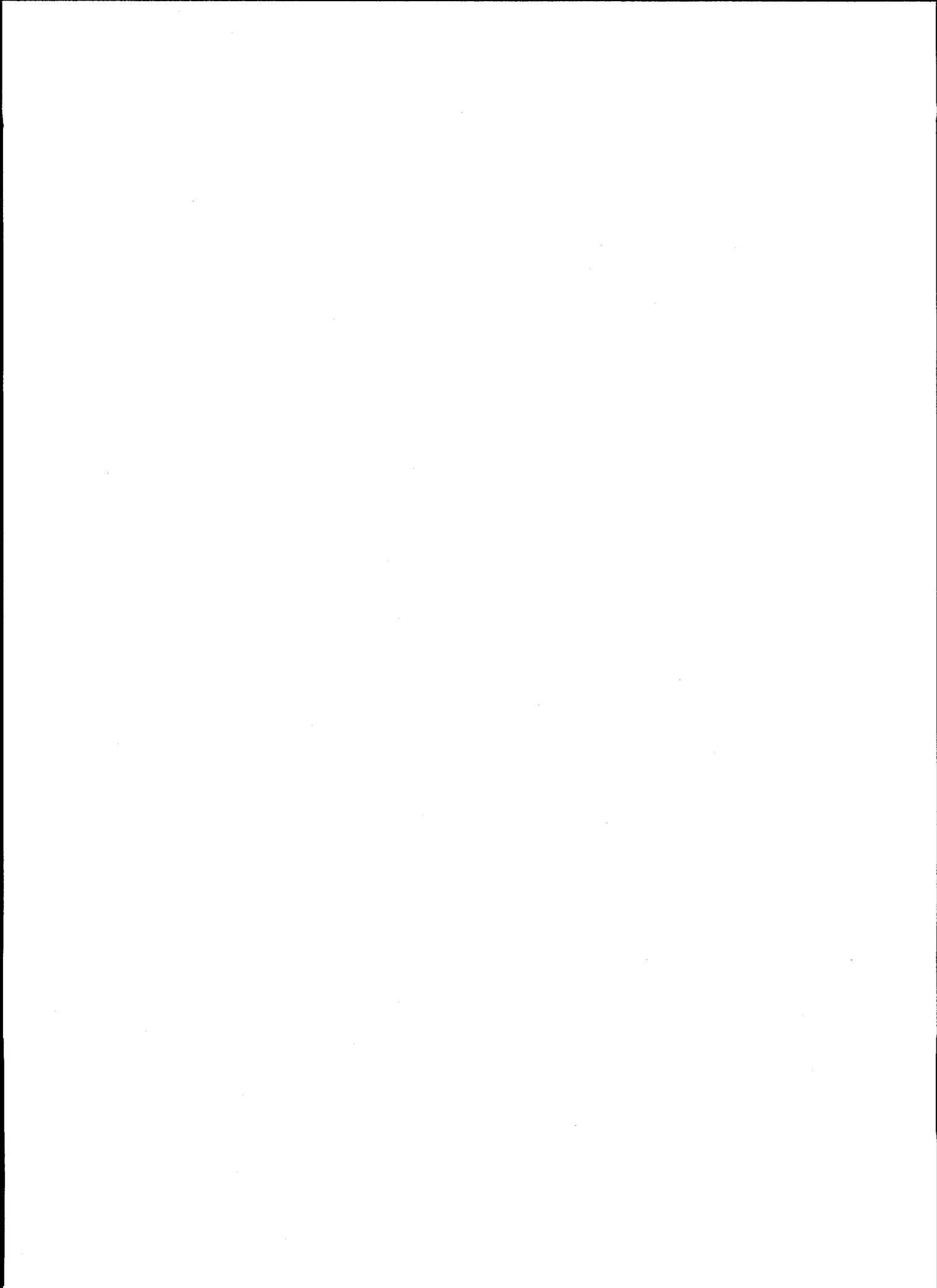
El compostaje como tecnología
para el tratamiento de residuos:
compostaje de bagazo de sorgo
dulce con diferentes fuentes
nitrogenadas

J. Vicente
J.E. Carrasco
M.J. Negro



DISCLAIMER

Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.



Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Información y Documentación, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Ciudad Universitaria, 28040-MADRID, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Los descriptores se han seleccionado del Thesaurus del DOE para describir las materias que contiene este informe con vistas a su recuperación. La catalogación se ha hecho utilizando el documento DOE/TIC-4602 (Rev. 1) Descriptive Cataloguing On-Line, y la clasificación de acuerdo con el documento DOE/TIC.4584-R7 Subject Categories and Scope publicados por el Office of Scientific and Technical Information del Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Se autoriza la reproducción de los resúmenes analíticos que aparecen en esta publicación.

Depósito Legal: M-14226-1995

NIPO: 238-96-001-0

ISSN: 1135-9420

Editorial CIEMAT

CLASIFICACIÓN DOE Y DESCRIPTORES

090900

COMPOSTING, WASTE PROCESSING, SORGHUM, FERMENTATION, AEROBIC
DIGESTION, AGRICULTURAL WASTES, BAGASSE

"El compostaje como tecnología para el tratamiento de residuos: compostaje de bagazo de sorgo dulce con diferentes fuentes nitrogenadas"

Vicente, J.; Carrasco, J.E.; Negro, M.J.;
49 pp. 3 figs. 15 refs.

Resumen

El objetivo de este trabajo es estudiar la fermentación aeróbica en estado sólido del bagazo de sorgo dulce en mezcla con otras fuentes de nitrógeno y evaluar la utilización de este material como sustrato principal para el compostaje.

Las características del bagazo de sorgo dulce, un material con muy bajo contenido en macro y micronutrientes, probablemente debido al proceso extractivo sufrido por el material para la obtención de jugo azucarado, pero con elevado contenido en materia orgánica, sugiere que pueda ser utilizado como sustrato principal en los procesos de compostaje, siempre que sea mezclado con otros residuos ricos en nitrógeno.

Se utilizaron como fuente nitrogenada diferentes aditivos, incluyendo distintos tipos de residuos agroindustriales, residuos de la industria cervecera, celulasas industriales, un producto enzimático comercial utilizado como activador del compostaje, lodos de depuradora urbana así como fuentes nitrogenadas inorgánicas.

Los aditivos se añadieron en dosis de 1,5 y 10% (en algunos casos 0,1 y 1%) ajustándose la relación carbono/nitrógeno a 30 con nitrato amónico. La experiencia se llevó a cabo en cámara climática a 37°C durante dos meses.

Los mejores resultados, desde el punto de vista del valor fertilizante del producto final obtenido se obtuvieron cuando se utilizó lías de vino y bagazo de malta como fuente de nitrógeno. Por otra parte, la utilización de nitrato potásico como fuente de nitrógeno no fue aconsejable.

El bagazo de sorgo dulce es un sustrato adecuado para el compostaje con una gran variedad de aditivos nitrogenados.

"Composting as a waste treatment technology: composting of sweet sorghum bagasse with different nitrogen sources"

Vicente, J.; Carrasco, J.E.; Negro, M.J.;
49 pp. 3 figs. 15 refs.

Abstract

The purpose of this work is to study the aerobic solid fermentation of sweet sorghum bagasse in mixture with other additives as nitrogen sources to evaluate the utilization of this material as a substrate for composting.

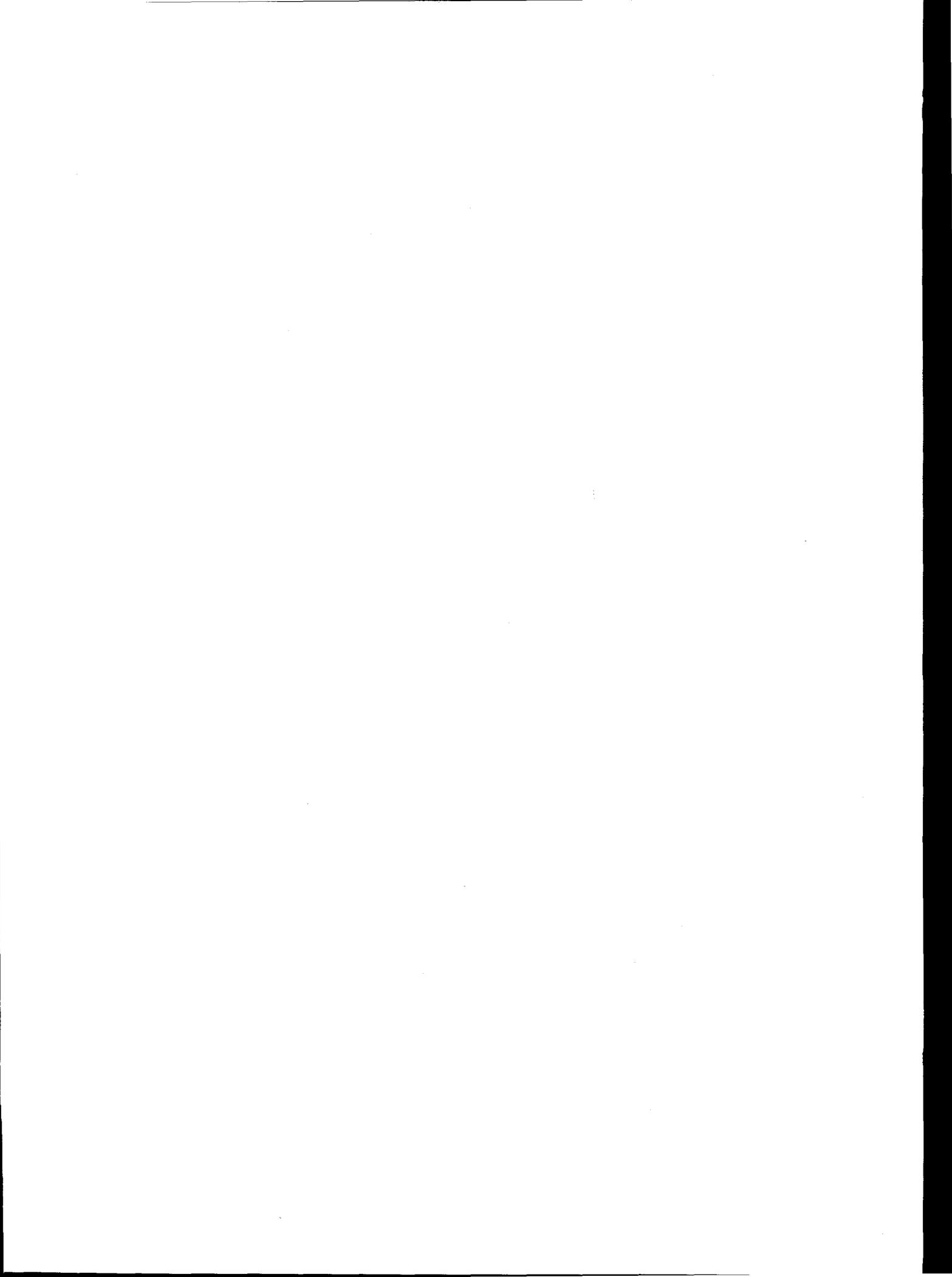
The characteristics of sweet sorghum bagasse, a material extremely low in nutrients as a consequence of sugar juice extraction but with a high organic carbon content, suggest that it may be possible to compost it with other organic wastes nitrogen rich, since this is an indispensable element for the proteic synthesis of the microbial biomass which determines the fermentation process.

Several additives, including different types of agricultural residues, residues from beer industries, industrial celulasas, an enzymatic commercial product for activation of composting, domestic sewage sludge as well as some inorganic sources, were used in the experiences.

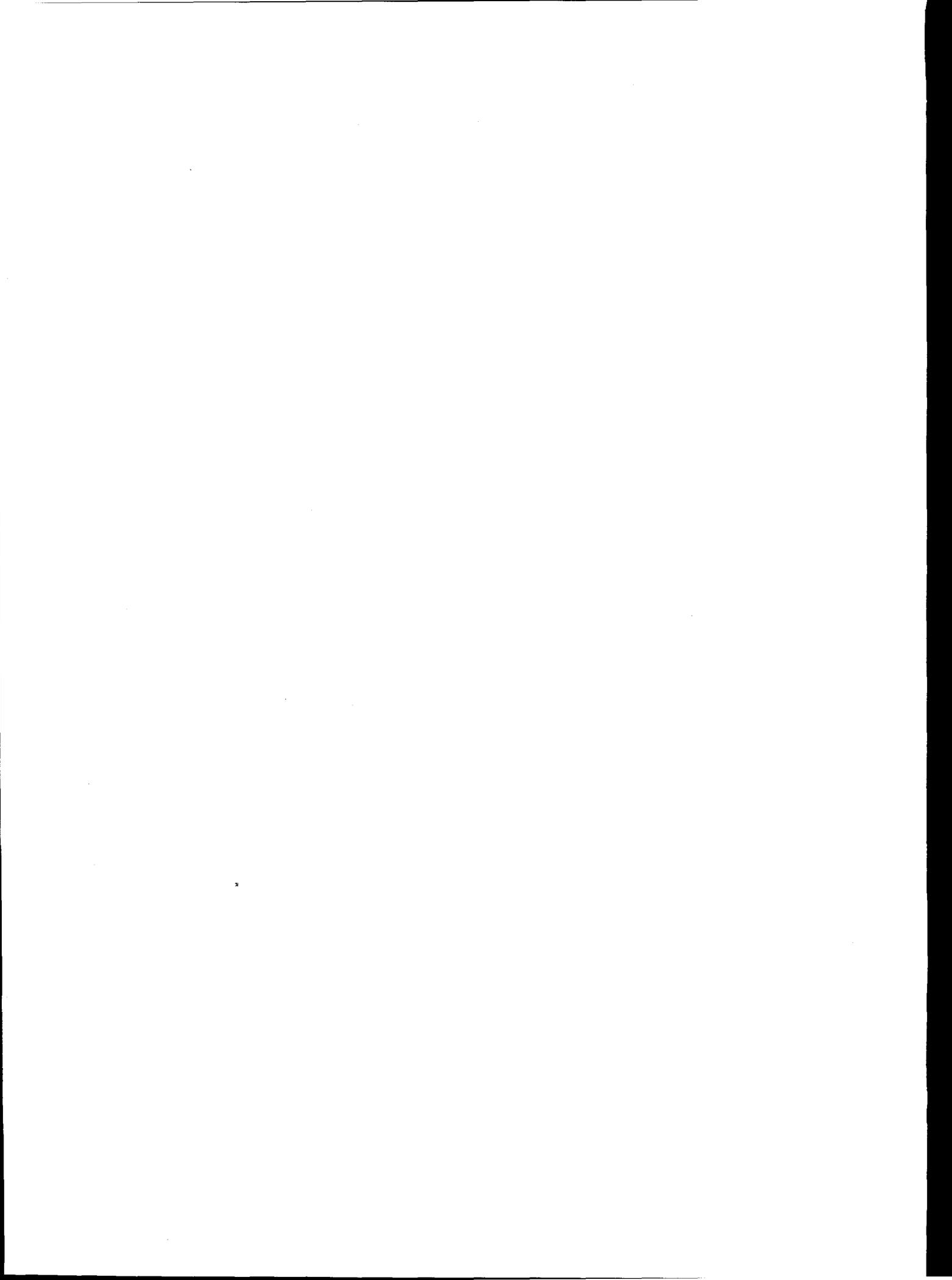
The additives were utilized in doses of 1,5 and 10% (in some case 0.1 and 1% by weight), and the final C/N ratio of the mixtures was adjusted to 30 with NH_4NO_3 , taking to account the nitrogen content of the additives. The experiment was carried out in a constant chamber at 37°C and lasted for two month.

Best quality composts from a fertilizer perspective were obtained utilizing stillages and grain bagasse (beer industry residue) as a nitrogen sources. On the contrary the use of KNO_3 as nitrogen source showed a relatively unfavourable effect on the composting.

The results obtained show the suitability of sweet sorghum bagasse to be used as a carbon substrate for composting in mixtures with variety of nitrogen sources.



INDICE.	
INTRODUCCION	1
<i>Principales parámetros de control en el proceso de compostaje.</i>	4
<i>Evaluación de la madurez del compost.</i>	12
OBJETO E INTERES DEL TRABAJO.	17
MATERIALES Y METODOS.	19
<i>Materias primas utilizadas.</i>	19
<i>Preparación de las mezclas de compostaje.</i>	22
<i>Condiciones y seguimiento del proceso de fermentación aeróbica de los residuos utilizados.</i>	24
<i>Métodos analíticos.</i>	24
RESULTADOS Y DISCUSION.	28
<i>Determinación de la relación C/N óptima.</i>	28
<i>Determinación de las mezclas más adecuadas.</i>	31
CONCLUSIONES.	41
BIBLIOGRAFIA	42



INTRODUCCIÓN

Existen numerosas definiciones de compostaje, así Biddlestone and Gray (1973) lo definen como "la descomposición de la materia orgánica en un medioambiente aerobio y con humedad suave". Bell and Post (1967) lo definen como "un proceso de descomposición aerobio y termófilo", mientras que Muller (1967) afirma que compostaje, en su sentido más amplio, se puede definir como un proceso en el que la materia orgánica procedente de residuos de distinta procedencia es degradada incompletamente por microorganismos, donde el proceso microbiológico puede variar de aerobio a anaerobio, produciéndose una degradación más o menos amplia (Crawford, 1985).

Por otra parte, Haug (1980) define compostaje como "descomposición y estabilización biológica de sustratos orgánicos en condiciones tales que permitan el desarrollo de temperaturas termófilas, dando lugar a la producción de calor de origen biológico, con obtención de un producto suficientemente estable para el almacenamiento y utilización en el suelo sin impactos negativos sobre el medioambiente". El compostaje es, según esta definición, una técnica de estabilización y de tratamiento de residuos orgánicos.

Una definición más completa de compostaje sería "proceso de descomposición termofílica aerobia de residuos orgánicos por poblaciones mixtas de microorganismos en condiciones controladas, para producir un material orgánico estabilizado y humificado que en condiciones favorables a la actividad microbiana se descompone lentamente. El producto final obtenido, de naturaleza húmica, puede ser utilizado como fertilizante, enmienda orgánica o sustrato para el cultivo de hongos comestibles.

De lo anteriormente expuesto se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- El compostaje es una técnica de estabilización y tratamiento de desechos orgánicos biodegradables.
- El calor generado durante el proceso destruye significativamente las bacterias patógenas y huevos de parásitos presentes en el material de partida, dando lugar a un producto final altamente higienizado.
- Es una técnica biológica de reciclaje de materia orgánica que al final de su evolución da humus, factores de estabilidad y fertilidad al suelo.
- Es el resultado de una actividad biológica compleja, realizada en condiciones particulares.

En cierta medida el compostaje es una BIOTECNOLOGÍA puesto que responde a la definición

"aplicación deliberada y controlada de agentes biológicos sencillos (células vivas, muertas, componentes celulares ...) en operaciones útiles de carácter técnico ya sea para producir bienes o servicios".

El compostaje difiere de otros sistemas de descomposición en que la temperatura y velocidad de descomposición se alteran generalmente por intervención del hombre. Las transformaciones que se producen en un proceso de compostaje presenta ciertos aspectos en común con los mecanismos de humificación en el medio natural, se diferencia fundamentalmente por la concurrencia de unas condiciones ecológicas menos complejas, la ausencia de un sustrato mineral predominante, y la duración mucho más reducida del proceso.

El compostaje no es un proceso unitario. Es, en realidad, la suma de una serie de procesos metabólicos complejos, resultado de la actividad de una mezcla de microorganismos. Los cambios químicos y especies microbianas involucrados en el proceso varían de acuerdo a la composición del material que se quiere compostar.

Desde el punto de vista ecológico e industrial, las ventajas del compostaje de los restos orgánicos se manifiestan en la eliminación y reciclado de muchos tipos de residuos, solventando los problemas que ocasionarían su vertido, y en la obtención de materiales apropiados para su uso en la agricultura.

En este último sentido, se persigue aumentar la similitud entre la materia orgánica de los residuos y el humus de los suelos, eliminar los posibles productos tóxicos que pueden permanecer por la descomposición incompleta del sustrato y aumentar su estabilidad biológica o resistencia a la biodegradación, con lo que se resuelven o atenúan los efectos desfavorables de la descomposición de los restos orgánicos sobre el propio campo.

La obtención de un buen compost depende fundamentalmente de:

- La materia orgánica de partida, que puede asimismo experimentar variaciones en función de factores diversos.
- Las condiciones de proceso y maduración.
- El procesado final (refinado y depuración).

Materia orgánica de partida

Como materia compostable puede utilizarse cualquier producto orgánico fermentable. La clasificación de los residuos compostables se puede realizar en base a diferentes criterios:

a) Según su naturaleza química:

- Desechos orgánicos:
 - . Ricos en carbono
 - . Ricos en nitrógeno
- Desechos minerales (en realidad, adyuvantes del compostaje):
 - . Desechos básicos (cenizas)
 - . Sales residuales (fosfatos, carbonato cálcico, sulfatos)

b) Según su estado físico:

- Desechos sólidos (pajas, basuras, maderas)
- Desechos semisólidos (lodos de estaciones depuradoras)
- Desechos líquidos (efluentes agroalimentarios)

c) Según su origen:

- Procedentes de actividades domésticos
- Procedentes de actividades industriales
- Procedentes de actividades agrícolas

Los residuos sólidos urbanos, lodos de depuradoras, residuos agrícolas, residuos de industrias alimentarias y otros residuos industriales y ganaderos, contienen gran cantidad de materia orgánica que puede ser usada con fines agrícolas. Algunos de estos residuos requieren que la fracción orgánica sea separada de los materiales inertes (vidrio, plástico, metales, etc) como en el caso de los RSU (Residuos Sólidos Urbanos), y en general, todos requieren una reducción de tamaño y un acondicionamiento químico-biológico antes de su incorporación al suelo.

La adición de la materia orgánica directamente al suelo no es recomendable, ya que si no existe una humificación parcial se produce sobre ella una degradación interna por los microorganismos del suelo, dando lugar a metabolitos tóxicos para el desarrollo de cultivos y estableciéndose una competencia con estos por el nitrógeno edáfico.

El compostaje, mediante una serie de biotransformaciones oxidativas similares a las que ocurren en el suelo, actúa sobre la materia orgánica mineralizando la fracción más fácilmente asimilable por los microorganismos y humificando (proceso de producción de complejos coloidales relativamente estables y resistentes a la acción microbiana) los compuestos más difícilmente

atacables.

El resultado final es la obtención de un compuesto parcialmente mineralizado y humificado que puede sufrir mineralizaciones posteriores más lentas una vez incorporado al suelo.

Dependiendo de la materia prima de partida, será necesario realizar diferentes tratamientos previos a la fase de fermentación propiamente dicha. Por ejemplo, en el caso de los RSU es conveniente separar la fracción orgánica (en los producidos en España, ésta esta entorno al 60%). En el caso de lodos o residuos líquidos ganaderos, su alto porcentaje de humedad exige un tratamiento previo de desecación o bien su mezcla con otros agentes sólidos como fracción orgánica de RSU o residuos agrícolas o forestales. Estos últimos, por su relativamente bajo contenido en nitrógeno, es aconsejable mezclarlo con fuentes nitrogenadas como estiércoles, purines, etc.

Principales parámetros de control en el proceso de compostaje.

El compostaje espontáneo de la materia prima se produce en la naturaleza, sin embargo, estos procesos son lentos, discontinuos y heterogéneos. Para que el compostaje de residuos sea adecuado para su desarrollo industrial debe adaptarse a requisitos básicos como ser rápido, tener bajo consumo de energía, garantizar la calidad del producto final, la higiene de producción, etc. Para ello, el proceso debe ser cuidadosamente controlado atendiendo a las siguientes parámetros de operación: Composición de la materia prima, temperatura, aireación, relación carbono/nitrógeno y pH (De Bertoldi *et al.*, 1984). Finalizada la etapa de compostaje y maduración del compost obtenido, se lleva a cabo un procesado final del mismo en el que se controla la granulometría y la presencia de elementos inertes.

Preparación de la materia prima

Puede ser llevada a cabo por métodos mecánicos-físicos como trituración, separación de inertes, secado de residuos líquidos, etc. o por métodos mecánico-biológicos. En estos últimos, los residuos se introducen en reactores en los que comienza su degradación biológica al mismo tiempo que se produce un tratamiento mecánico de reducción de tamaño. Después de esta fase de preparación, tiene lugar el compostaje definitivo de la fracción orgánica.

Aireación

Es un factor importante en el proceso de compostaje y por tanto un parámetro a controlar, como ya se ha comentado anteriormente el proceso de compostaje es un proceso aerobio, se necesita

la presencia de oxígeno para el desarrollo adecuado de los microorganismos. La aireación tiene un doble objetivo, aportar por una parte el oxígeno suficiente a los microorganismos y permitir al máximo la evacuación de CO₂ producido. La aireación debe de mantenerse en unos niveles adecuados teniendo en cuenta además que las necesidades de oxígeno varían durante el proceso de compostaje, siendo baja en la fase mesófila, alcanzando el máximo en la fase termófila y disminuyendo al final del proceso y durante la maduración. En la figura 1 se representan las necesidades teóricas de oxígeno durante un proceso de compostaje.

El sistema de aireación depende del proceso de compostaje y puede realizarse mediante volteos de la masa a fermentar, o por medio de sistemas mecánicos de ventilación interior de la masa fermentable.

Humedad

Es, después de la aireación, el factor de control más importante y ambos están estrechamente interrelacionados.

Los microorganismos necesitan agua como vehículo líquido para transportar los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima se puede situar alrededor del 55% aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas y del sistema de compostaje. Si la humedad disminuye demasiado se detiene el proceso biológico con lo cual el producto obtenido será biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta saturará los poros e interferirá con la distribución de aire a través del compost.

Temperatura

Durante el proceso de compostaje la temperatura varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos.

El proceso de compostaje puede ser dividido en cuatro etapas: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración (figura 2).

Inicialmente, los residuos se encuentran a temperatura ambiente, enseguida los microorganismos crecen y la temperatura sube considerablemente, a los pocos días se alcanzan los 40°C (fase mesófila). La temperatura continúa subiendo hasta alcanzar valores entre 70-75°C (fase termófila), la mayor parte de los microorganismos iniciales mueren y son reemplazados por otros resistentes a esta temperatura. A partir de los 60°C, los hongos termófilos cesan su actividad y la reacción es mantenida por actinomicetos y estirpes de bacterias esporuladas, la temperatura va disminuyendo gradualmente, en esta fase la generación de calor se iguala a la velocidad de

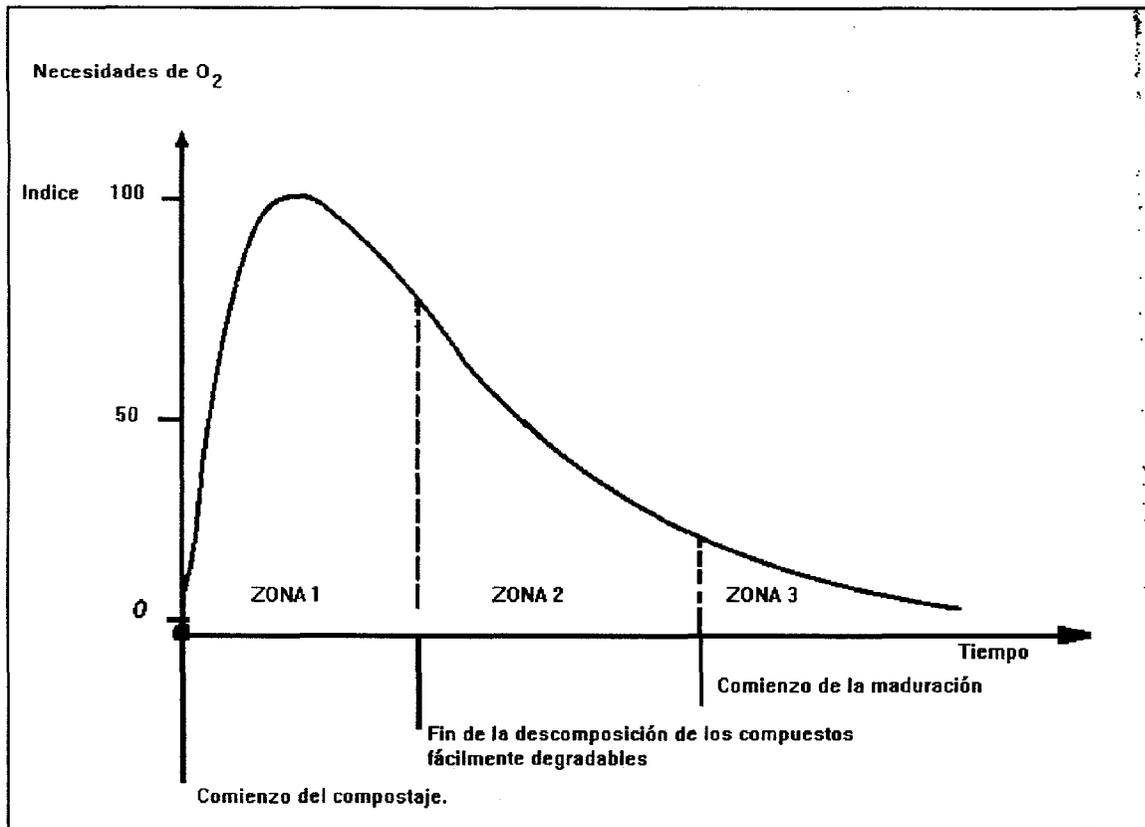


Figura 1. Curva teórica de las necesidades de oxígeno durante el compostaje (Mustin, 1987)

Zona1. Actividad de máxima degradación aerobia.

Necesidades de oxígeno: elevada ($0,5 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t. M.S.}$)

Zona2 . Actividad media de degradación aerobia.

Necesidades de oxígeno: media ($0,1 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t M.S.}$)

Zona3. Actividad baja de degradación aerobia.

Necesidades de oxígeno: baja (inferior a $0,1 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t MS}$)

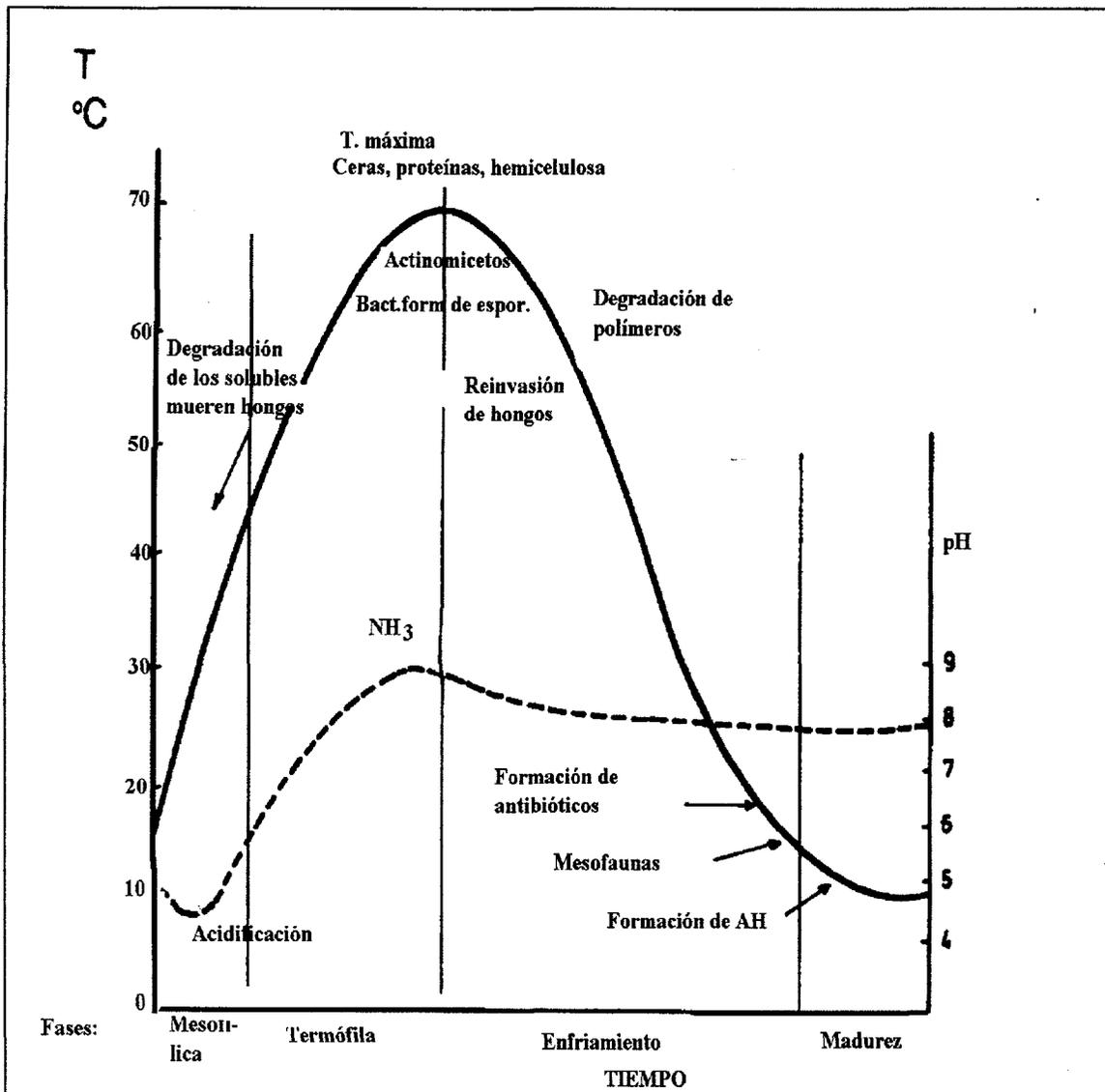


Figura 2. Evolución de la temperatura (-) y pH (--) durante las diferentes etapas del compostaje (En Costa, 1991).

pérdida de calor en la superficie de los montones. Esto marca el final de la fase termófila. La temperatura máxima que se alcanza depende de la calidad del material utilizado. Después se produce una nueva fase mesófila o de enfriamiento y una fase final de maduración en la que la temperatura se iguala a la del medioambiente.

El control de los parámetros físicos debe ajustarse a unas condiciones óptimas para obtener el máximo rendimiento y velocidad del proceso. Así, por ejemplo, las bajas temperaturas suponen una lenta transformación de los residuos, prolongándose los períodos de retención, pero las temperaturas elevadas determinan la destrucción de la mayor parte de los microorganismos (pasteurización) fenómeno que sólo debe permitirse al final del compostaje, para asegurar la eliminación de patógenos.

La excesiva aireación, por una parte (por inyección o rotación mecánica de las pilas de compost) redundan en variaciones de la temperatura y del contenido en humedad, además de incrementar considerablemente los gastos de fabricación, pero la aireación insuficiente disminuye el rendimiento y la velocidad de compostaje, favoreciendo la formación de sustancias orgánicas nocivas, por las condiciones de anaerobiosis.

pH

En general, se puede compostar materia orgánica con un amplio rango de pH. Los valores óptimos de pH están entre 5,5 y 8,0; ya que la mayor parte de las bacterias que intervienen durante el compostaje tienen su óptimo entre 6-8, mientras que los hongos son más tolerantes (5 a 8,5).

Durante el proceso de compostaje se producen distintos procesos que son susceptibles de hacer variar el pH de la materia prima orgánica (figura 2). Así, al principio del compostaje y como consecuencia del metabolismo, fundamentalmente bacteriano, que transforma los complejos carbonados en ácidos orgánicos, el pH desciende. Seguidamente el pH aumenta debido a la formación de amonio alcanzando el valor más alto, alrededor de 8,5; coincidiendo con el máximo de actividad de la fase termófila. Finalmente el pH desciende a valores próximos a la neutralidad o ligeramente alcalino, en la fase final o de maduración, debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica.

Factores nutricionales.

Con respecto a los factores nutricionales, el carbono es utilizado por los microorganismos como fuente de energía y el nitrógeno para la síntesis de proteínas. Las dos terceras partes del carbono son quemadas y transformadas en CO₂ y el restante entra a formar parte del

protoplasma celular de los nuevos microorganismos, si bien, para la producción de proteínas, se necesita la absorción de otros elementos entre los cuales los más importantes es el nitrógeno y en menores cantidades el fósforo y el azufre.

Relación carbono/nitrógeno

Los microorganismos necesitan el carbono como fuente de energía y el nitrógeno para la síntesis de proteínas. El carbono constituye la fuente esencial de energía para los microorganismos termófilos y participa con menor importancia en la síntesis de la materia viva. Las 2/3 partes del carbono consumido, son quemadas por los microorganismos y transformadas en gas carbónico y el 1/3 restante entra a formar parte del protoplasma celular de los nuevos organismos, pero para la producción de proteínas se necesita la absorción de otros elementos entre los cuales el más importante es el nitrógeno y en menor importancia el fósforo y el azufre.

Las formas de carbono más fácilmente atacable por los microorganismos son los azúcares, las pentosas y las materias grasas. El nitrógeno se encuentra, en casi su totalidad, en forma orgánica de donde debe ser extraído y modificado por los microorganismos para poder ser utilizado por éstos.

La relación carbono/nitrógeno de la masa a compostar es también un factor importante a controlar para obtener una fermentación correcta o, por lo tanto, un producto final con las características adecuadas. A medida que transcurre el compostaje, esta relación se hace cada vez más pequeña, puesto que, como hemos comentado, el nitrógeno es usado fundamentalmente en la síntesis de proteína y el carbono en un 60% aproximadamente como fuente de energía y por lo tanto transformado en CO₂. La relación óptima C/N en los materiales iniciales está comprendida entre 25 y 35. Si es superior a 35, el exceso de carbono es oxidado y la relación C/N desciende a valores más adecuados para el metabolismo. Si la relación es inferior a 25, se producen pérdidas considerables de nitrógeno en forma de amoníaco. En una fermentación aerobia correcta no debe perder más del 20% de la cantidad inicial del nitrógeno. Cuando la relación C/N es elevada se podrá hacer descender artificialmente, ya sea quitando celulosa, es decir, reduciendo el carbono, o aumentando el contenido en nitrógeno, por ejemplo con adición de alguna fuente nitrogenada como nitrato cálcico.

Aspectos microbiológicos del compostaje

El compostaje es un proceso dinámico en el que se producen una serie de cambios físicos y químicos debido a la sucesión de complejas poblaciones microbianas. La naturaleza y el número de microorganismos presentes en cada etapa dependen del material inicial.

Al comienzo del proceso de compostaje el material se encuentra a temperatura ambiente y la flora de microorganismos mesófilos presentes en los materiales orgánicos empieza a desarrollarse utilizando los compuestos directamente asimilables contenidos en el medio. La intensa actividad metabólica de estos organismos, fundamentalmente hongos y bacterias, provoca la elevación de la temperatura en el interior de la masa en compostaje. Al aumentar la temperatura empiezan a proliferar bacterias y sobre todo hongos termófilos que se desarrollan desde los 40°C hasta los 65°C. Estas especies empiezan a degradar celulosa y algo de lignina con lo cual la temperatura sube hasta los 70°C apareciendo poblaciones de actinomicetos y bacterias esporáneas. Durante varios días se mantiene esta temperatura, en una fase de actividad biológica lenta, en la que se produce la pasteurización del medio. Cuando la materia orgánica se ha consumido, la temperatura empieza a disminuir y las bacterias y fundamentalmente los hongos mesófilos reinvasan el interior del compost utilizando como fuente de energía la celulosa y la lignina residuales. Como consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas durante el compostaje las bacterias patógenas y parásitos presentes en los residuos de partida se destruyen.

Un aspecto que ha sido ampliamente discutido es el posible interés de inocular las pilas de compostaje con microorganismos para facilitar o mejorar la evolución de un compost. Los estudios realizados en este sentido parecen indicar que la inoculación no produce grandes mejoras, raramente son un factor limitante, cuando las condiciones ambientales son las adecuadas, dado que los microorganismos que se encuentran de forma natural en el material a compostar están más adaptados que aquellos preparados en el laboratorio.

Resumen de las condiciones de un proceso ideal:

Existen numerosos datos en la bibliografía sobre los parámetros microbiológicos, químicos y físicos de plantas de compostaje. Un resumen de los valores óptimos de los parámetros más importantes se dan en la tabla 1.

PARÁMETRO	VALOR
Relación C/N inicial	30-35:1
Relación C/P inicial	75-150:1
Tamaño de partícula	12,5 mm para plantas donde se utiliza agitación y aireación forzada, 50 mm para plantas sin agitación y aireación natural
Contenido en humedad	50-60%
Aireación	0,6-1,8 m ³ /día Kg ⁻¹ sólidos volátiles durante la fase termófila o manteniendo los niveles de oxígeno entre 10-18%.
Temperatura	55°C
Agitación	Cortos períodos de agitación vigorosa, alternando con períodos sin agitación que varían desde minutos en la fase termófila a horas durante la maduración.
Control pH	Normalmente no deseable
Tamaño	Cualquier longitud, pero no mas de 1,5 m de alto ó 2,5 m de ancho en el caso de pilas con aireación natural. Con aireación forzada, depende de las necesidades para el precalentamiento.

Tabla 1. Resumen de las condiciones de un proceso de compostaje ideal. (Fermor, 1993).

Evaluación de la madurez del compost

La evaluación de la madurez de un compost es ampliamente reconocido como uno de los problemas más importantes en lo que respecta al proceso de compostaje y aplicación del producto obtenido al suelo.

La poca rentabilidad general de las empresas privadas dedicadas al compostaje tiene como consecuencia que el producto que se ofrece al mercado agrícola no sea, en la mayoría de los casos, tan bueno como sería necesario. La producción de compost, hasta ahora, ha sido abordada con escaso éxito, debido a motivos económicos y a la propia infravaloración del producto (descuidos en su calidad, inadecuada presentación y comercialización, aplicación deficiente, etc) por parte del usuario y fabricante.

Métodos para determinar el grado de madurez de un compost.

Para que los efectos de la aplicación del compost sean positivos, éste debe ser lo suficientemente "maduro", es decir, estable, de lo contrario la materia orgánica poco estabilizada seguirá el proceso de descomposición en el suelo pudiendo provocar problemas. Para evitar estos posibles efectos negativos se hace necesaria la evaluación de la madurez de un compost.

Es difícil, por no decir imposible la definición de la calidad de un compost a partir de un único parámetro químico, bioquímico y toxicológico, ya que el proceso de compostaje es un proceso microbiológico muy complejo.

Hasta el momento no existe un único método aceptado de forma generalizada para determinar el grado de madurez del compost. Se ha trabajado con diversos parámetros que informan, de manera relativa de la evolución de la materia orgánica durante el proceso o como parámetro definitorio de la calidad del producto ya a la venta.

En todos los casos pueden existir problemas ya que un parámetro podría ser un buen indicador del grado de madurez desde un punto de vista teórico, pero inaplicable por su pérdida de significación al ignorar la historia de la muestra, o por no ser aplicable en los análisis de rutina.

Aunque no se dispone de un método simple y reproducible, son muchas y diferentes los criterios propuestos (Nogales and Gallardo-Lara, 1984; Iglesias and Pérez, 1989; Morer *et al.*, 1985). Estos se pueden agrupar en 5 tipos:

- test de tipo físico
- estudios de la actividad microbiana
- estudios de la fracción húmica del compost
- métodos químicos
- métodos biológicos o test de fitotoxicidad.

Entre los distintos métodos existen algunos rápidos pero poco fiables, como los basados en la cromatografía sobre papel y otras más complejas basadas en medidas de la evolución del complejo húmico. También se han propuesto algunos índices, tales como las relaciones C/N, C en azúcares reductores/C total, reparto del nitrógeno en forma amoniacal y nítrica, la capacidad de cambio catiónico o el desprendimiento de ácido sulfhídrico.

Test de tipo físico:

Son los habitualmente utilizados, pero en general dan una idea aproximada de la madurez de un compost. Entre ellos se incluyen factores tales como ausencia de olor desagradable, color oscuro y temperatura estable.

Olor.

El compost maduro debe tener ausencia de olor desagradable y debe tener un olor similar a la tierra húmeda.

Color

Durante el proceso de compostaje, el material sufre un proceso de oscurecimiento o melanización hasta transformarse en un producto oscuro. Aunque los mecanismos del proceso citado no son bien conocidos, en ellos se incluyen reacciones de la humificación, tipo amino-carbonilo y tipo Maillard, sin descartar otras reacciones que ocurren a menor temperatura. Se han propuesto algunas técnicas para determinar el grado de ennegrecimiento.

Temperatura estable

Tal como hemos comentado en apartados anteriores, durante el proceso de compostaje se considera la evolución de la temperatura como reflejo de la actividad de la población microbiana involucrada en el proceso, que decrece considerablemente al final del proceso, determinando una disminución de la temperatura del material compostado de 60-70°C hasta temperatura ambiente. En este sentido, un compost se considera maduro cuando la curva de temperatura del mismo se ha estabilizado y no varía con el volteo del material.

Métodos basados en el estudio de la evolución de parámetros de actividad microbiana.

En general, aunque las técnicas microbiológicas y bioquímicas son adecuadas para determinar el grado de madurez de un compost, resultan laboriosas y, por tanto, inaplicables en un análisis rutinario. Estos métodos están basados, en parte, en la hipótesis que establece que la madurez de un compost se alcanza por estabilidad biológica del producto. El grado de estabilidad se puede determinar directamente a partir del contaje de la biomasa microbiana o de medidas de la actividad metabólica o bien, indirectamente, por medio del estudio de los constituyentes fácilmente biodegradables o su susceptibilidad a la degradación.

Métodos basados en el estudio de la materia orgánica humificada del compost

Algunos autores han tratado de relacionar el grado de madurez de un compost con las características de los compuestos húmicos presentes en el mismo, principalmente atendiendo a su grado de polimerización, tasa de extracción y su riqueza en el compost (Sequi *et al.*, 1986; De Mobili and Petrusi, 1988; Ciavatta *et al.*, 1990).

Tests de tipo químico

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

Relación C/N (en fase sólida).

Es el criterio tradicionalmente utilizado para la determinación de la estabilidad de un compost. Si bien pueden presentar alguna dificultad en la selección de muestras lo suficientemente homogéneas, la determinación del mismo es relativamente sencilla y rápida. Por lo general, un compost se considera maduro cuando su relación C/N es menor de 20 y lo más cercano a 15, aunque en la práctica dicho valor puede ser superior, ya que gran parte del carbono orgánico, al encontrarse en formas resistentes como son celulosas o ligninas, no puede ser utilizado de inmediato por los microorganismos.

La relación C/N es un índice interesante para seguir la evolución de un proceso de compostaje a pie de planta ya que da mucha información si se conoce la relación C/N de partida. Si no, la

interpretación es difícil. Por ejemplo, un compost con una relación C/N relativamente alta puede estar bien fermentado y estar maduro, si procede de RSU con una relación C/N alta lo que ocurre, por ejemplo, sino se han eliminado papeles y cartones. Por el contrario, un compost con una relación C/N baja puede ser fresco y poco fermentado, como puede ocurrir si procede de una mezcla de RSU con otros residuos con elevado contenido en nitrógeno, como son los lodos de depuradoras de aguas residuales urbanas.

Relación C/N orgánico en extracto acuoso.

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

Determinación de la DQO del compost.

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

pH

También la determinación del pH sería un buen indicador de la marcha del proceso por lo general, durante el compostaje, el pH disminuye ligeramente, para subir posteriormente a medida que el material se va estabilizando, quedando al final del proceso entre 7 y 8, valores más bajos indicarían que se ha producido fenómenos de anaerobiosis y que el material no está aún maduro.

Capacidad de cambio catiónico

Su determinación en un abono orgánico no tiene solamente interés por el valor agronómico que representa este parámetro, es decir, nos da idea de la potenciabilidad en la retención de

nutrientes y capacidad de inmovilización de sustancias fitotóxicas, así como la posibilidad de amortiguar cambios súbitos de pH, sino que utilizando adecuadamente nos puede informar de la estabilidad de la materia orgánica de dicho compost.

Diversos estudios realizados con abonos orgánicos y compost de diversos residuos orgánicos han demostrado que la CIC aumenta a medida que también aumenta el grado de estabilidad de la materia orgánica (Harada and Inoko, 1980a, 1980b, 1981).

Tests de tipo biológico

Últimamente se están desarrollando un gran número de test de tipo biológico, con el fin de evaluar la madurez de un compost, estos test están basados en el efecto negativo que provoca la aplicación del compost "inmaduros" sobre la germinación de las semillas debida a la presencia de compuestos fitotóxicos en estos productos (Jorba and Trillas, 1983; Hirai *et al.*, 1983; Baca *et al.*, 1990). Estos test consisten, fundamentalmente en la obtención de un extracto acuoso del material que es introducido en una placa petri de incubación se determina el grado de germinación. En general se considera un compost maduro cuando el índice de germinación es superior al 50% (Zucconi *et al.*, 1981).

OBJETO E INTERÉS DEL TRABAJO

La agricultura está atravesando actualmente una grave crisis en la mayor parte de los países desarrollados debido a la producción de una gran cantidad de excedentes, cuya eliminación se ha convertido en tema de importante solución para muchos gobiernos debido a la gran cantidad de recursos económicos que deben dedicarse a la gestión de los mismos. Tan solo en la UE se produjeron en 1990 unos excedentes de cereales, remolacha y vino de más de doce millones de toneladas con un costo de financiación en torno a los 30.000 millones de ECU.

Las vías que se están siguiendo para controlar este problema son diferentes dependiendo de los distintos países. Así, en Estados Unidos, una parte considerable de los excedentes de cereales se están dedicando a la producción de bioetanol que se utiliza como combustible líquido en mezclas con la gasolina a la que eleva su calidad, mejorando las emisiones de los vehículos.

En la UE se está fomentando el abandono de tierras agrícolas mediante pago de compensaciones económicas a los agricultores, así como su utilización alternativa para reforestación y otros cultivos con fines no alimentarios, entre los que se incluyen los industriales y energéticos.

Asimismo, se están tratando de elaborar una serie de medidas tendentes a la limitación de fertilizantes y pesticidas sintéticos. Con esta nueva orientación de la política agraria se espera poder conseguir en un futuro no solo un mayor equilibrio en la producción del sector agrícola, sino además, una agricultura más en equilibrio con el medio ambiente, disminuyendo los efectos negativos que sobre el suelo, agua y aire ocasiona el empleo masivo de estos productos.

Entre estos efectos, la progresiva disminución del contenido en materia orgánica del suelo, que hoy convierte a una gran parte de los terrenos agrícolas de cultivo intensivo en potenciales zonas desérticas de abandonarse en ellos las faenas agrícolas, es uno de los más importantes.

Es, precisamente, en este contexto en donde se centra el interés del presente estudio, ya que el sorgo dulce por su gran versatilidad de cultivo en amplias zonas de la UE y sus altas producciones de azúcar y material lignocelulósico (bagazo) es una de las alternativas más factibles que se están estudiando en este momento en el campo de los cultivos energéticos e industriales alternativos al objeto de intentar paliar e incluso, dar una solución favorable a los costos sociales y económicos que para el mundo rural europeo puede traer al abandono de la agricultura.

El objetivo de este trabajo es el realizar un estudio sobre las posibilidades de utilización del bagazo de sorgo dulce en mezcla con otros materiales, que actúan como activadores, para la obtención de compost, producto estable y de alto contenido en materia orgánica, para ser empleado en los propios cultivos de sorgo dulce, al objeto de disminuir en los mismos el empleo de pesticidas y fertilizantes sintéticos (se ha comprobado que la adición de materia orgánica a los suelos confiere a los cultivos una mayor resistencia).

En este trabajo se ensayan un gran número de mezclas de bagazo con otros aditivos, en la mayor parte de los casos residuos agrícolas, ganaderos y agroindustriales, que son sometidos en el laboratorio a una fermentación aerobia con el fin de estudiar comparativamente los posibles problemas asociados con dichas fermentaciones y determinar así los aditivos y mezclas más idóneas.

Asimismo, se analizarán las características físico-químicas y propiedades fitotóxicas de los productos finales.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Materias primas utilizadas:

Como material de partida se ha utilizado el bagazo de sorgo dulce, cuyas principales características se recogen en la tabla 2.

Además del bagazo de sorgo, las materias primas utilizadas como aditivos han sido las siguientes:

De naturaleza orgánica:

Residuos y subproductos de la industria agroalimentaria:

Bagazo de malta de cebada

Sangre

Estiércol

Lías de vino

Lodos de depuradora

Enzimas

Celulasas¹

Bioenzima²

De naturaleza inorgánica:

Nitrato amónico

Nitrato cálcico

Nitrato potásico

En la tabla 3 se muestran algunas características de los diferentes aditivos empleados.

¹Celulasas procedentes de *Trichoderma resei*

²Preparado Comercial de la firma "Procesos enzimáticos, S.A.", recomendado para acelerar el proceso de compostaje.

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del bagazo de sorgo (todos los componentes químicos referidos a base seca).

PARÁMETRO	VALOR
pH	6,3
Conductividad eléctrica (mS/cm)	2,7
Capacidad de retención de agua (%)	754
Materia orgánica (%)	95,2
Cenizas (%)	4,8
Celulosa (%)	41,7
Lignina Klason (%)	18,9
Análisis elemental:	
C (%)	45,4
N (%)	0,5
H (%)	6,1
S (%)	<0,01
P ₂ O ₅ (%)	0,08
K ₂ O (%)	0,2
Na ₂ O (%)	0,08
Ca (CaO) (%)	0,2
Mg (MgO) (%)	0,08
Pb (ppm)	20
Cu (ppm)	48
Zn (ppm)	35
Cr (ppm)	29
Cd (ppm)	<3,0
Fe (Fe ₂ O ₃) (%)	0,15
Mn (MnO) (%)	<0,2

Tabla 3. Caracterización de los diferentes aditivos orgánicos empleados.

Aditivo	Humedad (%)	MOT (%) ¹	Celulosa (%)	Lignina Klason (%)	C (%)	N (%)
Bagazo de cebada ²	80,0	83,8	26,1	7,3	51,0	5,0
Lías de vino ³	90,6	74,1	18,7	18,0	52,3	6,2
Sangre	-	95,5	-	-	39,0	12,2
Estiércol	-	25,0	10,3	5,1	30,0	2,0
Lodo de depuradora	-	34,9	12,8	n.d.	21,3	2,1
Bioenzima	9,6	100,0	-	-	42,2	3,0
Celulasa	3,5	100,0	-	-	18,9	9,5

¹ Materia orgánica total.

² Residuo de malta de la industria cervecera

³ Residuos de la fermentación del mosto en la obtención de vinos

Preparación de las mezclas de compostaje.

En una primera fase se han sometido a fermentación aeróbica ocho mezclas de bagazo de sorgo con diferentes relaciones C/N, desde 5 a 91 (valor del bagazo de sorgo sin aditivos), para averiguar cuales de estas relaciones son las más adecuadas para el proceso de compostaje. La sal amónica ha servido para ajustar las diferentes relaciones y se ha añadido en solución acuosa al 20% (ver tabla 4).

En una segunda fase se ha sometido a dicha fermentación veinte mezclas diferentes de bagazo de sorgo, y otros aditivos, empleándose en todas las mezclas una relación C/N inicial de 30. En la mayoría de los casos se ha añadido nitrato amónico para ajustar esta relación (ver tabla 5).

Los residuos de industrias agroalimentarias (muestras 1, 2, 3, 6, 7, 13, 14 y 15), explotaciones agropecuarias (muestras 8, 9 y 10) y de núcleos urbanos (muestras 16, 17 y 18) presentan un alto contenido en materia orgánica y el interés de su utilización radica en el aprovechamiento y reciclaje de ésta para la obtención de productos utilizables en agricultura. Los aditivos inorgánicos (muestras 19 y 20) son sales que se han utilizado para estudiar la influencia de estas sobre los procesos fermentativos, comparandola con los residuos orgánicos. Además, al no añadir en estas mezclas nitrato amónico, podemos comparar la utilización de diversas fuentes de nitrógeno. Los aditivos enzimáticos (muestras 4, 5, 11 y 12) se han utilizado a fin de comprobar su papel de aceleradores del proceso de fermentación aerobica.

Tabla 4. Características de las mezclas a compostar con diferentes relaciones C/N.

Muestra	Relación C/N
A	5
B	10
C	20
D	30
E	40
F	50
G	60
H	9

Tabla 5. Características de las mezclas de compostaje con diferentes aditivos a relación C/N 30.

Muestra	Aditivo y dosis
Control	-
1	Bagazo de malta 1%
2	Bagazo de malta 5%
3	Bagazo de malta 10%
4	Bioenzima 0,1%
5	Bioenzima 1%
6	Sangre 0,1%
7	Sangre 1%
8	Estiércol 1%
9	Estiércol 5%
10	Estiércol 10%
11	Celulasa 0,1%
12	Celulasa 1%
13	Lías de vino 1%
14	Lías de vino 5%
15	Lías de vino 10%
16	Lodo de depuradora 1%
17	Lodo de depuradora 5%
18	Lodo de depuradora 10%
19	NO ₃ K
20	(NO ₃) ₂ Ca.4H ₂ O

Condiciones y seguimiento del proceso de fermentación aeróbica de los residuos utilizados.

Las muestras se han fermentado en vasos de material de plástico de 500 ml de capacidad, perforados en el fondo y en los lados para facilitar la aireación y sobre una placa Petri para recoger los lixiviados, que se han ido añadiendo nuevamente a las correspondientes mezclas.

El proceso se ha llevado a cabo en cámara climática climatizada ASL a 37°C de temperatura y a saturación de humedad, durante 56 días.

Las muestras han sido removidas semanalmente para aumentar la aireación, a la vez que se han llevado a cabo un control visual y olfativo de las mismas, permitiendo obtener una idea aproximada de su estado de degradación. Los controles realizados han sido los siguientes:

Color

Estado de crecimiento, color y forma de micelio

Presencia/ausencia de olores anormales (amoníaco, metano, etc.)

Reducción de volumen

Cambio de textura "a visu"

Métodos analíticos:

Las muestras, una vez finalizado el proceso de fermentación aeróbica han sido sometidas a diversos análisis, tanto en fresco como en seco.

Las muestras secas, previamente a su análisis, han sido molidas en un molino Ciclotec utilizando malla de 1 mm.

Determinación del grado de humedad:

Realizado sobre muestra fresca y sobre bagazo de sorgo. Se ha pesado una cantidad conocida de muestra (2.5 g y 15 g en el caso del bagazo, y la totalidad de la masa en las muestras compostadas). Posteriormente se han sometido a secado en estufa a 60°C hasta peso constante.

Determinación de la capacidad de retención de agua.

Realizado sobre el bagazo húmedo, expresa la cantidad de agua que es capaz de retener una muestra una vez saturada de ella y en condiciones de drenaje libre.

Se deja saturar de agua la muestra durante 24 horas, y se deja drenar libremente, a presión atmosférica durante otras 24 horas con objeto de eliminar el agua gravitacional. Por último se pesa (p') y se deja secar en estufa a 105°C hasta peso constante (p''). La capacidad de retención de agua a presión atmosférica (1/3 bar) es el volumen de agua contenido en la masa (p) de la muestra seca: $\% \text{retención} = 100 \times (p - p'')/p''$.

Determinación del pH.

Se ha determinado en los extractos acuosos. Se ha realizado en una proporción de 1/10 (sólido/líquido). Las mezclas se han agitado en un agitador orbital Braun, modelo CERTOMAT H, a temperatura ambiente y 180 r.p.m. durante 1 hora. Tras la extracción las muestras se han centrifugado a 4.500 r.p.m. durante 30 minutos, y el pH se ha determinado en el sobrenadante utilizando un pHmetro Crison modelo Digit 73.

Determinación de la conductividad.

Realizada por el mismo procedimiento extractivo que para la determinación del pH, midiendo con un conductímetro Crison modelo 525 sobre los extractos acuosos.

Determinación de color

Realizadas sobre las muestras secas. Como consecuencia de la humificación de las muestras sufre un ennegrecimiento. El análisis de éste es así de utilidad para determinar el grado de fermentación alcanzado.

Se ha medido los colores de las muestras por comparación con los patrones contenidos en las "Munsell Soil Color Charts", donde se expresan tres parámetros:

HUE. Matiz o intensidad espectral dominante. Se ha utilizado el HUE 10 YR.

VALUE. Pureza del color. Cuanto más negra sea la muestra el "value" será menor.

CHROMA. Indica la intensidad o contribución del color. Cuanto más puro sea el color de la muestra el valor de "chroma" será mayor.

Determinación de cenizas.

Se ha realizado en horno mufla a 550°C durante 8 horas.

Determinación del nitrógeno total.

El porcentaje de nitrógeno total se ha determinado mediante el método Kjeldahl, que consiste en

la valoración del NH_4^+ formado tras la digestión ácida en caliente de la muestra.

Determinación de celulosa

El contenido de celulosa se ha determinado a partir del contenido en glucosa de las muestras una vez efectuada una hidrólisis total de la celulosa .

La hidrólisis cuantitativa de la celulosa se ha basado en el método aplicado por Puls y col (1985) utilizando 100 mg de muestra seca y 1 ml de ácido sulfúrico 12 M. La determinación de la glucosa liberada tras la hidrólisis se ha realizado utilizando el método de la hexoquinasa glucosa 6-fosfato deshidrogenasa (Boehringer Mannheim ref. 263826).

Determinación de lignina

Se ha determinado según norma Tappi T 222 os-74.

Determinación del grado de descomposición.

Determinado por calcinación en horno mufla a 550°C de la materia orgánica resistente a las hidrólisis sucesivas con ácido sulfúrico concentrado en frío y en caliente según el método empleado para la determinación de celulosa.

$$\text{Grado de descomposición} = \frac{(\text{C}-\text{D}) \times \text{B} \times 10^4}{\text{C} \times \text{A} \times \text{E}}$$

A= peso del residuo sometido a calcinación.

B= peso del residuo después de calcinado

C= peso del residuo resistente a la hidrólisis

D= peso inicial de la muestra

E= contenido en materia orgánica de la muestra (%MOT)

Análisis elemental

Se ha determinado carbono, nitrógeno e hidrógeno en la División del Química del CIEMAT en un microanalizador Carlo-Erba CHN 1108.

Determinación de potasio.

Determinado en la División de Química del CIEMAT por fotometría de emisión de llama en las cenizas de las muestras.

Determinación de macronutrientes, micronutrientes y elementos potencialmente tóxicos.

Determinados en la División de Química del CIEMAT mediante espectroscopía con plasma de emisión acoplada.

Ensayos biológicos de toxicidad.

Se ha estimado la germinación y crecimiento de las radículas de semillas de *Lepidium sativum* L. (Jorba & Trillas, 1983; Hirai *et al.*, 1983). Incubadas en oscuridad a 27°C en placas Petri con fondo de papel Whatman nº3 a las que se han añadido 6 ml. De los extractos de las diferentes muestras en relación 1/10 (p/v) y obtenidas por el mismo método para la determinación del pH.

El ensayo se ha realizado para las muestras fermentadas en fresco y seco. Se han dispuesto 30 semillas por ensayo y las mediciones se han realizado a las 48 horas de la incubación, deteniéndose el desarrollo de las radículas con adición de etanol (50% v/v).

Los índices de germinación se han obtenido por comparación de los porcentajes de germinación y longitud media de las radículas de los ensayos con extractos de las diferentes muestras y de los controles con agua destilada, utilizando la siguiente expresión.

$$\text{Índice de germinación} = \frac{\% \text{germinación} \times \text{longitud de las radículas}}{\% \text{germinación en H}_2\text{O} \times \text{longitud media de las radículas en H}_2\text{O}}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la relación C/N óptima

Los resultados de los ensayos realizados para conocer la relación C/N óptima para la fermentación aeróbica del bagazo de sorgo se muestran en las tablas 6 y 7 y en la figura 3.

Se observa que el pH final es ligeramente ácido o neutro, debido a que el tipo de fermentación empleada, a 37°C, se puede asimilar a la fase acidogénica de un proceso de compostaje, en la que el pH puede bajar hasta 5 debido a la citada producción de ácidos orgánicos.

La conductividad a su vez es máxima a C/N 5 y mínima a C/N 91, con una correlación negativa entre ambos parámetros. Ello podría explicarse por las diferentes cantidades aportadas a las mezclas de sal nitrogenada para alcanzar la relación C/N óptima.

En cuanto a las pérdidas de materia seca, degradación de materia orgánica y degradación de celulosa se observan sus máximos a un relación C/N 30, constatándose que a la degradación de celulosa corresponde más de la mitad de la materia orgánica que ha sufrido este proceso. Además existe una gran diferencia en cuanto al grado de descomposición de la celulosa a las diferentes C/N, que es del 2,3% a C/N 5 (mínimo) y del 71,6% a C/N=30 (máximo). También a relación C/N 30 se produce mayor degradación de lignina, comprobándose que a partir de una razón C/N 60 no se observan pérdidas apreciables de este componente.

Asimismo a relación C/N 30 los grados de mineralización y de estabilización de la materia orgánica, representados por el % de cenizas y el grado de descomposición (GD) respectivamente, se encuentran entre los valores más altos alcanzados en la experiencia realizada.

Por último, señalar que a dicha relación C/N el índice de germinación (Ig) esta por encima de 1, con lo que se deduce que el producto final no existen sustancias fitotóxicas. Así, los resultados obtenidos, se puede concluir que la relación C/N óptima para la fermentación del bagazo de sorgo se situaría sobre el valor de 30. Resultados similares fueron obtenidos por otros autores, así Rodrigues *et al.* (1995) recomiendan una relación inicial C/N de 30 cuando realizan el compostaje de bagazo de sorgo con lodos de depuradora.

Tabla 6. Parámetros indicativos del grado de fermentación aeróbica de las diferentes relaciones C/N.

Muestra	Relación C/N	Pérdida M.S.(%)	Degradación MOT (%)	Degradación celulosa (%)	Degradación lignina (%)	Relación C/N final
A	5	27,8	10,9	2,3	4,5	9,1
B	10	31,5	29,5	24,6	5,2	9,0
C	20	40,6	44,7	53,7	6,2	13,0
D	30	52,6	56,6	71,6	11,2	13,0
E	40	45,9	51,5	69,9	3,8	15,4
F	50	33,6	40,2	54,5	0,8	20,1
G	60	20,0	27,1	32,0	0,2	24,5
H	91	8,9	16,6	11,7	0,0	38,8

Tabla 7. Parámetros indicativos de la calidad del compost obtenido a diferentes relaciones C/N de partida.

Muestra	Relación C/N	pH	Conductividad mS/cm	Cenizas (%)	Celulosa (%)	Lignina (%)	GD (1)	IG (2)
A	5	5,25	15,72	5,9	52,5	20,0	21,3	0,23
B	10	5,38	11,44	9,6	48,2	23,5	26,0	0,13
C	20	5,91	8,08	15,6	37,9	28,4	33,7	0,32
D	30	5,63	4,46	15,3	28,2	34,4	39,3	1,01
E	40	6,86	4,15	16,1	22,8	33,0	32,9	0,32
F	50	6,83	3,56	15,2	28,2	27,9	39,4	0,45
G	60	6,99	3,87	13,9	35,2	23,4	27,2	0,74
H	91	7,13	3,28	12,9	35,6	20,8	23,8	0,60

(1) Grado de descomposición.

(2) Índice de germinación.

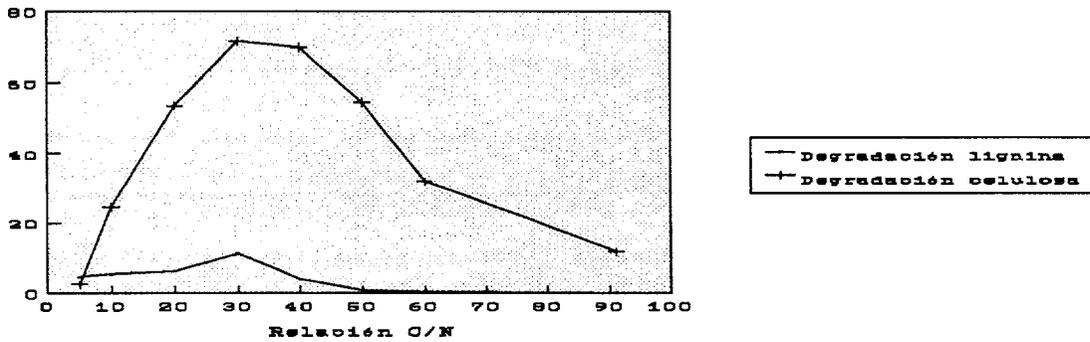
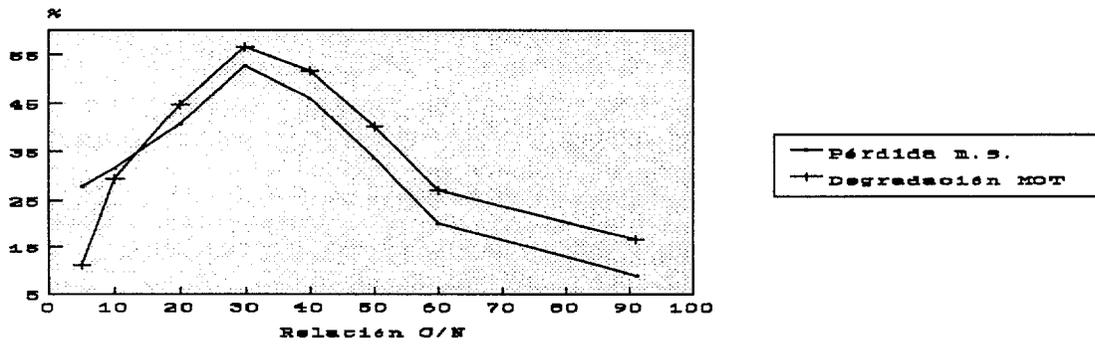
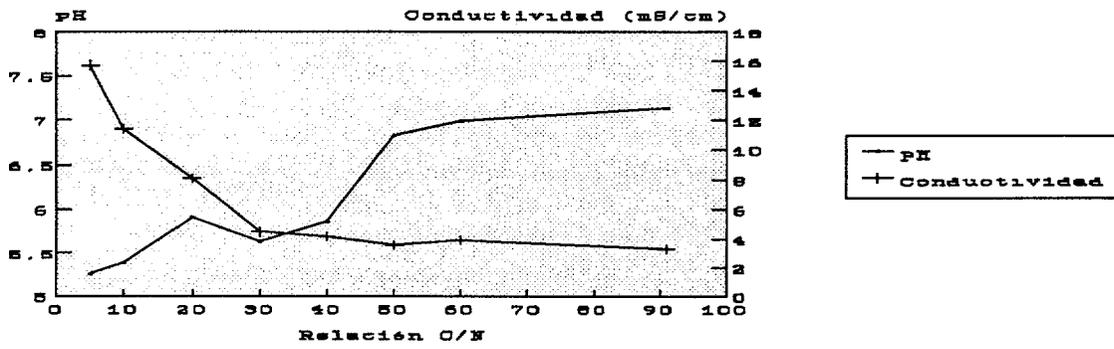


Figura 3. Relaciones entre los diversos parámetros indicativos del compostaje y la relación C/N.

Determinación de las mezclas mas adecuadas.

En la segunda fase de este estudio se ha probado diferentes mezclas de bagazo de sorgo con otros aditivos, en distintas proporciones y siempre con una relación C/N de partida para la fermentación aerobia de 30, según los resultados de optimización de esta variable obtenidos en la fase anterior.

Como resultados de las experiencias se observa que de entre los aditivos utilizados los que producen una mayor degradación de las mezclas de partida son el nitrato potásico y las lías de vino, y , en menor medida, el bagazo de malta y los lodos de depuradora (ver tabla 8).

Los resultados obtenidos muestran que las pérdidas de materia seca están comprendidas entre el 46% y el 63% aumentando en general, con la dosis de aditivo añadidas. Los máximos valores se encontraron cuando las muestras fueron compostadas con lías de vino o con nitrato potásico. Los valores más bajos se obtuvieron con nitrato cálcico como aditivo. En experimentos realizados anteriormente con este sustrato (bagazo), partiendo de una relación inicial C/N de 20 se obtuvieron pérdidas de materia seca comprendidas entre el 25% y el 60% dependiendo del aditivo utilizado, encontrando los valores mas altos cuando el compostaje se realizó con mezclas de bagazo y lías de vino, mientras que los valores más bajos se obtuvieron cuando se utilizó nitrato potásico y nitrato cálcico como fuente de nitrógeno (Negro *et al.*, 1994).

La relación C/N final de los productos de fermentación se ha producido notablemente en todos los casos ensayados, indicando la existencia de procesos de fermentación.

Otro dato significativo observado es el efecto del nitrato potásico como aditivo en las cantidades empleadas, que parece actuar como activador del metabolismo microbiano, observándose un incremento generalizado en todos los parámetros degradativos, cuyos valores en este caso se sitúan entre los más altos de las experiencias realizadas en un 39,6% y las pérdidas de nitrógeno observadas con un valor del 25%.

En las mezclas con bagazo de sorgo y las lías de vino podemos apreciar que existe una relación entre los parámetros indicativos del grado de fermentación y la cantidad de aditivo utilizado, observándose un aumento generalizado de los valores de éstos conforme aumenta el porcentaje de lías de vino en las mezclas.

Un efecto similar se observa cuando el aditivo utilizado es el bagazo de malta, aunque de forma más moderada.

También cuando lo que añadimos son los lodos de depuradora aumentan los valores de algunos

parámetros indicativos del grado de fermentación alcanzado con respecto al control. Así, se dan degradaciones más altas en materia orgánica total y en celulosa.

Un parámetro a tener en cuenta por su gran importancia es el de la pérdida de nitrógeno, y se admite que en un proceso de compostaje no debe de superar nunca el 20%. En la experiencia realizada se observa que en las mezclas de bagazo de sorgo y nitrato potásico y como consecuencia de la activación de la acción de los microorganismos se producen pérdidas demasiado altas de este elemento. Cuando el aditivo empleado son las lías de vino los porcentajes entran dentro de los límites razonables de pérdida. Por el contrario, si empleamos lodos de depuradora o estiércol las pérdidas son pequeñas, inferiores a un 5% del nitrógeno inicial en la mayoría de los casos estudiados, y por tanto muy favorables desde el punto de vista del proceso.

Aunque la adición de estiércol a las mezclas no parece traducirse en una aceleración de la fermentación, esta característica de baja pérdida de nitrógeno permite que su utilización pueda considerarse de interés.

Si observamos las características físico-químicas de los productos de la fermentación aeróbica de las mezclas utilizadas (tabla 9) podemos ver que el pH en todas las muestras es ligeramente ácido (excepto en las mezclas con nitrato cálcico o potásico) como consecuencia del desarrollo de la fermentación en una fase acidogénica. También se advierte que los valores de conductividad entran dentro de los límites considerados como aceptables para los compost "maduros", dándose las concentraciones más bajas de sales en los productos de las mezclas con lías de vino y lodos de depuradora.

En un proceso de compostaje se debe tender al mayor grado de estabilización de la materia orgánica posible, para evitar la presencia en el compost de productos potencialmente tóxicos si éste se va a utilizar en agricultura. Así, se recomienda que el grado de descomposición (GD) alcanzado durante el compostaje, tal y como se ha determinado en este estudio, supere el 20% (Soliva *et al.*, 1991).

Tabla 8. Parámetros indicadores del grado de fermentación obtenido en las diferentes mezclas.

Muestra	Tipo de aditivo y dosis	Pérdida de m.s. (%)	Degradación MOT (%)	Degradación de celulosa (%)	Degradación de lignina (%)	Pérdida C (%)	Pérdida N (%)	Color	Relación C/N final
Control	-----	54,8	56,6	78,3	11,2	53,8	0,0	V3C1	13,0
1	Bagazo de malta 1%	54,8	59,2	68,4	11,3	58,4	10,2	V3C2	13,8
2	Bagazo de malta 5%	55,8	60,3	72,4	12,0	58,4	5,9	V3C1	13,3
3	Bagazo de malta 10%	57,5	62,6	73,9	17,2	62,2	7,6	V2C2	12,4
4	Bioenzima 0,1%	52,4	56,5	64,0	14,2	54,0	6,3	V2C1	14,5
5	Bioenzima 1%	55,2	60,3	67,6	17,4	59,0	14,1	V2C2	12,8
6	Sangre 0,1 %	52,2	56,9	64,1	11,7	55,3	0,0	V3C2	12,8
7	Sangre 1%	56,5	61,1	71,0	20,0	59,2	6,1	V2C2	14,2
8	Estiércol 1%	49,4	55,6	69,1	22,0	52,9	0,0	V3C2	14,0
9	Estiércol 5%	45,7	52,8	62,3	9,9	53,5	0,0	V3C3	13,7
10	Estiércol 10%	53,1	58,1	69,3	18,2	59,1	7,6	V3C2	13,5
11	Celulasa 0,1%	51,1	56,4	67,1	6,7	53,6	2,1	V3C1	14,3
12	Celulasa 1%	50,3	54,9	66,4	8,9	54,3	10,2	V3C2	14,8
13	Lías de vino 1%	53,8	57,2	69,7	26,0	56,1	6,1	V3C2	13,7
14	Lías de vino 5%	58,0	61,4	75,0	23,7	60,0	10,6	V3C2	14,1
15	Lías de vino 10%	61,9	65,7	80,7	28,2	67,0	19,6	V3C2	12,5
16	Lodo de depuradora 1%	52,5	56,4	70,7	11,8	56,2	2,0	V3C2	13,5
17	Lodo de depuradora 5%	53,3	59,3	75,5	7,7	57,4	0,0	V3C1	12,6
18	Lodo de depuradora 10%	51,3	58,1	74,0	14,0	59,6	3,8	V3C1	12,7
19	Nitrato potásico	62,2	63,7	73,5	39,6	64,4	25,0	V3C2	14,2
20	Nitrato cálcico	46,4	51,3	55,8	12,9	47,7	2,1	V3C3	15,8

Tabla 9 . Características físico-químicas de los productos de fermentación aeróbica de las diferentes mezclas.

Muestra	Tipo de aditivo y dosis	pH	Conductividad mS/cm	Cenizas (%)	Celulosa (%)	Lignina (%)	GD	IG
Control	-----	5,63	6,61	15,3	25,4	34,4	40,6	1,03
1	Bagazo de malta 1%	6,11	5,68	15,9	28,5	36,0	42,8	0,80
2	Bagazo de malta 5%	6,24	6,31	17,0	25,0	35,8	43,1	1,43
3	Bagazo de malta 10%	5,78	6,17	18,5	24,5	34,1	41,9	2,22
4	Bioenzima 0,1%	6,03	5,68	15,3	30,7	33,2	39,1	2,05
5	Bioenzima 1%	6,42	6,05	17,7	29,1	33,6	48,8	1,76
6	Sangre 0,1 %	6,00	6,31	16,6	30,4	33,9	40,7	2,26
7	Sangre 1%	6,31	5,80	16,9	26,9	33,6	40,5	1,09
8	Estiércol 1%	7,06	5,86	19,3	24,6	28,1	34,9	1,23
9	Estiércol 5%	6,04	5,91	22,2	27,2	29,4	37,8	1,57
10	Estiércol 10%	6,15	7,11	22,6	25,1	30,0	38,8	1,16
11	Celulasa 0,1%	6,15	5,92	17,4	27,3	35,0	42,4	1,90
12	Celulasa 1%	6,33	6,00	15,6	27,2	33,5	39,7	1,84
13	Lías de vino 1%	6,41	5,41	14,9	26,4	29,5	34,7	0,78
14	Lías de vino 5%	6,35	5,47	16,7	23,6	33,5	40,2	0,71
25	Lías de vino 10%	6,47	6,64	19,9	19,7	35,0	43,7	0,88
16	Lodo de depuradora 1%	6,26	5,55	15,6	24,8	34,0	40,3	0,69
17	Lodo de depuradora 5%	6,65	6,21	21,5	20,6	35,9	45,8	0,42
18	Lodo de depuradora 10%	6,74	4,71	23,1	20,8	32,4	42,1	1,36
19	Nitrato potásico	7,58	10,59	16,5	26,7	27,6	33,0	0,20
20	Nitrato cálcico	6,99	7,32	19,7	32,0	28,5	35,1	1,04

Como puede observarse en la tabla 9, todas las muestras presentan un grado de descomposición por encima de este límite, dándose los valores más elevados en los productos de las mezclas con lodos de depuradora y bagazo de malta y, en menor medida, con lías de vino.

En lo referente al contenido en celulosa y lignina de las muestras tras el proceso de fermentación, cabe señalar que éste es variable. A este respecto es interesante reseñar que la celulosa es un material que puede sufrir degradaciones posteriormente por los microorganismos en el suelo, ligadas a un consumo de nitrógeno del mismo, produciéndose inmovilización del nitrógeno edáfico. Así, será interesante que en los compost los porcentajes de celulosa sean lo más bajos posibles.

La lignina al contrario de lo que ocurre con la celulosa, es un polímero cuya adición al suelo es favorable por su elevada capacidad de retención de agua, y porque es el principal precursor en la formación de los ácidos húmicos, tan importantes para el equilibrio del mismo. Durante el compostaje la lignina sufre oxidaciones e incorporaciones de nitrógeno, si bien su degradación es, en general, mucho más limitada que la de la celulosa y otros componentes de la materia orgánica.

En los ensayos realizados puede observarse que los porcentajes de celulosa más bajos los presentan las muestras con lías de vino y lodos de depuradora que a su vez contienen las fracciones más altas de lignina. Rodríguez *et al.* (1995) observaron también una escasa degradación de la celulosa durante el compostaje del bagazo de osrigo con lodo de depuradora.

Otra característica es la cantidad de cenizas de las muestras. Así, se dan mayores porcentajes en las mezclas con estiércol y con lodos de depuradora. En menor medida ocurre en las que llevaban como aditivo nitrato cálcico o lías de vino.

De estas cenizas se puede concluir el valor fertilizante de estos sustratos (ver tabla 10) que, aunque generalmente es bajo, es comparable al de algunos estiércoles en cuanto a los macronutrientes, y superior al de las turbas (ver tabla 11)

También su contenido en nutrientes está dentro del rango de valores que muestran algunos abonos comerciales (Pérez García *et al.*, 1986).

En cuanto al contenido en metales pesados, todas las muestras presentan unos valores considerablemente inferiores a los de los límites permitidos por la legislación mvigente (ver tabla 12 y tabla 13), cosa que, por ejemplo, no ocurre con los lodos citados en la tabla 11, que no podrían ser utilizados con fines agrícolas.

En los ensayos de fitotoxicidad realizados mediante el bioensayo de germinación propuesto por Zucconi (1981) y expresado por el índice de germinación se observa que, excepto en las mezclas con nitrato potásico, podemos considerar que los niveles de estas sustancias son lo suficientemente bajos como para no afectar a la germinación de las semillas empleadas en la experimentación (se considera un índice de germinación aceptable cuando su valor se encuentra por encima de 0,5), observándose en uno de los ensayos realizados con lodos un resultado ligeramente inferior al valor mencionado (ver tabla 9). Bajos índices de germinación fueron también observados cuando se utilizó como aditivo nitrato potásico en fermentaciones con una relación inicial de 20 (Negro *et al.*, 1994).

Tabla 10. Contenido en nutrientes de las diferentes mezclas empleadas después de la fermentación (datos referidos a base seca)

Muestra	Tipo de aditivo y dosis	MACRONUTRIENTES						MICRONUTRIENTES			
		N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)	Na(%)	Fe(ppm)	Mn(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)
Control	-----	3,3	0,2	1,4	0,8	0,2	0,5	4890	72	67	120
1	Bagazo de malta 1%	3,0	0,2	1,4	0,7	0,2	0,5	3700	66	66	120
2	Bagazo de malta 5%	3,2	0,2	1,4	0,8	0,2	0,5	5650	84	67	105
3	Bagazo de malta 10%	3,3	0,2	1,4	1,1	0,3	0,5	4550	99	88	130
4	Bioenzima 0,1%	2,9	0,2	1,4	1,0	0,3	0,5	4525	120	85	125
5	Bioenzima 1%	3,2	0,2	1,2	1,0	0,2	0,5	3700	77	64	105
6	Sangre 0,1 %	3,2	0,2	1,6	0,7	0,2	0,5	4550	66	78	105
7	Sangre 1%	2,9	0,2	1,6	0,9	0,2	0,6	5975	93	95	120
8	Estiércol 1%	2,9	0,2	1,6	1,0	0,2	0,5	5125	93	105	140
9	Estiércol 5%	2,8	0,2	1,6	1,0	0,2	0,5	4150	86	68	175
10	Estiércol 10%	2,9	0,2	2,1	1,2	0,3	0,5	4125	100	77	120
11	Celulasa 0,1%	2,9	0,2	1,5	0,9	0,2	0,5	4375	93	120	145
12	Celulasa 1%	2,7	0,2	1,4	0,8	0,2	0,5	7525	100	86	115
13	Lías de vino 1%	3,1	0,2	1,5	0,7	0,2	0,5	3525	73	62	100
14	Lías de vino 5%	3,0	0,2	1,5	0,7	0,2	0,4	3675	63	59	100
15	Lías de vino 10%	3,1	0,2	2,6	1,0	0,3	0,6	5125	91	82	160
16	Lodo de depuradora 1%	3,0	0,2	1,4	0,8	0,2	0,5	7675	100	94	120
17	Lodo de depuradora 5%	3,2	0,3	1,7	0,9	0,3	0,6	8100	105	165	165
18	Lodo de depuradora 10%	3,0	0,3	1,4	1,1	0,3	0,5	7050	125	175	130
19	Nitrato potásico	2,7	0,2	6,0	0,8	0,2	0,5	5475	87	82	130
20	Nitrato cálcico	2,6	0,1	1,0	1,8	0,1	0,3	18300	145	68	135

Tabla 11. Comparación del contenido en nutrientes minerales de los compost obtenidos y otros productos utilizados como abonos.

	MACRONUTRIENTES				OLIGOELEMENTOS				
	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
Abonos orgánicos									
Comerciales (1)	1,7-2,7	0,1-1,3	0,2-9,2	0,9-7,3	0,2-9,7	10031-28374	19-96	92-303	50-215
Compost RSU (2)	1,4	0,4	0,7	8,7	0,8	5900	2-15	263	495
Lodo de depuradora (media) (3)	3,9	2,5	0,4	4,9	0,5	13000	1.2-10	380	2790
Estiércoles (3)	0,2-1,6	0,1-0,5	0,3-0,8	0,4	0,1	-----	18-172	117-969	35-566
Turba (4)	1,4	0,1	0,2	4,9	0,4	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
Compost con lías	3,0-3,1	0,2	1,4-2,2	0,7-1,0	0,2-0,3	3525-5125	100-160	63-91	59-82
Compost con bagazo	3,0-3,3	0,2	1,2	0,7-1,1	0,2-0,3	3700-5650	105-130	66-99	66-88
Compost con lodos	3,0-3,2	0,2-0,3	1,2-1,4	0,8-1,1	0,2-0,3	7050-8100	120-165	100-125	94-175
Compost con estiércol	2,8-2,9	0,2	1,3-1,7	1,0-1,2	0,2-0,3	4125-5125	120-175	86-100	68-105

(1) Pérez García *et al.* (1986)

(2) A partir de residuos de la ciudad de Granada (Gallardo Lara and Nogales, 1987)

(3) Pérez García & Iglesias Jiménez (1984)

(4) Díaz Burgos (1990)

Tabla 12 . Límites permitidos en niveles de metales pesados para lodos de depuradora a aplicar sobre suelos agrícolas (Directiva 86/278/CEE)

PARÁMETRO	VALORES LIMITES (ppm)	
	SUELOS CON pH < 7	SUELOS CON pH > 7
Cadmio	20	40
Cobre	1000	1750
Níquel	300	400
Plomo	750	1200
Zinc	2500	4000
Mercurio	16	25
Cromo	1000	1500

Tabla 13. Contenidos en metales pesados de las muestras.

Muestra	Cd(ppm)	Cr(ppm)	Ni(ppm)	Cu(ppm)	Zn(ppm)	Pb(ppm)
Control	<3.0	44	24	120	67	20
1	<3.0	37	21	120	66	10
2	<3.0	77	26	105	67	17
3	<3.0	25	13	130	88	23
4	<3.0	55	27	125	85	22
5	<3.0	29	17	105	64	17
6	<3.0	28	18	105	78	17
7	<3.0	41	19	120	95	26
8	<3.0	44	30	140	105	30
9	<3.0	29	18	175	68	11
10	<3.0	26	12	120	77	12
11	<3.0	20	135	145	120	22
12	<3.0	29	19	115	86	22
13	<3.0	20	9.4	100	62	27
14	<3.0	36	20	100	59	18
15	<3.0	31	16	160	82	14
16	<3.0	54	28	120	94	40
17	<3.0	35	23	165	165	39
18	<3.0	35	17	130	175	61
19	<3.0	26	17	130	82	33
20	<3.0	115	68	135	68	27

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se puede concluir:

- 1.- Que la relación C/N óptima para la fermentación aeróbica del bagazo de sorgo dulce se sitúa en un valor entorno a 30.
- 2.- Que la adición de una fuente nitrogenada al bagazo de sorgo dulce acelera el proceso de fermentación aeróbica de las mezclas.
- 3.- Que el nitrato potásico actúa como activador general de los procesos metabólicos de los microorganismos que intervienen en el proceso estudiado, tal y como puede deducirse de los mayores índices de degradación de la materia orgánica detectados en los ensayos realizados, aunque durante el compostaje se producen grandes pérdidas de nitrógeno y, en las pruebas de fitotoxicidad realizadas, los índices de germinación están por debajo de los niveles aconsejados.
- 4.- Que en las condiciones estudiadas, las mezclas más interesantes para este tipo de fermentación aeróbica son las que emplean como aditivos lías de vino y el bagazo de malta, y en menor medida los lodos de depuradora y estiércol.
- 5.- Que la "Bioenzima" (sustrato comercial) utilizada como aditivo en las proporciones y condiciones ensayadas en este estudio no produce mejoras significativas sobre el proceso de fermentación estudiado, ni tampoco en lo referente a la calidad de los productos finales, con respecto a los demás aditivos empleados. Esta misma conclusión es extensible a la utilización de la celulasa empleada en el estudio.
- 6.- Que los productos obtenidos mediante el proceso de fermentación aeróbica empleado presentan unas propiedades físico-químicas y biológicas, en cuanto a su fitotoxicidad, típicas de compost maduros, si bien no se han ensayado sus características sanitarias.
- 7.- Que los productos obtenidos de la fermentación aeróbica del bagazo de sorgo dulce mezclado con los aditivos considerados tienen un gran valor como enmienda orgánica utilizable en agricultura, por su alto contenido en materia orgánica, superior al 76%, y con un valor fertilizante potencial superior en algunos casos al de algunos abonos orgánicos tradicionalmente utilizados en agricultura.
- 8.- Que el bagazo de sorgo dulce es un sustrato adecuado para el compostaje en mezcla con una gran variedad de aditivos nitrogenados, que es preciso añadir debido a la baja relación C/N inicial de este material.

BIBLIOGRAFÍA

- Baca, M.T., I.C. Delgado, a.J. Sánchez-Raya and F. Gallardo-Lara. (1990). Comparative use of cress germination and physiological parameters of *Helianthus annuus* L. to assess compost maturation. *Biological Wastes* **33**, 251-261.
- Ciavatta, C., M. Govi, L. V. Antisari and P. Sequi. (1990). Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. *Journal of Chromatography* **509**, 141-146.
- Crawford, J.H. (1985). Composting of Agricultural Wastes. In: *Biotechnology. Applications and Research*. Eds. P.N. Cheremisinoff and R.P. Ouellette, Technomic Publishing Company, Inc., p. 68-77.
- Costa, F., C.García, T. Hernández and A. Polo. (1991). Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. Ed. CSIC
- De Bertoldi, M; G. Vallini and A. Pera. (1984). Technological aspects of composting including modelling and microbiology. In *Composting of Agricultural Wastes*, Ed. J.K.R. Gasser. Elsevier Science Publishers. London & New York, p. 27-40.
- De Mobili, M. And F. Petrussini. (1988). Humification Index (HI) as evaluation of the stabilization degree during composting. *J. Ferment. Technol.* **66** (5), 577-583.
- Díaz, M.A. (1990). Compostaje de lodos residuales: aplicación agronómica y criterios de madurez. Tesis UAM.
- Fermor, T.R. (1993). Applied aspects of composting and bioconversion of lignocellulosic materials: an overview. *International Biodeterioration & Biodegradation* **31**, 87-106.
- Gallardo-Lara, F. And R. Nogales. (1987). Effect of the application of town refuse compost on the soil-plant system: a review. *Biological Wastes* **25**, 219-226.
- Harada, Y. and A. Inoko. (1980a). The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity. *Soil Sci. Plant Nutr.* **26** (1), 127-134.
- Harada, Y. and A. Inoko. (1980b). Relationships between cation-exchange capacity and degree of maturity of city refuse compost. *Soil Sci. Plant Nutr.* **26** (3), 352-362.
- Harada, Y.; A. Inoko, M. Tadaki and T. Izawa. (1981). Maturing process of city refuse composts. *Soil Sci. Plant Nutr.* **27** (3), 357-364.
- Haug R.T. (1980). compost Engineering: principles and practice. Ed. A. Arbor Science. Michigan USA, 655 p.
- Hirai, M.F., V. Chanyasak and H. Kubota. (1983). A standard measurement for composting maturity. *BioCycle* (Nov/Dec.), 54-56.
- Iglesias Jiménez, E. and Pérez García, V. (1989). Evaluation of city refuse compost maturity: a review. *Biological Wastes* **27**, 115-142.

- Jorba, J. and M.I. Trillas. (1983). Rapid bioassay to control maturity in pine bark compost. *Acta Horticulturae*, **150**, 67-73.
- Morel, J.L., F. Colin, J.C. Germon, P. Giardin and C. Juste (1985). Methods for evaluation of the maturity of municipal refuse compost. In: *Composting of Agricultural and other Wastes*. Ed. J.K.R. Gasser. Elsevier Science Publishers. London & New York, p. 56-72.
- Mustin, M. (1987). *Le compost, gestion de la matière organique*. Editions F. Dubusc. Paris.
- Negro, M.J., M.L. Solano, J. Carrasco and M.J Blanco. (1994). Laboratory composting assays of sweet sorghum bagasse with different additives. In: *Biomass for energy and industry. 7th E.C. Conference*. Eds. D.O. Hall, G. Grassi and H. Scheer. Ponte Press, Bochum, p. 1110-1115.
- Nogales, R. and F. Gallardo-Lara. (1990). Criterios para la determinación del grado de madurez de los composts de basura urbana. En: *Actas del II Congreso Nacional. Recuperación de Recursos de los Residuos. Tecnologías*. Octubre 15-20. Soria. España. Asociación IDA, p. 99-111.
- Puls, J.; K. Poutanen, H.U. Körner and L. Viikari. (1985). Biotechnical utilization of wood carbohydrates after steaming pretreatment. *Appl. microbiol. Biotechnol*, **22**, 416-423.
- Rodrigues, a.M., L.J. Ferreira, A.L. Fernando, P. Urbano and J. Santos Oliveira. (1995). Co-composting of sweet sorghum biomass with different nitrogen sources. *Bioresource Technology* **54**, 21-27.
- Sequi, P., M. De Mobili, L. Leita and G. Cercignani. (1986). A new index of humification. *Agrochimica* **XXX** (1-2), 175-179.
- Soliva, M., J. Saña, J. Valero, Florensa, P. And Giró, F. (1990). Caracterización del compost producido por las plantas de compostaje de Cataluña. I Congreso Internacional de Química de la ANQUE. Residuos Sólidos y líquidos: su mejor destino. Diciembre. Puerto de la Cruz.
- Zucconi, F.; M. Forte and M. De Bertoldi. (1984). Phytotoxins during stabilization of organic matter. In: *Composting of Agricultural and other Wastes*. Ed. J.K.R. Gasser. Elsevier Science Publishers. London & New York, p. 73-85.

