

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

Informe Final de Práctica de Especialidad

**LA LOMBRICULTURA COMO MODELO ALTERNATIVO PARA EL
MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE UNA
COMUNIDAD URBANA EN SAN SEBASTIÁN, SAN JOSÉ**

Federico Elizondo Coto

**Cartago, Costa Rica
Enero del 2004**

LA LOMBRICULTURA COMO MODELO ALTERNATIVO PARA EL MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE UNA COMUNIDAD URBANA EN SAN SEBASTIÁN, SAN JOSÉ

Informe Final de Práctica de Especialidad sometido a consideración ante la Escuela de Biología del Instituto Tecnológico de Costa Rica por Federico Elizondo Coto como requisito parcial para la obtención del grado de Bachiller en Ingeniería en Biotecnología

Ing. Patricia Rivera Figueroa MBA
Servicios Generales e Institucionales
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Asesora de Práctica de Especialidad

M. Sc. Nancy Hidalgo Dittel
Escuela de Ingeniería Agrícola
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Miembro del Tribunal

Ing. Oscar Méndez Calvo
Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica
Instituto Nacional de Aprendizaje

Miembro del Tribunal

RESUMEN

LA LOMBRICULTURA COMO MODELO ALTERNATIVO PARA EL MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE UNA COMUNIDAD URBANA EN SAN SEBASTIÁN, SAN JOSÉ

Federico Elizondo Coto ♦

El manejo de los residuos sólidos urbanos es una labor que necesita enfocarse en diversos planos y plantea la necesidad de realizar diversos esfuerzos con el propósito de solventar las oportunidades de mejora que este presenta. La lombricultura es una biotecnología que en los últimos años se ha desarrollado considerablemente y se ha encontrado que los desechos domésticos surgen como un ámbito de extensión de la actividad. El proyecto consistió en desarrollar en una comunidad urbana de San Sebastián, San José, un modelo alternativo de tratamiento biológico mediante la lombricultura para el manejo de los desechos sólidos orgánicos. Se realizaron las labores de concientización ambiental, clasificación y separación de los desechos orgánicos (biodegradables), recolección y posterior manejo. Se determinó necesario un pretratamiento de compostaje aeróbico para permitir los trabajos de las lombrices *Eisenia foetida* sobre los desechos. El compostaje fue por 6 semanas logrando acondicionar la materia orgánica para el lombricultivo ejecutado por 4 meses en las instalaciones construidas también bajo el alcance del proyecto. Al cabo de 20 semanas se produjeron 616 kg de humus con un rendimiento de 43 % sobre los desechos orgánicos introducidos primariamente al sistema. Los resultados del proyecto fueron la producción de dos tipos de abono orgánico, compost y lombricompost, una población extendida de lombrices y el fomento de una actividad ambiental y socialmente correcta; más la posibilidad de continuar el trabajo de forma empresarial.

Palabras claves: Desechos orgánicos, residuos sólidos urbanos, manejo de desechos, compostaje, lombricultura, *Eisenia foetida*.

♦ Informe Final de Práctica de Especialidad, Ingeniería en Biotecnología, Escuela de Biología, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2004.

ABSTRACT

WORM COMPOSTING AS AN ALTERNATIVE MODEL FOR ORGANIC SOLID WASTE MANAGEMENT IN A URBAN COMMUNITY IN SAN SEBASTIÁN, SAN JOSÉ

Federico Elizondo Coto *

Urban solid waste management is a practice that requests to be focus in several ways and establishes the need of making different efforts in order to solve the opportunities of improvement that it exhibits. Worm composting is a biotechnology that in the past few years has considerably growth and it has been uncovered that domestic waste arises as a field to develop the activity. The project consists in establishing an alternative model of organic solid waste management through worm composting biological treatment in an urban community of San Sebastián, San José. Dispersal of ambient awareness, classification and separation of organic (biodegradable) waste, picking and managing were executed. A pretreatment by aerobic composting was determined to be made in order to allow the labor of *Eisenia foetida* worms over the waste. Composting was done over 6 weeks preparing the organic matter for the vermiculture performed for 4 months in a building constructed under administration of the project. After 20 weeks 616 kg of humus were produced with an output of 43 % over the organic waste primarily introduced in the system. Project results were the production of two organic fertilizers, bacteria processed compost and vermicompost, an extended population of worms and encouraging a social and environmentally correct activity; plus the possibility to proceed with the situation in a business way.

Key words: Organic waste, urban solid waste, waste management, composting, worm composting, *Eisenia foetida*.

* Final Report Specialty Practice, Biotechnology Engineering, Biology School, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2004.

DEDICATORIA

*A Dios, por ser la luz que alumbra mi vida
y me concede las fuerzas para buscar ser
una persona completa*

*A mi madre y mi padre, por mostrarme
su apoyo incondicional a lo largo
de mis años de vida*

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento a las siguientes personas e instituciones por su valiosa colaboración en la ejecución de este proyecto.

A la comunidad de la calle de Los Chayotes por acoger la realización de este proyecto, apoyo sin el cual no hubiese sido posible la consumación del emprendimiento.

A mi profesora asesora de práctica de especialidad, Patricia Rivera Figueroa, por su comprensión ante los múltiples problemas que tuvieron que enfrentarse al cabo de la ejecución del proyecto y por confiar en mis capacidades para la conclusión exitosa de esta labor.

A los funcionarios del Instituto Nacional de Aprendizaje en el Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica, en especial al Ing. Oscar Méndez Calvo, por la atención prestada a la investigación y sus comentarios sobre la importancia de generar conocimiento sobre la lombricultura.

A las personas involucradas en el manejo de desechos de la Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH), en concreto a la estudiante Eliza Aurora Argüeta, por ser la guía en la visita realizada a las instalaciones de esta institución.

A la Dra. Silvia M^a Soto Córdoba, del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por ayudarme a comprender lo importante que es el aprovechamiento de los desechos, y enseñarme a buscar formas en que ellos pueden convertirse en bienes materiales de alto valor agregado.

A mis amigos, por brindarme su apoyo y motivación para la culminación exitosa de este proyecto, y por darme el espacio y la libertad para poder decidir sobre las prioridades en las que fundamenté este periodo de mi vida. A esa persona que me mostró cuán importante son los últimos esfuerzos en una carrera hacia el acto de graduación, y la satisfacción que se alcanza cuando se ha llegado al final de un camino.

A todas aquellas personas que me han mostrado lo valioso que es la Tierra y su preservación.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	III
ABSTRACT	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
TABLA DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
JUSTIFICACIÓN	6
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
DIAGRAMA GENERAL DEL PROYECTO	10
DESCRIPCIÓN DE LA COMUNIDAD.....	11
CAPÍTULO I COMPOSTAJE	12
MARCO TEÓRICO	12
<i>Fabricación</i>	12
Materiales	13
Biología del compost	17
<i>Factores ambientales y operacionales</i>	17
Relación Carbono- Nitrógeno	17
Aireación y disponibilidad de oxígeno	18
Temperatura	18
Humedad.....	19
pH	19
Luz	19
Maduración	20
<i>Aplicación</i>	20
<i>Propiedades</i>	21
Humus.....	21
OBJETIVO GENERAL	23
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
MATERIALES Y MÉTODOS	24
<i>Investigar sobre compostaje</i>	24
<i>Comunicar e involucrar a la comunidad</i>	24
<i>Clasificación, separación, recolección y cuantificación de los desechos</i>	24
<i>Compostaje</i>	25

<i>Diagrama del proceso de compostaje</i>	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
<i>Comunicar e involucrar a la comunidad</i>	28
<i>Clasificación, separación, recolección y cuantificación de los desechos</i>	29
<i>Compostaje</i>	33
Generalidades.....	33
Manejo	35
Aireación.....	38
Humedad.....	39
Temperatura	41
pH	43
Tamizaje	43
Plagas.....	46
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES.....	50
CAPÍTULO II LOMBRICULTURA	51
MARCO TEÓRICO	51
<i>Antecedentes</i>	51
<i>Generalidades</i>	52
Principales características	53
Ambiente.....	53
<i>La lombricultura: cría de lombrices</i>	54
La lombriz roja <i>Eisenia foetida</i> Sav.	56
Enemigos de las lombrices.....	57
OBJETIVO GENERAL	59
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	59
MATERIALES Y MÉTODOS	60
<i>Construcción de las instalaciones</i>	60
<i>Manejo del lombricultivo</i>	61
<i>Evolución de la población</i>	63
<i>Diagrama del proceso de lombricultivo</i>	64
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
<i>Construcción de las instalaciones</i>	65
<i>Manejo del lombricultivo</i>	68
<i>Evolución de la población</i>	79
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES.....	84
CAPÍTULO III EVALUACIONES FINALES	86
RENDIMIENTOS	86
<i>Compostaje</i>	86
<i>Lombricultivo</i>	87
<i>Compostaje y lombricultivo, modelo alternativo para el manejo de desechos sólidos orgánicos</i>	89
MICROORGANISMOS.....	90
<i>Materiales y métodos</i>	90
<i>Resultados y discusión</i>	92

NUTRIENTES.....	94
<i>Materiales y métodos</i>	94
<i>Resultados y discusión</i>	94
CONCLUSIONES	98
CAPÍTULO VI EVALUACIÓN ECONÓMICA	99
INTRODUCCIÓN	99
EVALUACIÓN FINANCIERA	100
<i>Flujo de efectivo</i>	100
Capital social.....	100
Inversión inicial	100
Ingresos.....	101
Egresos.....	101
<i>Lista de supuestos</i>	102
<i>Flujo de caja proyectado</i>	103
<i>Análisis de los indicadores financieros</i>	104
RECOMENDACIONES GENERALES	105
LITERATURA CONSULTADA	106
ANEXOS	114
ANEXO 1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	115
ANEXO 2 CARTA A LA COMUNIDAD	116
ANEXO 3 DATOS Y GRÁFICOS	117
<i>Capítulo 1 Compostaje</i>	117
Desechos domésticos	117
Componentes del compost	118
Compost 1	119
Compost 2	120
Compost 3	121
Compost 4	122
Compost 5	123
Compost 6	124
Compost 7	125
Compost 8	126
Compost 9	127
Compost 10	128
Compost 11	129
Compost 12	130
Compost 13	131
<i>Capítulo II Lombricultura</i>	132
Construcción de las instalaciones	132
Evolución de la población.....	132
ANEXO 4 INFORME DE RESULTADOS.....	134
APÉNDICES.....	135
TABLAS	136
SIMBOLOGÍA DE DIGRAMA DE FLUJO	137

Índice de Cuadros y Tablas

Cuadro 1.	Componentes de los desechos sólidos de Costa Rica para 1997.....	5
Cuadro 2.	Clasificación de los materiales para la fabricación del compost.....	14
Cuadro 3.	Desechos domésticos colectados en la comunidad de la calle Los Chayotes, San Sebastián, San José a lo largo de 15 semanas de recolección.	31
Cuadro 4.	Rasgos característicos de cada pila de compostaje elaboradas durante el proyecto en la calle Los Chayotes, San Sebastián.....	34
Cuadro 5.	Temperaturas máximas, mínimas y promedio alcanzadas por las distintas pilas de compost.....	41
Cuadro 6.	Fracciones gruesa y fina de las pilas de compostaje después de ser tamizadas.	45
Cuadro 7.	Clasificación y generalidades de la lombriz roja <i>Eisenia foetida</i> Sav.	56
Cuadro 8.	Alimentación y factores ambientales del lombricultivo a través de los 3 meses del lombricultivo.....	71
Cuadro 9.	Evolución de la población de lombrices rojas <i>Eisenia foetida</i> a través de los 4 meses del lombricultivo.	80
Cuadro 10.	Cantidad de materia presente en las pilas de compostaje al inicio y final del proceso y su rendimiento.....	86
Cuadro 11.	Cantidad de materia inicial y final presente en el lombricultivo y su rendimiento.....	88
Cuadro 12.	Rendimientos generales de los procesos realizados en el proyecto de manejo de desechos sólidos orgánicos.	89
Cuadro 13.	Cantidad de microorganismos presentes por gramo de muestra.	93
Cuadro 14.	Parámetros físico- químicos de los dos tipos de abonos orgánicos elaborados en el proyecto.	95
Tabla 1.	Distribución de las actividades del proyecto a lo largo del segundo semestre del año 2003	115
Tabla 2.	Desechos domésticos colectados en la comunidad de la Calle Los Chayotes durante las 15 semanas de recolección.	117
Tabla 3.	Materiales utilizados en cada una de las pilas de compost elaboradas a lo largo de del proyecto.	118
Tabla 4.	Temperatura y pH para la pila de compost 1 ubicada dentro de las instalaciones bajo sol.	119
Tabla 5.	Temperatura y pH para la pila de compost 2 ubicada dentro de las instalaciones bajo sombra.....	120
Tabla 6.	Temperatura y pH para la pila de compost 3 ubicada fuera de las instalaciones bajo sombra.....	121
Tabla 7.	Temperatura y pH para la pila de compost 4 ubicada fuera de las instalaciones bajo sombra.....	122
Tabla 8.	Temperatura y pH para la pila de compost 5 ubicada fuera de las instalaciones bajo sol y lluvia.....	123
Tabla 9.	Temperatura y pH para la pila de compost 6 ubicada dentro de las instalaciones bajo sol.	124

Tabla 10.	Temperatura y pH para la pila de compost 7 con doble carga de desechos ubicada fuera de las instalaciones bajo sombra.	125
Tabla 11.	Temperatura para la pila de compost 8 ubicada fuera de las instalaciones bajo sombra.	126
Tabla 12.	Temperatura para la pila de compost 9 ubicada fuera de las instalaciones bajo sombra.	127
Tabla 13.	Temperatura para la pila de compost 10 con doble carga de desechos ubicada fuera de las instalaciones bajo sombra.	128
Tabla 14.	Temperatura para la pila de compost 11 ubicada fuera de las instalaciones bajo sol.	129
Tabla 15.	Temperatura para la pila de compost 12 ubicada fuera de las instalaciones bajo sol.	130
Tabla 16.	Temperatura para la pila de compost 13 ubicada fuera de las instalaciones bajo sol.	131
Tabla 17.	Cantidad de madera necesaria para la construcción de las instalaciones.	132
Tabla 18.	Conteo de lombrices en una muestra de 0,01 m ² provenientes de la cama de lombricultivo.	132
Tabla 19.	Dimensiones del lombricultivo.	133
Tabla 20.	Contenidos aproximados de nitrógeno y relación C:N de varios materiales de desecho.	136

Índice de Figuras

Figura 1.	Mapa del distrito de San Sebastián, San José.....	11
Figura 2.	Diagrama del proceso del compostaje aeróbico.	13
Figura 3.	Cambios químicos ocurriendo durante el ciclo de compostaje.	15
Figura 4.	Estructura compleja y aleatoria de la lignina.	16
Figura 5.	“Prueba del puño cerrado.”.....	19
Figura 6.	Cobertura aplicada a las pilas de compost.....	26
Figura 7.	Diagrama de flujo del proceso de compostaje del proyecto.....	27
Figura 8.	Manejo ordinario de los desechos orgánicos domésticos.....	29
Figura 9.	Separación de los desechos en la fuente.....	30
Figura 10.	Desechos de jardín altos en contenidos de lignocelulosa depositados en tanque.....	33
Figura 11.	Evolución de las características físicas de una pila de compost.....	37
Figura 12.	Rizogénesis dentro de una pila de compostaje.	38
Figura 13.	Modificación al proceso de compostaje.	39
Figura 14.	Zaranda con la que se efectuaron las labores de separación de los materiales gruesos y finos del compost.....	44
Figura 15.	Material grueso proveniente una pila de compost.....	45
Figura 16.	Presencia de frutos maduros en la comunidad por la temporada.	46
Figura 17.	Presencia de una mosca en las ultimas fases de metamorfosis dentro de una pila de compostaje.	47
Figura 18.	Cavidades dentro de una pila de compost elaboradas por la acción de roedores.	48
Figura 19.	Degradación de la materia orgánica.	55
Figura 20.	Ciclo biológico de <i>Eisenia foetida</i>	57
Figura 21.	Planaria terrestre <i>Bipalium kewense</i> Moseley	58
Figura 22.	Diagrama de las instalaciones.	61
Figura 23.	Diagrama de flujo del lombricultivo realizado en el proyecto.....	64
Figura 24.	Presencia de lombrices en la fase de compostaje.	65
Figura 25.	Instalaciones del lombricario.....	66
Figura 26.	Instalaciones del lombricario: camas para el lombricultivo.....	68
Figura 27.	Cobertura de las camas del lombricultivo.	70
Figura 28.	Trampa para cazar moscas utilizada dentro de las instalaciones del lombricultivo.....	73
Figura 29.	Germinación de malezas en la cama del lombricultivo.....	75
Figura 30.	Plagas en el lombricultivo debajo del plástico de las camas.....	76
Figura 31.	Planaria.....	76
Figura 32.	Estrategia para cosechar el lombricompost.	77
Figura 33.	Estrategia para coleccionar las lombrices presentes en las camas del lombricultivo.	78
Figura 34.	Estrategia para la recolección de las lombrices presentes en el lombricompost.....	79
Figura 35.	Comportamiento de la población de <i>Eisenia foetida</i> a lo largo de los 4 meses lombricultivo.....	81

Figura 36.	Lombriz roja merodeando fuera del lombricario.....	82
Figura 37.	Diagrama de la metodología utilizada para el conteo de microorganismos.	91
Figura 38.	Colonias de microorganismos aerobios presentes en la muestra de compost dilución 1:1 000 000.	92
Figura 39.	Colonias de microorganismos aerobios presentes en la muestra de lombricompost dilución 1:1 000 000.....	93
Figura 40.	Fertilización química realizada en las plantas de la comunidad.....	96
Figura 41.	Redistribución del humus en la comunidad.....	97
Figura 42.	Comportamiento de la temperatura y el pH en el compost 1.	119
Figura 43.	Comportamiento de la temperatura y el pH en el compost 2.	120
Figura 44.	Comportamiento de la temperatura y el pH en el compost 3.	121
Figura 45.	Comportamiento de la temperatura y el pH en el compost 4.	122
Figura 46.	Comportamiento de la temperatura y el pH en el compost 5.	123
Figura 47.	Comportamiento de la temperatura y el pH en el compost 6.	124
Figura 48.	Comportamiento de la temperatura en el compost 7.	125
Figura 49.	Comportamiento de la temperatura en el compost 8.	126
Figura 50.	Comportamiento de la temperatura en el compost 9.	127
Figura 51.	Comportamiento de la temperatura en el compost 10.	128
Figura 52.	Comportamiento de la temperatura en el compost 11.	129
Figura 53.	Comportamiento de la temperatura en el compost 12.	130
Figura 54.	Comportamiento de la temperatura en el compost 13.	131

INTRODUCCIÓN

La complejidad del mundo contemporáneo ha propiciado que el ser humano expanda sus horizontes al afrontarse a una serie de situaciones con las cuales nunca antes tuvo que enfrentarse al cabo de la evolución. Su capacidad de desarrollo se ha magnificado sobre la base del conocimiento, primero de su entorno y luego de sus facultades para actuar sobre él. Actualmente, la forma en que la humanidad interacciona con el medio no se puede ver restringida a una simple transformación del ambiente sino que se ha incrementado su capacidad de dirigir algunos de los procesos biológicos que facultan la vida en el planeta. Muchas veces ésta regencia es a favor tanto de los intereses de la raza humana como en pro del medio ambiente. Este es el caso de la biotecnología ambiental y sus múltiples aplicaciones.

La lombricultura es una biotecnología que en los últimos años ha experimentado un creciente desarrollo, contrario a lo que sucedía algunos años atrás donde se encontraba casi olvidada. Esta actividad ha despertado un interés creciente pues posee un amplio rango de aplicabilidad, desde la producción de proteína animal pasando por la formación de un excelente producto para la aplicación en el suelo, y sobre todo en el caso del tratamiento de desechos orgánicos. Es en este último aspecto donde se reconoce la mayor importancia de la lombricultura, pues permite la solución de problemas ambientales y a la vez se perfila como una importante actividad económica, debido a la transformación de material que se encontraba ocioso (conocido como “desechos”) en productos finales de gran valor agregado.

Esta situación plantea la necesidad de realizar experiencias que permitan la generación de conocimiento a través de la práctica y de esta forma fomentar la expansión de la actividad. Este proyecto se presenta teniendo en consideración estas circunstancias. En él se buscó plantear una alternativa adecuada para el tratamiento de la fracción orgánica de la basura producida por una comunidad urbana, con lo cual se ayudaría a solucionar la problemática de los desechos al reducir en gran medida la cantidad de los mismos que tendría que ser dispuesta al servicio municipal. De esta forma, además se estaría logrando dar un uso óptimo a los recursos disponibles basados en el principio de la sostenibilidad y protección al medio ambiente. En suma, se buscó que esta experiencia enriqueciera el conocimiento de carácter científico de la actividad, al documentar observaciones y datos que en él se generaron. Adicionalmente, se procuró dotar al proyecto de un análisis económico de los costos y posible beneficios de la actividad, con el propósito de que pueda ser evaluado por terceros que deseen implantarlo en sus comunidades.

No obstante, el proyecto más que generar información de tipo científica, pretendió ser una experiencia documentada de la ejecución de un modelo de tratamiento biológico mediante un lombricultivo. Se proyecta como el inicio de múltiples experiencias similares que logren tener un impacto positivo sobre la sociedad. Asimismo, el propósito de este emprendimiento es de ser un mecanismo de expansión de la conciencia ambiental, aunque sea de manera muy local, pero de tal forma que se den los primeros pasos hacia un modelo comunitario de manejo integral de todos los desechos; no solamente la fracción biodegradable, sino en toda su diversidad (reciclables, reutilizables y otras categorías).

Un aspecto importante a considerar antes de iniciarse el proyecto fue que gran parte operativa del proyecto hubo de fundamentarse en el accionar de componentes biológicos, los cuales se caracterizan por su baja tasa de procesamiento y ser poco predecibles. Esto pudo incidir en los resultados obtenidos pues, aunque se intentaran manejar las condiciones para favorecer las funciones vivas, los plazos del proyecto estaban determinados en tiempo, lo que pudo afectar negativamente al restringir el avance en la gestación, propiciando en ocasiones conclusiones sobre materiales inmaduros.

Más allá, la característica de ser un modelo planteó que el proyecto tuviera que afrontarse a múltiples variables, algunas de ellas predecibles y probablemente sendas inadvertidas. Sin embargo, la capacidad de afrontar los sesgos nació sobre el conocimiento de las técnicas a implantar y sobre la asesoría de profesionales en el área por parte de instituciones como la Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH) y el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA). Además, se buscó la optimización de los procesos de transformación de los desechos producidos por la sociedad modelo. Cabe mencionar que la materia orgánica, por su particularidad, tuvo que ser estudiada para conocer sus cualidades y cantidades para establecer los tratamientos que eran precisos efectuarse. Por esto se consideró ensayar distintas formas de compostaje con el propósito de lograr un proceso que permitiera obtener un abono de alta calidad en un tiempo óptimo usando los recursos disponibles de manera eficiente.

De esta forma, el proyecto aquí expuesto pretendió ser una manifestación más de como la humanidad ha planteado utilizar sus capacidades para solventar muchos de los problemas que su andar a lo largo de los años sin conciencia ambiental ha generado y que últimamente han repercutido en su calidad de vida.

Específicamente, el objetivo general del proyecto fue establecer un lombricultivo como modelo alternativo de tratamiento de desechos sólidos orgánicos en una comunidad urbana, en San Sebastián, San José. Para lograr este objetivo

general del proyecto fueron necesarios alcanzar una serie de objetivos específicos que se citan en el apartado correspondiente en el orden cronológico en el que fueron alcanzados; ellos exponen varias de las fases que fueron necesarias para la conclusión satisfactoria del emprendimiento. Para facilitar las labores de lectura del documento, este se ha dividido en cuatro capítulos, englobando los tres primeros una de las actividades principales del proyecto, a saber el compostaje, el lombricultivo y las evaluaciones a los abonos obtenidos; y el capítulo final contemplando una evaluación financiera sobre los costos y posibles beneficios económicos. No obstante, debido que los dos primeros capítulos engloban la fracción meramente operativa del proyecto se incluye en los mismos objetivos tanto generales como específicos que denotan de forma más concisa las intenciones de las labores realizadas.

Antecedentes

El manejo de los residuos sólidos es una situación que ha evolucionado en complejidad en forma paralela con los procesos de urbanización e industrialización (Zepeda 1995). Cada día es más la cantidad de basura que se genera en las ciudades, al incrementarse el número de personas en las zonas urbanas, y también debido a las tendencias consumistas de las sociedades actuales, principalmente de los más ricos (PNUMA 2000). Este aspecto es de gran importancia para los países en vías de desarrollo donde es aún más marcada esta condición, pero sin dejar de ser importante para todo el globo.

Así, dentro de los retos que se plantean para las urbes latinoamericanas y en el caso específico para la Gran Área Metropolitana en Costa Rica, uno de los aspectos más importantes es formular un adecuado plan de manejo de desechos (Gobierno de Costa Rica 1991) que permita expresar los esfuerzos que se han de realizar para solucionar este problema.

Dentro de estos planes un componente muy necesario es el de realizar programas para la utilización integral de los desechos orgánicos con la finalidad de rescatar las grandes cantidades de nutrientes que se pierden por un manejo inadecuado (Gomero y von Hildebrand 1988) y que causan problemas de contaminación ambiental (Gardner 1997, Worldwatch 1997), uno de los grandes retos para la ingeniería sanitaria en el mundo entero (FAO 1980). De esta forma se estaría ayudando a subsanar la problemática de la pérdida de fertilidad del suelo y se sabe que el suelo es importante para la humanidad debido a que sobre él crecen las plantas (Microsoft Corporation 1996), los principales productores responsables de transformar la fuente energética proveniente del sol en energía disponible para los demás organismos a través de la fotosíntesis (Solomon *et al.* 1996).

Si así se lograra, no sólo se estaría avanzando hacia modelos de desarrollo que se acerquen a la tan ansiada sostenibilidad sino que se caminaría por sendas tan en boga como el de “Producción más limpia” que se muestra como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integral a procesos, productos y servicios; en este caso el manejo de desechos, para mejorar la eco-eficiencia y reducir los riesgos para el ser humano y el medio ambiente (Oficina de Industria y Medio Ambiente de las Naciones Unidas citado por CNP+L 2002). En este caso, el manejo de desechos debería buscar como disminuir el impacto ambiental utilizando procedimientos eco- amigables y eficientes en el uso de todos los recursos que él integre, inclusive el mismo objeto (desechos). Se debe buscar también transformar actitudes y políticas buscando mayor responsabilidad ambiental (Congreso Nacional de Desarrollo Sostenible 2001, CNP+L 2002).

Así, la situación del manejo de desechos se debe iniciar generando una conciencia ambiental sobre los desechos (Zepeda 1995); donde se transformen las tendencias consumistas hacia propuestas cercanas a la subsistencia y autoabastecimiento, la llamada “simplicidad voluntaria,” minimizando al máximo el desperdicio de recursos y evitando y reduciendo el impacto cotidiano que ejercemos sobre el ambiente (Fournier 2002). Esto por cuanto nos estamos enfrentando con un problema que se fundamenta en que los recursos disponibles en este planeta son limitados (Miller 1988, Gobierno de Costa Rica 1991, Salazar 2001); y aun cuando la tecnología (incluyendo la de trasfondos biológicos) avance rápidamente no podrá subsanar todos los impactos del desperdicio de los recursos, que conducen a los llamados “desechos.” La labor de construir esta conciencia debe ser a partir de la actual ética planetaria que está tomando popularidad en los círculos de presión de mayor poder en el mundo. Si no estaremos prontos a condicionar nuestro futuro (Miller 1988).

No obstante, siempre se ha de seguir tratando con desechos, pero ahora desde una perspectiva diferente en la cual puedan ser considerados como parte de un proceso de gestión integral ambiental (Gobierno de Costa Rica 1991, PNUMA 2000). Ya que la mayoría de ellos no pueden ser evitados, se espera que al menos puedan ser ubicados en algunas de las llamadas “4 R’s,” a saber: rechazar, reducir, reutilizar, y reciclar (Salazar 2001, Fournier 2002).

Más allá, se reconoce que una fracción importante de los desechos producidos en las comunidades urbanas, con gran cantidad de hogares, es materia orgánica. Se estima que en la mayoría de lugares de Latinoamérica podría ser alrededor del 50 % (Esquivel 2001, Curso Lombricultura 2003). La situación actual del país es similar

destacándose en estudios fracciones muy similares al contexto regional (véase *Cuadro 1*).

Cuadro 1. Componentes de los desechos sólidos de Costa Rica para 1997.

Componentes	Porcentaje en masa
Material biodegradable	58 %
Papeles y cartones	19 %
Plástico	11 %
Vidrio	2 %
Material inerte	10 %
Total	100 %

Fuente: OPS y BID citado por Esquivel 2001.

Además, la capacidad que muestren las comunidades urbanas para solventar las necesidades especialmente en la dotación de servicios para sus habitantes, y en caso particular en el tratamiento de los desechos, incidiría positivamente en varios rasgos de la población siendo el mejor ejemplo la dotación de empleo local (BM 2002). Y se sabe también que son estas zonas las más aquejadas por el desempleo debido a las migraciones del campo a la ciudad (PNUMA 2000, BM 2002) y por la situación de que muchas de estas personas son mano de obra no calificada.

Actualmente, el compostaje está ganando popularidad como alternativa para el tratamiento de desechos sólidos y se plantea la utilización de residuos orgánicos procedentes de las ciudades y la industria, de igual forma la lombricultura (Bollo 1987). Se tiene como premisa el hecho que la basura urbana constituye una excelente materia prima para ser transformada en un abono orgánico (Deffis 1994). Entre los beneficios, en el ámbito de tratamiento de desechos, que pueden darse a través del compostaje están: reducción de la cantidad de desechos, limitación de la demanda biológica de oxígeno de desechos, mejoramiento de las características físicas de los mismos lo que facilita su manipulación, reducción de los agentes patógenos humanos, animales y vegetales (malas hierbas), disminuye la cantidad de tierra para la deposición de los desechos y reduce considerablemente la cantidad de residuos sólidos en los vertederos o rellenos sanitarios (Gardner 1997, Coyne 2000).

Justificación

En la actualidad, la sociedad costarricense no ha logrado darle un adecuado manejo a los desechos sólidos que ella produce. Esta problemática se ha magnificado en los últimos años, tanto por el acelerado crecimiento demográfico como las tendencias consumistas e insostenibles que se han inculcado en la población (Fournier 2002). A estas situaciones hay que sumarles la tendencia de la población a concentrarse en las zonas urbanas (Gobierno de Costa Rica 1991, PNUMA 2000). Es por ello que antes de que los desechos y su manejo se transformen en un escenario más complejo se han de enfrentar desde todos los frentes posibles de acción, pues ellos plantean grandes retos.

Además, se registra que la problemática de los desechos es un asunto que se debe enfocar de manera global iniciando de forma personal- local (Fournier 2002). Por lo tanto al tratarse el proyecto en cuestión de una experiencia a nivel comunitario se estaría incentivando a un núcleo sinérgico de la sociedad a resolver sus inconvenientes respecto a los desechos, lo cual es además acorde con la tendencia de pasar los servicios prestados por el gobierno a manos de actores privados (Costa Leite 1997).

En particular, es de esperarse que en la comunidad en cuestión las cifras respecto a la cantidad de materia orgánica presente en los desechos sean acordes a los datos de Esquivel Alfaro (2001), destacándose una importante fracción proveniente del jardín, que pueden ser de un gran volumen en especial en la época lluviosa. Sí, a través del proyecto se consigue tratar parte de esta “basura”, se lograría una reducción sustancial de los desechos que van a formar parte del servicio municipal de recolección y tratamiento.

El compostaje a nivel casero o comunitario es una de las mejores estrategias de manejo de desechos orgánicos disponibles pues reduce los costos de recolección y proceso. La recolección a pequeña escala de desechos requiere menos vehículos para el transporte, reduciendo la cantidad de emisiones de gases nocivos al ambiente. Además, al ser a nivel comunitario, se impulsa a los individuos de la comunidad a tomar acciones para resolver los problemas ambientales y les permite cerrar el círculo de reciclaje de la materia orgánica y obtener beneficios directamente (McGovern 1997).

El compostaje es además una alternativa de uso bajo de tecnología, lo que faculta a la actividad como una forma de evitar la contaminación del aire y del agua, tiene costos de iniciación bajos, costos operativos moderados, y ahorra más energía y provee mayor empleo a trabajadores no especializados que aquellas alternativas de

uso mayor de tecnología (Miller 1988). De esta forma se estaría además generando fuentes de empleo lo que se ha diagnosticado como una parte importante para acercarse al anhelado desarrollo sostenible (BM 2002).

Aquí también es donde la lombricultura luce como una alternativa para reciclar (transformación/modificación) los desechos orgánicos y convertirlos en humus, además de otros subproductos. Este abono sería un excelente beneficio para la comunidad y al reincorporarse al suelo se cerraría el ciclo de la materia y energía que naturalmente funcionaba (Miller 1988, Solomon *et al.* 1996), auxiliando al mantenimiento de un ambiente ecológicamente equilibrado y sostenible en la comunidad. En suma, el proyecto se podría proponer como opción para la realización de un negocio “verde” a nivel comunal (McGovern 1997).

Otro componente importante del proyecto es la conservación de los suelos comunales (Gobierno de Costa Rica 1991). No concierne, en el caso en particular, que el suelo no se encuentre utilizado para la agricultura y la consecuente obtención de alimentos, pero si tiene importancia en el sentido de que este sustenta el crecimiento de mucha materia vegetal; que, aun cuando sea solamente de tipo ornamental, está ejerciendo una presión sobre los componentes del suelo que ha de ser subsanada de alguna forma para lograr mantener su equilibrio nutricional de forma natural, evitando el uso de insumos químicos que han de venir a desequilibrar en mayor medida el ecosistema (Restrepo 2001).

OBJETIVO GENERAL

Establecer un proyecto modelo de lombricultura con el propósito de brindar un adecuado tratamiento a los desechos sólidos orgánicos producidos en una comunidad urbana

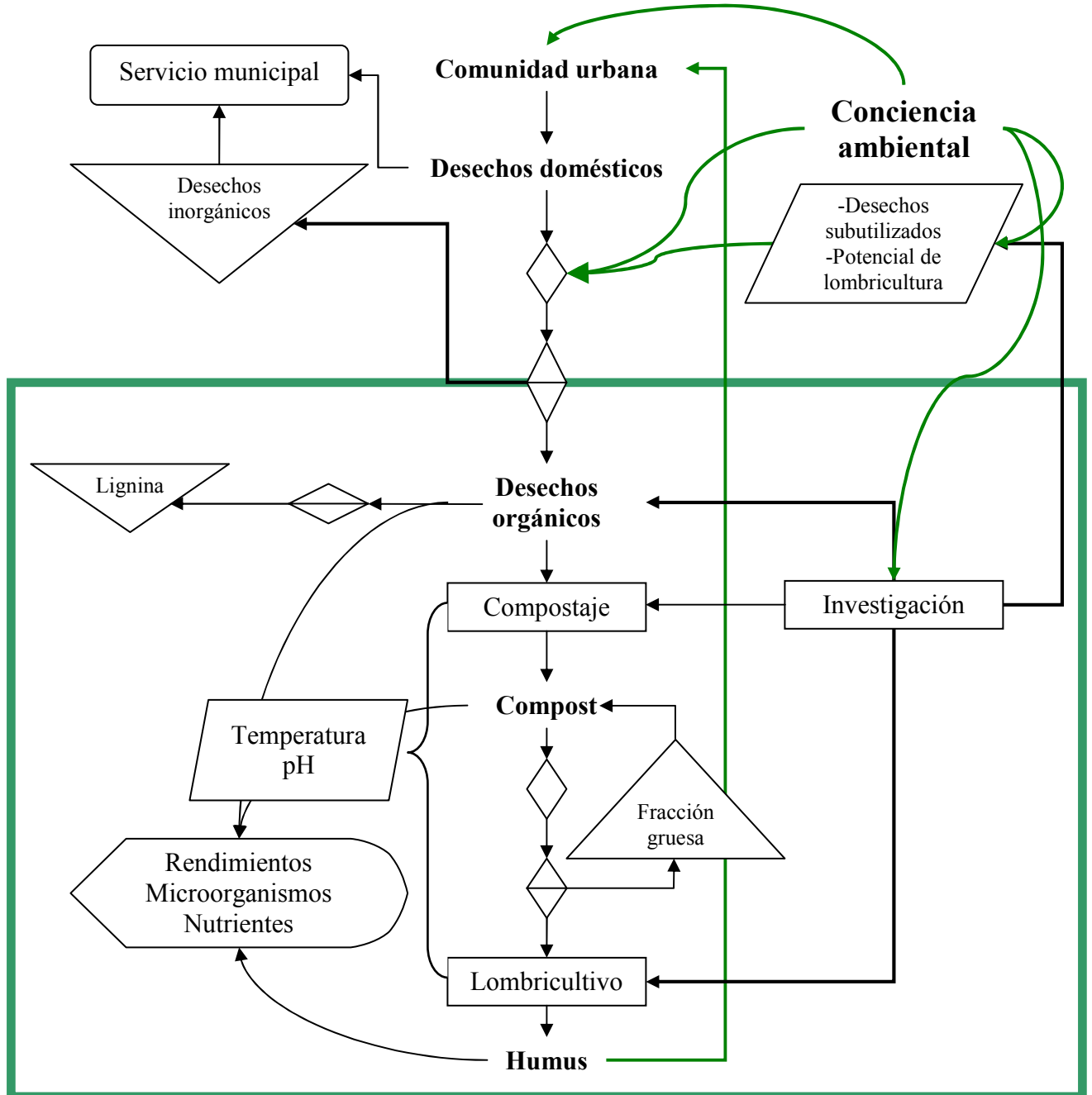
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar sobre diferentes técnicas de tratamientos de compostaje aptas de acoplarse al proyecto de lombricultura y sobre la capacidad de este método, específicamente en el caso de desechos de jardín (alta lignocelulosa).
- Concienciar a la comunidad sobre la importancia ambiental del proyecto, y motivarla a una participación representativa en el emprendimiento.
- Clasificar, separar, recolectar y cuantificar los desechos sólidos orgánicos para determinar la fracción que se ha de considerar en el proyecto.
- Construir la infraestructura necesaria para el lombricultivo y las actividades conexas.
- Ejecutar el proyecto de tratamiento de los desechos orgánicos mediante el compostaje y la lombricultura, controlando los factores seleccionados para optimizar los resultados.

- Evaluar el efecto de diversas técnicas de tratamiento previo de compostaje en el acondicionamiento de la materia para el lombricultivo.
- Cuantificar el rendimiento en la transformación de la materia inicial introducida al sistema de tratamiento que efectivamente se transforma en producto (compost y humus).
- Cuantificar los contenidos nutricionales y microbianos de los dos productos finales: compost y vermicompost.
- Redistribuir el humus en la comunidad como forma de cerrar los ciclos de energía y carbono, y en señal de agradecimiento por la atención prestada al proyecto.
- Realizar un análisis económico de los costos y posibles beneficios del emprendimiento.

DIAGRAMA GENERAL DEL PROYECTO

1



¹ El rectángulo de color verde representa en el diagrama el proyecto en cuestión.

DESCRIPCIÓN DE LA COMUNIDAD

La comunidad en la cual se desarrolló el estudio se ubica en la provincia de San José, en el cantón Central, distrito de San Sebastián. Específicamente consiste 6 casas de la llamada calle Los Chayotes, situada 50 m norte de la rotonda de San Sebastián. Se ubica a una altitud de 1125 m.s.n.m. y tiene un clima tropical con una temperatura promedio de 24 °C, con máximas alrededor de los 30 °C y mínimas cercanas a los 18 °C; posee un promedio de precipitación anual de 1900 mm (litros por metro cuadrado) y humedad relativa de 80 % (IMN 2003). La comunidad es de tipo urbano, con una población de estrato social medio. La población que se considera en este estudio es de aproximadamente cuarenta (40) personas, pues en ella existen individuos con estado intermitente de residencia. Los habitantes son en su mayoría adultos (77,5 %) con una participación importante de infantes (22,5 %). Se considera a la población un modelo de la sociedad costarricense por el hecho de que en ella se mantienen algunos *modus vivendi* tradicionales, principalmente en 3 hogares con población adulta mayor, y se ejemplifican los cambios hacia sociedades basadas en consumo en la mayoría de las casas con personas adultas jóvenes.

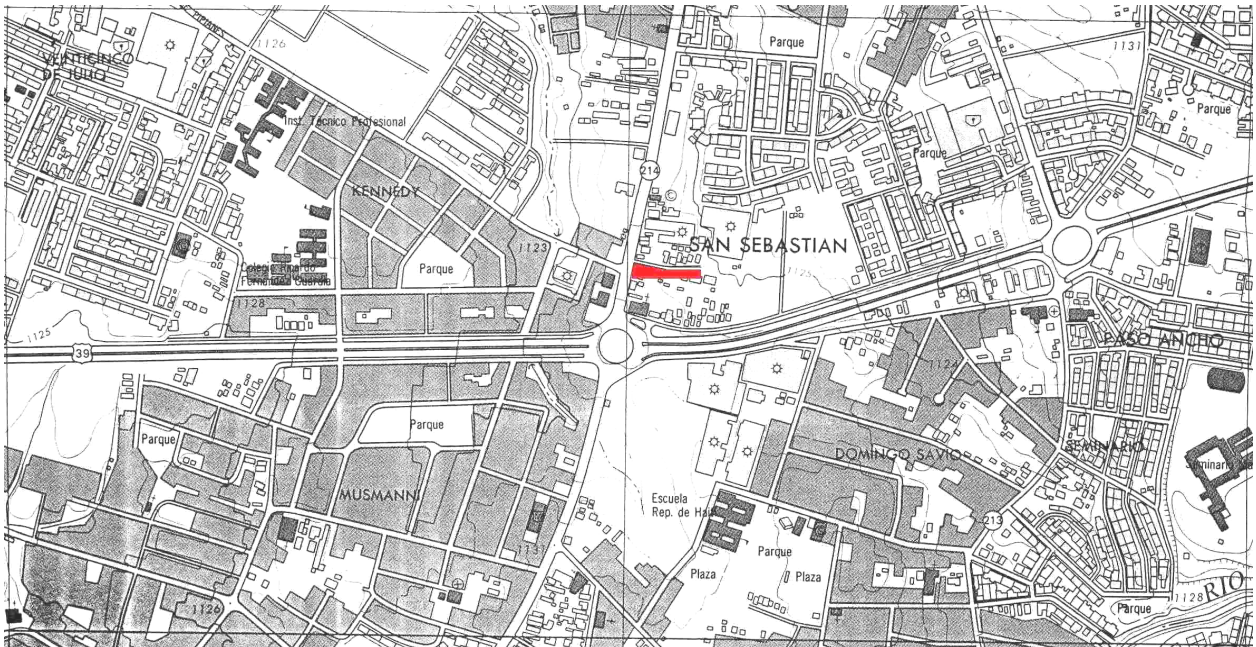


Figura 1. Mapa del distrito de San Sebastián, San José (IGN 1991). El destacado en rojo es el sitio de estudio, la calle Los Chayotes.

CAPÍTULO I COMPOSTAJE

Marco Teórico

El compost es un acondicionador del suelo y un fertilizante, producto de la descomposición de materia vegetal y animal. Se ha utilizado para reforzar el componente orgánico y humus del suelo y para mejorar sus características físicas. Este es elaborado al construir una pila conteniendo capas alternas de materiales como suelo, estiércol, materiales vegetales tales como hierbas, zacate, rastrojos y hojas, y basura orgánica. Es un proceso de descomposición aeróbica y termofílica de residuos orgánicos por parte de microorganismos quimioorganotróficos que existen en los propios desechos (CIWMB, 2003 *b*), bajo condiciones controladas de humedad y aireación; y que conllevan a la transformación de los componentes en un material parcialmente estable de lenta descomposición y en humus (Restrepo 2001), lo que suele tomar un máximo de 6 meses.

El compostaje facilita el cierre del ciclo biológico de crecimiento y descomposición. Él es todo un ecosistema, microorganismos, hongos, insectos, lombrices, termitas y otros seres que convierten el carbono del material muerto en energía para el crecimiento propio, liberando dióxido de carbono a la atmósfera (Stewardship Gardening 2003). De igual forma, los organismos reciclan los nutrientes del material en descomposición en sus propios cuerpos y eventualmente vuelven a la tierra y el suelo. Ahí es donde otras plantas y microorganismos usan el carbono y los nutrientes liberados por el proceso de compostaje, y el ciclo inicia de nuevo (Solomon *et al.* 1996).

Fabricación

Se conocen diferentes formas de fabricación del compost, y se sabe que son diversos los materiales y combinaciones con los cuales se pueden realizar compostaje (BUN 1993). Por eso se menciona que el compostaje es una actividad que debe ajustarse a cada situación en particular, dependiendo del tipo de materiales y equipo disponible. No obstante, se sugiere un grado de conocimiento de los pasos que forman parte del proceso general, para poder dirigirlos hacia una ejecución eficiente. De esta forma se puede cultivar este “arte” de una manera más rápida hacia un producto de calidad superior en tiempos óptimos; sin tener que pasar por etapas en las que se “aprende haciendo” (BUN 1993) o bajo el principio de “prueba y error.”

El compostaje permite una aceleración de los procesos naturales de mineralización de la materia orgánica (Coyne 2000). Este es obtenido a partir de la fermentación de la basura orgánica, por lo que el primer paso ha de ser su clasificación y separación de la fracción inorgánica. Luego, dependiendo de los recursos y la magnitud de la empresa, se conforma el sistema de tratamiento que puede ser una pila aireada, zanja o un bioreactor de cultivo continuo (Deffis 1994, Coyne 2000). Este último constituye el sistema más rápido de la fabricación de compost, y es el más avanzado tecnológicamente, maximizando los procesos mediante la aireación y agitación mecánica (Coyne 2000); pero, es el que requiere mayor inversión en infraestructura (Deffis 1994).

En cuanto al proceso del compostaje este puede resumirse en el siguiente diagrama en el que se denotan sus insumos y productos.

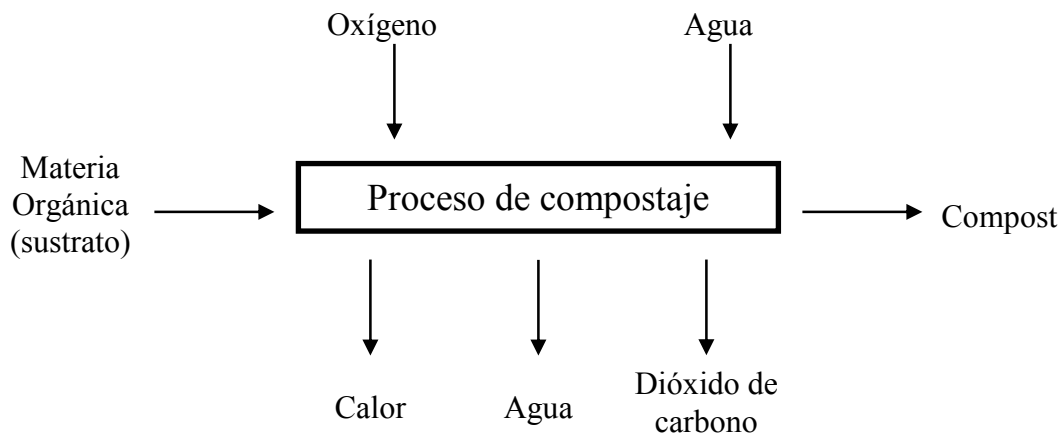


Figura 2. Diagrama del proceso del compostaje aeróbico (Díaz *et al.* 1993)

Materiales

Se dice que cualquier materia vegetal o animal que se pudra puede ser usada para hacer compost (BUN 1993). La materia orgánica se caracteriza por eso, de tal manera que pueden ser incorporados nuevamente al suelo, permitiendo un mejor crecimiento vegetal. Los materiales que pueden compostarse se suelen clasificar en ricos o pobres, dependiendo de su relación carbono- nitrógeno, el cual es un factor primordial para lograr un buen proceso (BUN 1993). Se recomienda tener un balance equitativo de ambos componentes (Wilson y Feucht 2003). Otros autores (Stewardship Gardening 2003) son más específicos en la clasificación de los materiales con los que se prepara el compost subdividiéndolos en agentes de relleno, materiales energéticos y balanceados (ver *Cuadro 2*).

Cuadro 2. Clasificación de los materiales para la fabricación del compost.

	Agentes de relleno	Materiales energéticos	Materiales balanceados
Características	• Baja humedad • Alta porosidad • Bajo nitrógeno	• Alta humedad • Baja porosidad • Alto nitrógeno	• Humedad media o alta • Porosidad media • Nitrógeno medio
Ejemplos	• Burucha • Aserrín • Tuzas de maíz	• Podas de zacate • Estiércol fresco • Restos de frutas y vegetales • Basura de jardín • Bosorola de café	• Hojarasca • Estiércol de caballo • Restos de podas de arbustos

Fuente: Stewardship Gardening 2003

Siendo un poco más específico, se puede resumir, desde el punto de vista bioquímico, los siguientes componentes presentes en una pila de compost que se dividen en tres categorías: lignina, carbohidratos y compuestos nitrogenados (Smith 1990). El siguiente esquema (véase *Figura 3*) además de representar los componentes pone de manifiesto las principales rutas bioquímicas con las respectivas enzimas involucradas y los productos más representativos. Obsérvese como tres de los principales productos son humus, biomasa microbiana, y energía.

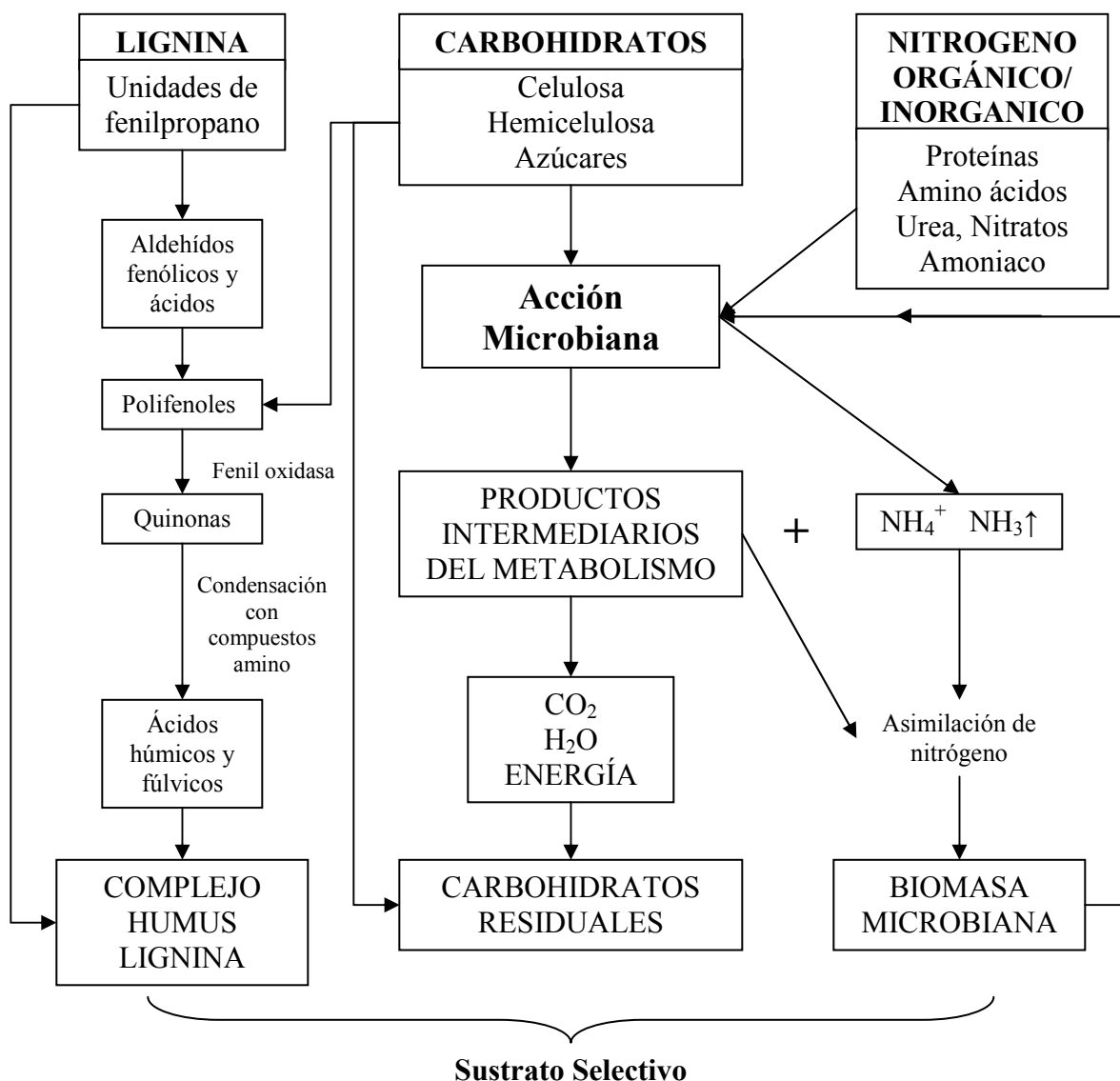


Figura 3. Cambios químicos durante el ciclo de compostaje (Smith 1990)

Una de las principales razones de la separación de la lignina, componente rico en carbono, de otros como la celulosa y hemicelulosa, es sus características estructurales que le dan una resistencia alta ante el ataque enzimático microbiano, como se observa en la *Figura 3*. Esto es debido principalmente a su estructura polimórfica no definida que le faculta de enlaces difíciles de dividir (véase *Figura 4*). Aun más, si este componente se incrusta en la celulosa y hemicelulosa aumenta la resistencia y forma la llamada matriz de lignocelulosa (Coyne 2000). Únicamente cierto tipo de hongos, llamados de pudrición blanda, son capaces de lograr la descomposición de la lignina de forma integral a través de asociaciones mutualistas.

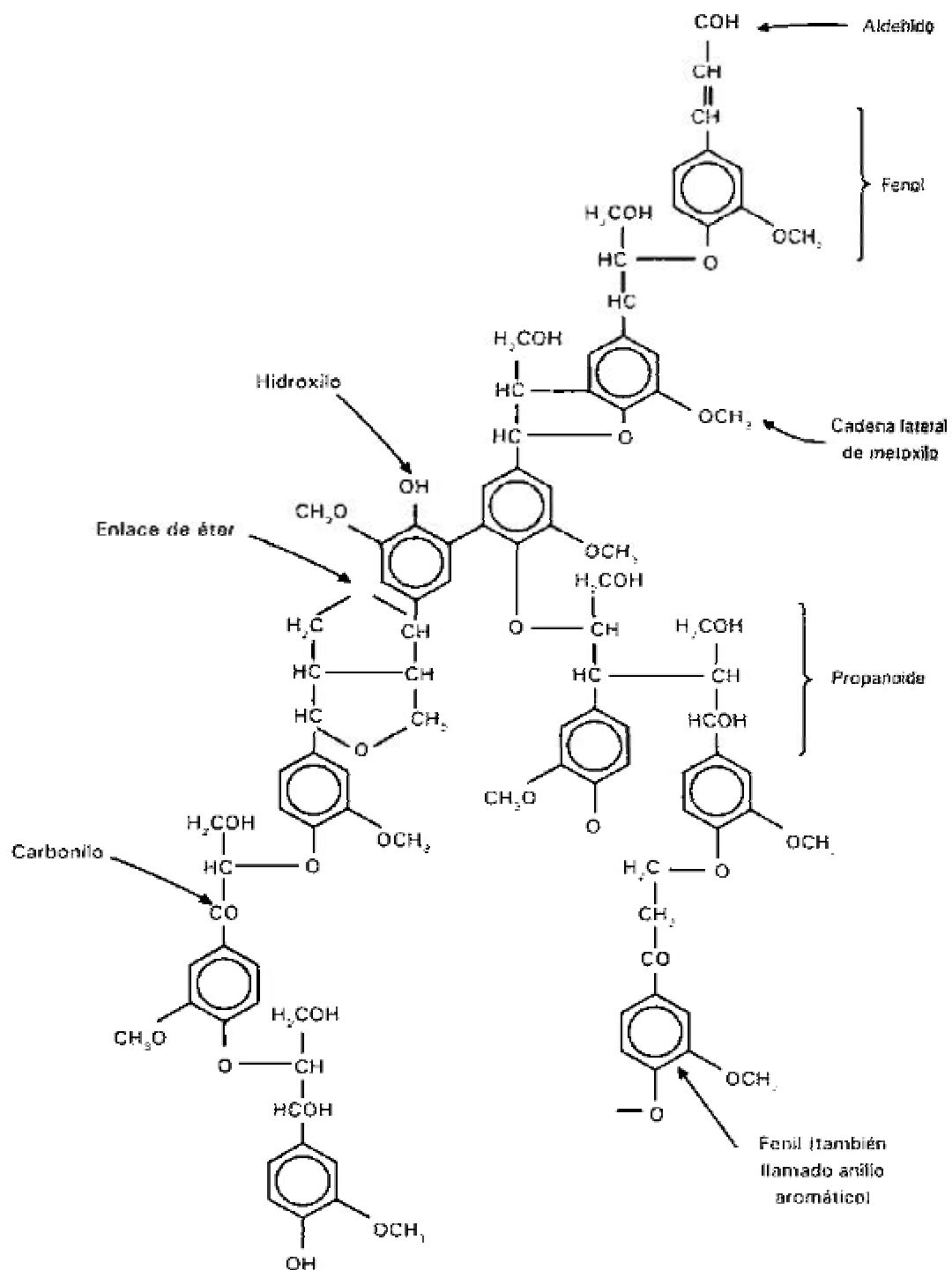


Figura 4. Estructura compleja y aleatoria de la lignina (tomado de Coyne 2000).

Biología del compost

El proceso es llevado a cabo principalmente por microorganismos como bacterias, actinomicetos, protozoos, hongos y ciertos tipos de macrofauna incluyendo algunos insectos y anélidos (Díaz *et al.* 1993). Durante el compostaje aeróbico existe un cambio continuo en la cantidad y calidad de los organismos involucrados. Esto sucede porque de manera inicial algunas especies se multiplican rápido ejerciendo un cambio en el ambiente, y luego desaparecen dando paso a nuevas especies predominantes (Díaz *et al.* 1993, Solomon *et al.* 1998).

Al inicio de la fabricación del compost la comunidad microbiana es predominantemente mesófila, siendo los hongos y las bacterias acidogénicas los más representativos. Al producirse la respiración y multiplicación de éstos, la temperatura aumenta dando paso a organismos termófilos, bacterias, actinomicetos y hongos (Coyne 2000). La elevación térmica es producto de la oxidación aeróbica de los desechos, por lo que entre mayor sea la disponibilidad de oxígeno más veloz será el aumento de la temperatura. Si la temperatura llega a más allá de los 65 °C, las bacterias se tornan en esporas, reduciendo la actividad microbiana y ocasionando la reducción en la temperatura. Cuando la temperatura desciende de nuevo al rango de los 40 °C, los organismos mesófilos aparecen de nuevo.

Se conoce que las bacterias termófilas son importantes pues utilizan materiales más complejos para su metabolismo, incluyendo proteínas, lípidos y carbohidratos no celulósicos (Coyne 2000). Mientras tanto, las bacterias mesófilas utilizan los carbohidratos más accesibles y patrones de descomposición sencillos.

Los géneros bacterianos más importantes dentro de la fragmentación del compost son *Bacillus*, *Clostridium*, *Thermomonospora* y *Thermoactinomyces*, así como los hongos *Geotrichum*, *Aspergillus* y *Mucor* (Coyne 2000).

Factores ambientales y operacionales

Relación Carbono- Nitrógeno

Es muy importante establecer dentro del compost una relación carbono: nitrógeno adecuada, con el propósito de evitar inmovilización, volatilización o lixiviación del componente nitrogenado. Se recomienda una relación óptima de 30:1 a 40:1 (Díaz *et al.* 1993, Coyne 2000). La forma más sencilla de lograr una relación apropiada es equilibrando los materiales al mezclar igual cantidad de elementos nutricionalmente ricos con otros con propiedades nutritivas pobres. Si sucediese que la relación se encontrase desequilibrada hacia el extremo de nitrógeno, lo más probable es que se generen malos olores debido a la volatilización del NH₃.

Al contrario, una relación amplia en carbono reduciría la tasa de descomposición al no dotar al sistema de suficiente energía para potenciar un crecimiento microbiano extenso.

Aireación y disponibilidad de oxígeno

La disponibilidad de oxígeno permite que la descomposición microbiana de compuestos orgánicos se realice más rápidamente (Coyne 2000). Esto porque la respiración aeróbica es un metabolismo más eficiente que la fermentación o respiración anaeróbica. En suma, algunos descomponedores como los hongos y actinomicetos son aerobios obligados y sin la suficiente disponibilidad de oxígeno se restringe su proliferación y accionar dentro del compostaje; de esta forma, aunque el compostaje puede darse de manera anaeróbica, la presencia de oxígeno permite la predominancia de microorganismos aeróbicos (Willson *et al.* 1983).

Además, la presencia de una aireación extendida en todo el compost permite que se realicen una oxidación completa de los compuestos volátiles evitando los malos olores. Por lo tanto, es importante mantener dentro de la pila condiciones de porosidad alta para poder garantizar concentraciones de oxígeno mayores al 5 % (Coyne 2000).

Temperatura

La temperatura es el factor ambiental fundamental y es la forma de evaluar la cantidad de actividad biológica que existe en el compost. La temperatura se ve afectada por el contenido de humedad, disponibilidad de oxígeno y por la actividad microbiana. El aumento de la temperatura es influenciado en gran extensión por la disponibilidad de oxígeno, y este puede limitar el aumento de la temperatura hasta los 55 °C.

La temperatura también afecta el tipo de microorganismos que están presentes en el compost. Así, en el rango desde la temperatura ambiente hasta los 40 °C, los microorganismos mesófilos son los encargados de la descomposición de la materia orgánica. Luego son microbios termófilos los responsables del proceso, cuando la temperatura se ha elevado más allá de los 45 °C (Coyne 2000). La temperatura que se considera óptima en el compost es de 60- 65 °C pues en ella se da toda la extensión de la flora termófila, más allá de esta temperatura se podría llegar a la inhibición del crecimiento y la consecuente formación de esporas (Madigan *et al.* 1999). La temperatura también es responsable de la pasteurización del compost al eliminar semillas de malezas y patógenos de los materiales degradados (NRCS 2003).

Humedad

La humedad necesaria en una pila de compostaje es alrededor del 60 %. Esto es lo suficiente para que el material se sienta húmedo pero no empapado (Coyne 2000). Una técnica muy divulgada para comprobar el contenido de humedad óptimo es la “prueba del puño cerrado” (véase *Figura 5*) que consiste en tomar un puñado de compost y comprimirlo en la mano, este deberá a lo sumo dejar escurrir unas cuantas gotas de agua (BUN 1993). La humedad es importante en el compostaje pues actúa como regulador térmico, a la vez permite un mantenimiento de la temperatura y facilita un enfriamiento gradual.



Figura 5. “Prueba del puño cerrado.” En este caso el contenido de humedad es mayor al deseable por la gran cantidad de gotas que escurren del sustrato.

pH

Es recomendable que el nivel del pH de un compostaje se sitúe dentro del rango necesario para el crecimiento microbiano. Es decir, nunca se debe tener en la pila rango de pH extremos y son más bien los valores neutros los más beneficiosos, entendiéndose dentro del margen de 5,5 y 8,5 (Coyne 2000), siendo lo ideal valores cercanos a 7.

Luz

Se recomienda que la pila del compost se encuentre en lugar medio sombreado o protegido de la luz solar directa, para mantener el grado de humedad adecuado (BUN, 1993). De no existir árboles u otros elementos que protejan contra la luz se puede cubrir el compostaje con paja, papel u otro material. Este material también puede permitir un control de la humedad en el caso de las lluvias.

Maduración

Luego de que la pila se ha enfriado y se encuentra cerca de la temperatura ambiente siguen persistiendo cambios en su composición. Durante esta etapa se llevan a cabo reacciones de polimerización produciendo ácidos húmicos y humus que se encuentran en forma de lignoproteínas complejas (Hibbits 1977) y ha cesado totalmente la liberación de cantidades pequeñas de SH_2 (Deffis 1994) y de otros compuestos volátiles (Coyne 2000). Además, en esta fase se facilita el metabolismo de las fracciones orgánicas más resistentes. Se recomienda que el compost esté bien madurado para que este no sufra descomposición adicional al incorporarse al suelo aprovechando el nitrógeno proveniente del suelo (BUN 1993).

El compost esta maduro, descompuesto, cuando posee olor similar a la tierra de bosque natural, sus materiales originales son casi imperceptibles y poseen una apariencia de color café o negro y una textura suave y suelta (BUN 1993), por lo que la gravedad específica es baja. Los componentes más grandes han de quebrarse fácilmente y aquellos que no se hayan degradado en gran parte pueden reintegrarse a un nuevo proceso de compostaje. En suma, un compost maduro debe contener pequeños organismos vivos, tales como insectos, lombrices, ciempiés y otros tipos (BUN 1993). La maduración también se encuentra en función del descenso de la humedad del material tratado (Coyne 2000).

El tiempo de maduración es función de muchas variables principalmente la relación carbono- nitrógeno al inicio del proceso, así como del material de origen (Coyne 2000) y las condiciones de aerobiosis presentes en la pila (Hibbits 1977).

Aplicación

El compost funciona en el suelo tanto como un acondicionador como un fertilizante. La primera de sus funciones es la más importante pues mejora la aireación y la capacidad de conservar la humedad. Se dice que el contenido nutricional del compost es bajo por lo que su valor fertilizante es limitado. Su bajo contenido en N, P, y K (alrededor de un porcentaje en peso seco menor a 4%) (Hibbits 1977), es de considerar pero al estar mayoritariamente en forma orgánica (Díaz *et al.* 1993) permite una disponibilidad a lo largo del crecimiento vegetal al liberarse gradualmente. Además, el compost aporta diversos compuestos orgánicos que son importantes para el crecimiento de la planta como hormonas y fitoreguladores (Microsoft Corporation 1996). De todas maneras se recomienda su aplicación con otros tipos de fertilizantes.

El compost no tiene restricción en el tiempo de aplicación ni en la cantidad a utilizar. Sin embargo, es preferible incorporarlo al suelo antes de la siembra y

cubrirlo con tierra para que no se seque y pierda la mayoría de sus componentes por volatilización.

Propiedades

El compost por sus características es un excelente insumo para cualquier tipo de suelo, no importando cual sea el uso que se le esté dando al mismo. Este logra aumentar los rendimientos agrícolas, mejora la estructura del suelo y su contenido nutricional sumando y activando minerales inmovilizados, aumenta la cantidad de materia orgánica y añade humus (Deffis 1994), mejora la retención de agua, la infiltración y la porosidad lo que favorece la aireación del suelo. También potencia el crecimiento microbiano e inocula organismos protectores, que activan procesos químicos- biológicos del suelo (Deffis 1994) que producen y añaden antibióticos, hormonas y otros compuestos bioactivos que protegen las plantas frente a enfermedades, virus, insectos, nemátodos y otras plagas (BUN 1993).

Humus

El humus es uno de los componentes más importantes del compost. Este es un tipo de materia orgánica que se encuentra en el suelo y proviene de la descomposición progresiva de restos vegetales y animales muertos, que se depositan en el suelo. Al inicio de la descomposición, parte del carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno se disipan rápidamente en forma de agua, dióxido de carbono, metano y amoníaco, pero los demás componentes se descomponen lentamente y permanecen en forma de humus (Microsoft Corporation 1996). La composición química del humus es variable porque depende de la acción de organismos vivos del suelo; pero casi siempre contiene cantidades variables de proteínas y ciertos ácidos húmicos y fúlvicos mezclados con ligninas (polímero de difícil degradación biológica) y sus derivados. El humus es una materia homogénea, amorfa, de color oscuro e inodora. Los productos finales de la descomposición del humus son sales minerales, dióxido de carbono y amoníaco. No obstante, el humus es pobre en componentes con nitrógeno, fósforo y potasio, en comparación con los fertilizantes químicos (Restrepo 2001).

Se localiza primariamente en las partes más superficiales del suelo y su color característico es el negro debido al gran porcentaje de carbono que posee (Deffis 1994). Se puede clasificar en dos tipos de clases principales: el humus viejo, de alta descomposición y de color morado, y el humus joven, de reciente formación y altas capacidades biológicas (Deffis 1994).

Al estar el humus formado por matrices de partículas coloidales electrizadas (Deffis 1994) le permiten absorber iones en su superficie lo cual beneficia a las

plantas al ser este tipo de ión más fácilmente absorbible que los minerales libres, lo cual permite al humus desempeñar un papel nutricional de almacenamiento y regulación de pH.

Otro elemento importante del humus es la materia orgánica, que en el suelo es un elemento importante para mantenerlo en buenas condiciones físicas pues contiene la reserva íntegra de nitrógeno de éste, así como cantidades significativas de otros nutrientes, como fósforo y azufre (Microsoft Corporation 1996).

En los sistemas de descomposición de materia orgánica, los materiales iniciales se convierten en formas estables que se almacenan en el suelo y pueden ser utilizados como alimento por las plantas. La cantidad de humus afecta también a las propiedades físicas del suelo importantes como estructura, color, textura y capacidad de retención de la humedad. En la agricultura se reconoce al humus como uno de los factores más importantes en el desarrollo de los cultivos, y se propicia el reestablecimiento del equilibrio orgánico añadiendo humus al suelo en forma de compost o vermicompost.

Objetivo General

Acondicionar la materia orgánica mediante un proceso de compostaje aeróbico para que esta sea apta para el tratamiento en el lombricultivo

Objetivos Específicos

- Investigar sobre la capacidad del compostaje para descomponer desechos de jardín, con gran cantidad de compuestos lignocelulósicos.
- Comunicar a la comunidad la naturaleza del proyecto y detalles sobre el tipo de residuo orgánico que se utilizará en el mismo.
- Clasificar, separar, recolectar y cuantificar los desechos orgánicos generados por la comunidad.
- Elaborar una pila² de compost con los materiales disponibles cuantificando la masa inicial y final para obtener rendimientos.
- Evaluar los parámetros de temperatura y pH dentro del compost y dar el adecuado manejo a la pila mediante la regulación de las variables de aireación y humedad.
- Evaluar el progreso del tratamiento de compostaje mediante observaciones sobre sus cambios en las características físicas.
- Determinar las propiedades del compost que han de favorecer la alimentación del lombricultivo.
- Determinar el tiempo necesario para obtener un compost favorable para la alimentación del lombricultivo.
- Hacer una evaluación al producto final sobre sus nutrientes, contenido de materia orgánica, acidez, humedad; así como la cantidad de microorganismos presentes³.

² A continuación en el documento se usarán las palabras pila y montón para referirse a la estructura física en la que se efectúan los procesos de descomposición en el compostaje.

³ Este objetivo específico, al igual que el concerniente al rendimiento sobre la masa, corresponden a este apartado pero debido a ser actividades no operativas sino valorativas se muestran en *Capítulo III Evaluaciones finales*.

Materiales y Métodos

Investigar sobre compostaje

Preliminarmente, se realizó una investigación exhaustiva en diversas fuentes de información para lograr obtener suficiente información sobre el compostaje y sobre su capacidad en el tratamiento de desechos orgánicos producidos en una comunidad urbana. Se hizo énfasis en la búsqueda de información sobre las características de los desechos provenientes del jardín, y su adaptabilidad al compostaje con el propósito particular del proyecto. Se consultaron medios electrónicos principalmente, además de bibliotecas físicas y consultas con personas allegadas al tema de manejo de desechos de distintas instituciones. Sobre este conocimiento adquirido se fueron embozando las posteriores labores en el proyecto. El resultado de estas labores se puede consultar en el *Marco teórico* de este capítulo y del siguiente.

Comunicar e involucrar a la comunidad

La primera labor realizada fue comunicar a la comunidad mediante una circular las intenciones de la actividad, la importancia del emprendimiento y se les informó el tipo de residuo a considerar dentro del mismo, los desechos orgánicos biodegradables. Además, se les propuso la capacidad de dar retroalimentación al proyecto y de plantear cualquier duda al respecto. Esta misiva se puede consultar en **Anexo 2 Carta a la comunidad**.

Clasificación, separación, recolección y cuantificación de los desechos

En el momento en que se les entregó la carta a las personas de la comunidad, también se distribuyeron los basureros para facilitar la separación de los desechos orgánicos previamente clasificados, considerando el comunicado, y se les instó a recolectar y separar todos los desechos provenientes del mantenimiento del jardín.

La recolección se realizó 3 veces por semana. Se examinaron los desechos domésticos para conocer sus componentes. Seguidamente se volvió a clasificar los desechos en 3 categorías: desechos domésticos (provenientes principalmente de la cocina), zacates y pastos, y desechos de jardín. Se cuantificó la masa de cada una de las categorías, conservando para los datos de los desechos domésticos el sitio de origen.

Compostaje

Una vez por semana se elaboró una pila para el compostaje aeróbico. En ella se fueron agregando los materiales recolectados al cabo de esa semana en forma de capas de un espesor entre 5- 10 cm aproximadamente. Se alternaron capas de materiales ricos y pobres. Se añadió el insumo de aserrín o burucha por su capacidad de regular condiciones en los componentes del compost. Otros materiales disponibles en el terreno donde se efectuó el proyecto también fueron varias veces incorporados. Entre ellos se pueden mencionar tierra proveniente de un área poco alterada (tierra bosque), hojarasca de este sitio (hojas bosque), hojas de algunas de las casas recolectadas aparte (hojas secas), y un tipo de abono correspondiente a la mezcla de boñiga con burucha (boñiga). Al avanzar el proyecto también se incluyeron dentro del montón, compost producido y/o las mermas del compost. Los materiales de grandes dimensiones fueron fragmentados anteriormente lo máximo posible mediante un machete y el picado con tijeras de jardinería.

Se cuantificó la temperatura 3 veces por semana, de forma quintuplicada para cada pila de compost, para monitorear el progreso del proceso. El instrumento utilizado fue un termómetro de mercurio hecho en vidrio con un rango de temperatura de -10 °C a 100 °C. El pH se cuantificó también 3 veces por semana en las primeras pilas de compostaje para luego dejarse de cuantificar al comprobarse que no existían problemas con la acidez. El material utilizado fue papel para la medición de pH con rango de 1 a 14, el cual se colocaba dentro de una zona húmeda de la pila de compostaje hasta que este absorbiera los líquidos presentes. Los datos de pH que muestran valores no exactos corresponden a colores intermedios en la escala del instrumento.

Se verificó el contenido de humedad en la pila (60 % ideal) realizando la “prueba del puño cerrado” y en caso necesario se ejecutaron labores correctivas, principalmente el riego con agua. Una variante fue el riego no sólo con agua sino con el lixiviado proveniente del lombricultivo. Otra variación al compostaje fue la inoculación de melaza a la pila mediante el riego. Se disolvió una cantidad aproximada de 2 tazas de melaza en una cubeta de agua (10 litros aproximadamente). Este tipo de riego fue realizado únicamente al elaborarse la pila y se efectuó cuando se añadía un nuevo componente al montón. En cambio, si la pila denotaba exceso de humedad (goteo abundante al realizarse la prueba del puñado) se intentó corregir la situación añadiendo aserrín u otro material seco.

La aireación fue otro factor controlado mediante el volteo de la pila, que se ejecutó al menos tres veces durante el proceso de compostaje. En suma, en algunas ocasiones se realizaron labores de punción de las pilas con palos de madera que luego

se extraían, o la incisión de tubos dentro del montón que no eran extraídos y se dejaban con un extremo dentro de la pila y otro en la parte de afuera con acceso a las condiciones ambientales.

Cuando las características físicas de la pila hubieran cambiado hacia los indicadores de madurez y la temperatura se mantenía estable en valores cercanos al ambiente se consideraba terminado el tratamiento de compostaje y se dejaba el montón una semana para lograr una corta fase de maduración. Luego, se cuantificó la masa del producto del proceso de compostaje y se procedió a llevar este material al lombricultivo.

Para agilizar el procesamiento de la materia orgánica por parte de las lombrices de tierra, a partir de la segunda pila de compost se efectuaron labores de zarandeado para separar las fracciones gruesas y fina del compost. El tamiz fue un cedazo de metal con un diámetro de poro de 2 cm. De igual forma se cuantificaron los valores de los dos cortes de material. La fracción fina se incorporó al lombricultivo y en el caso de la parte de mayor tamaño en algunos casos se reincorporó al sistema en una pila siguiente, lo cual fue llamado merma.

Durante el proyecto se evaluaron distintos sitios para la ubicación del montón de compostaje, algunos ubicados dentro de las instalaciones del lombricultivo y otros a la intemperie. En ambos casos también se experimentó en condiciones soleadas y bajo sombra. Para las pilas dispuestas en las afueras fue necesaria la cobertura con plástico negro tipo construcción o lona para repeler las lluvias (véase *Figura 6*), principalmente porque el emprendimiento se realizó en la llamada época lluviosa para el sitio del estudio.



Figura 6. Cobertura aplicada a las pilas de compost. La lona y el plástico protegieron a las pilas de la lluvia de forma que se podía controlar la humedad de las mismas.

Diagrama del proceso de compostaje

El siguiente es un diagrama que resume las actividades realizadas en la fase de compostaje del proyecto de manejo de desechos en la comunidad.

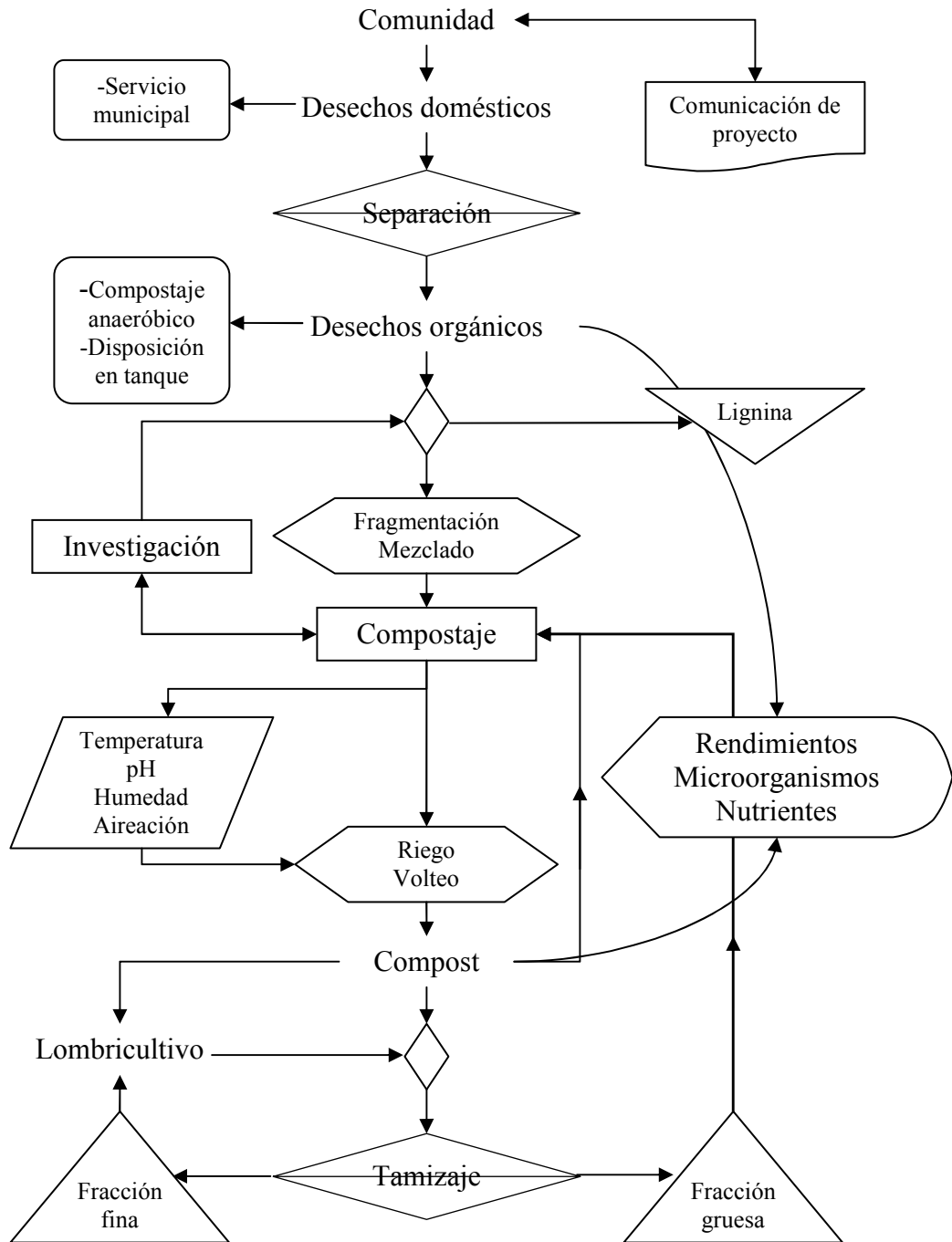


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de compostaje del proyecto.

Resultados y Discusión

Comunicar e involucrar a la comunidad

El primer resultado positivo del proyecto fue el acogimiento por parte de la comunidad al proyecto. Sin embargo, cabe mencionar que esta situación era una deducción esperada por ser en su gran mayoría los habitantes de esta zona allegados al ejecutor, y en muchos casos existían relaciones de parentesco. Sin embargo, menospreciando este antecedente, el emprendimiento fue visto dentro de la sociedad modelo como una alternativa beneficiosa para la comunidad.

Principalmente la actividad vino a rescatar del sistema de recolección municipal una fuente energética de fácil acceso, los llamados desechos orgánicos (Blobaum *et al.* 1979, Deffis 1994). La mayoría de las casas de la calle Los Chayotes disponían esta fracción en el servicio municipal. Únicamente tres de las casas utilizaban estos componentes para algún tipo de tratamiento de desechos propio. En uno de los casos se utilizaban en la fabricación de compostaje casero, de forma anaeróbica con tiempos de procesamiento cercanos a un año. Las otras dos casas disponían de los desechos en un tanque (hueco en la tierra de alrededor de 1 m de profundidad por un área variable) ubicado en un lote cercano (véase *Figura 8*).

Sin embargo, estas tres formas de manejar los desechos orgánicos no permitían la obtención de beneficios amplios, además de que no eran totalmente adecuadas. La recolección municipal es la que debería ser mejorada en mayor medida, pues ella busca únicamente deshacerse de los desechos sin pensar en los posibles beneficios que de ellos se puedan generar. La disposición de los desechos sin ser clasificados en un relleno sanitario plantea la eximia necesidad de correcciones al método, primordialmente por el desperdicio de recursos aun en capacidad de ser utilizados; hállese por ejemplo de material reciclable y materia orgánica (Salazar y Corrales s.f.). En estos lugares son múltiples las posibilidades de aplicación de emprendimientos con el fin de brindar soluciones ambiental y socialmente apropiadas (Zepeda 1995).

El compostaje anaeróbico no lograba hacer un uso eficiente del recurso tiempo, puesto que demoraba amplios periodos para obtener un producto de no mucho valor agregado. Este tipo de compostaje es solamente aceptable si no existiese la disponibilidad de mano de obra, situación totalmente contraria al entorno de las ciudades (BM 2000) donde se reconoce la problemática del desempleo mayoritariamente para personas no calificadas (PNUMA 2000). Por lo tanto, las personas que efectuaban este tipo de procesamiento de la materia pudieron haber

involucrado mano de obra en actividades de volteo de la pila, aunque fuera de forma ocasional, trayendo beneficios para la comunidad en cuestión.

La disposición de los restos orgánicos en un tanque, por parte de un porcentaje de la población en estudio, tampoco era un método propicio para el manejo de los desechos. Esta se realizaba a “cielo abierto” por lo que los desechos estaban accesibles para múltiples plagas como las moscas y roedores (véase *Figura 8*). Así, esta práctica podría más bien traer consecuencias negativas sobre la salud de la población en estudio, en vez de generar beneficios. En el tanque se generaba también un tipo de compostaje anaeróbico por lo que de nuevo la eficiencia del proceso podía mejorarse. No obstante, en estos dos casos se daba un aprovechamiento del producto generado pues se recolectaba el material para la distribución en los jardines de esas casas.



Figura 8. Manejo ordinario de los desechos orgánicos domésticos. Dos de las casas involucradas en el proyecto depositaban sus residuos en este sitio.

Clasificación, separación, recolección y cuantificación de los desechos

Una vez iniciado el proyecto, uno de los aspectos más importantes para destacar en la fase de clasificación y separación de los desechos orgánicos fue que esta labor fue realizada propiamente en la fuente (Salazar y Corrales s.f., Botero

2003⁴, Rodríguez 2003) (véase *Figura 9*). La ubicación de los basureros, por iniciativa de las personas de la comunidad, en el área de la cocina demostró que este recinto es donde mayoritariamente se generan los desechos orgánicos en una casa de habitación (Rodríguez 2003). Los desechos recolectados fueron el producto de la preparación de los alimentos o los alimentos en sí. En ellos pudieron contemplarse cáscaras de frutas, verduras y huevos, restos de alimentos no consumidos o descompuestos, bosorolas de café, bolsitas de té, envolturas de tamal, y otros materiales orgánicos. Esta mezcla heterogénea de desechos fue considerada por la naturaleza de los mismos como un componente rico para la elaboración del compost. Es decir, la relación C:N fue estimada baja y los desechos poseían una proporción energética alta (Díaz *et al.* 1993, Stewardship Gardening 2003).

Una observación importante fue que una amplia proporción de los desechos colectados fueron depositados en bolsas de supermercado reutilizadas, de manera que se estaba al mismo tiempo poniendo en práctica una actividad ambientalmente correcta (Salazar 2001, Fournier 2002), sin necesidad de ser incentivada. Esto manifiesta que en la población en estudio existía una conciencia ambiental sobre la cual podría generarse varias iniciativas en pro del medio y la ecología.



Figura 9. Separación de los desechos en la fuente. Dos tipos de basureros para la clasificación de los desechos; basurero azul: orgánicos y basurero verde: ordinarios.

⁴ Botero, R. 2003. Manejo de desechos orgánicos institucionales (gira/ entrevista). Guácimo, CR, EARTH (Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda, CR).

La cantidad de desechos domésticos producidos por la comunidad fue bastante variable a través de la ejecución del proyecto (véase *Cuadro 3*). Esta situación puede ser explicada considerando que en varias ocasiones alguna de las familias se ausentó durante varios días de la zona de estudio por lo que se dio la consecuente disminución en la carga del proyecto. Pero, no importando la cantidad de desechos domésticos colectados siempre fue posible la elaboración de una pila de compost de un tamaño aproximado de 0,8- 1,2 m, y el caso de que esta fracción fuese significativamente baja se efectuó una compensación con algún otro tipo de material rico, como el zacate.

Cuadro 3. Desechos domésticos colectados en la comunidad de la calle Los Chayotes, San Sebastián, San José a lo largo de 15 semanas de recolección.

Semana	Fecha	Total Semana (kg)
1	28/06/2003	91,060
2	05/07/2003	80,560
3	12/07/2003	79,120
4	19/07/2003	70,340
5	26/07/2003	64,140
6	02/08/2003	84,820
7	09/08/2003	81,760
8	16/08/2003	89,310
9	23/08/2003	84,340
10	30/08/2003	62,910
11	06/09/2003	55,850
12	13/09/2003	70,200
13	20/09/2003	60,750
14	27/09/2003	65,850
15	03/10/2003	84,500
Promedio		75,030
Total Proyecto		1 125,510

Fuente: Datos de campo.

Sin embargo, la cantidad de materiales ricos en la pila fue en un momento demasiado alta, propiciando en la pila de compost relaciones C:N demasiado bajas. Se pudo ver que la heterogeneidad de los materiales domésticos fue en ocasiones contraproducente. Cabía la posibilidad de que esta fracción fuera muy variable en cuanto a su contenido energético, aunado a algunos problemas con materiales altos en proteínas (fuente de nitrógeno) como los restos de animales cocidos. Y aun cuando se utilizaron diversos materiales, como el aserrín, con el fin de equilibrar la proporción, esta situación fue la responsable de una importante parte de la problemática en el manejo de los montones. Principalmente se dio la producción de

malos olores, por la volatilización de NH_4 , y la generación de pudriciones, que condujo a otra serie de problemas que se abordarán más adelante.

La otra fuente importante de desechos orgánicos fueron los desechos del jardín. Por su naturaleza, las zonas verdes son productoras únicamente de este tipo de residuo. No obstante, este tipo de componente no tuvo una importancia amplia en el proyecto principalmente por las características de los componentes que constituyen esta materia orgánica. A excepción de los restos de podas de zacate y pastos, los demás desechos son altos en contenidos de lignocelulosa, complejo de polímeros estructurales de las paredes de las plantas (Flores- Vindas 1999). Esta estructura, si es alta en lignina, es de muy difícil degradación por parte de los organismos descomponedores presentes tanto en el compostaje como en el lombricultivo, como pudo comprenderse a través de la investigación sobre el tema. Si no fuese así, los otros compuestos presentes en este complejo, que son la celulosa y hemicelulosa, servirían como principal sustrato de carbono y energía para los microorganismos en la producción de compost. Pero debido al componente alto lignocelulósico de los materiales del jardín se definió esta fracción como recalcitrante (Lynch 1992) y, al cabo de seis semanas, se eliminó del sistema todo material proveniente de los jardines de la comunidad, excepto los pastos y zacates. Estos últimos más bien fueron excelentes insumos para mezclar en las pilas de compostaje pues su relación C:N es similar a la ideal (Díaz *et al.* 1993).

Sin embargo, algunos de los habitantes, a instancia del ejecutor, empezaron a depositar las materias producidas en sus jardines en un tanque acondicionado para este propósito (véase *Figura 10*). De esta forma se evitó la disposición de estos residuos en el servicio municipal de recolección de desechos. Este tanque, de amplias dimensiones, fue rápidamente llenado manifestándose los extensos volúmenes de este tipo de desecho producido en la comunidad consecuencia de la presencia de áreas verdes considerables en las casas de una sociedad de clase media. Esta biomasa se convirtió en una fuente potencial de sustrato para la extensión de la actividad de lombricultivo al cabo de la culminación del proyecto. Se recomendaría para este fin una fragmentación extensiva (picado fino) de los componentes con el fin de hacer más disponible los compuestos de fácil degradación y para aumentar la superficie de exposición al ataque de la actividad enzimática microbiana presente en el compostaje y vermicompostaje.



Figura 10. Desechos de jardín altos en contenidos de lignocelulosa depositados en tanque. En este momento ya el lugar estaba lleno por los residuos.

Compostaje

Generalidades

El compostaje fue disímil en cada una de las pilas debido a las múltiples variables que se tuvieron en cada uno de los procesos. Vale destacar que no se buscó dar una uniformidad al proceso de compostaje por las siguientes situaciones. En cuanto a los componentes de la pila, se procuró no aplicar un mismo porcentaje de materiales sino el tratamiento de toda la materia orgánica generada en esa semana en la comunidad, pero buscando una relación de componentes adecuada. Esto por su parte generó que las variantes en cuanto a la cantidad y componentes fuera amplia en el proyecto, como puede observarse en la *Tabla 3* en **Anexo 3 Datos y gráficos**. En suma, la disponibilidad de espacio indujo a ocupar distintos ambientes, soleados y sombreados, dentro y fuera de las instalaciones, de forma que se generó incluso mayor sesgo. Más allá, el proceso de compostaje no fue dejado sin gobierno sino que se dirigió mediante la aplicación de medidas que, en la mayoría de los casos, fueron de tipo correctivas e individuales para cada pila en particular. Lo anteriormente descrito es justificado a la luz del objetivo general del proyecto que pretendía dar un adecuado tratamiento a la fracción orgánica de los desechos comunitarios y acorde con lo mencionado por BUN (1993) que discute que el compostaje es un proceso particularmente heterogéneo por las situaciones antes rescatadas. En el siguiente

cuadro se resumen algunas de las particularidades presentes en cada una de las pilas compost.

Cuadro 4. Rasgos característicos de cada pila de compostaje elaboradas durante el proyecto en la calle Los Chayotes, San Sebastián.

Compost	Ambiente	Componentes	Diagnósticos	Manejo
1	Interno soleado		-Baja humedad	-Riego
2	Externo soleado	Poca cantidad de tierra	-Exceso humedad	-Excavación impermeabilizada -Adición de hojas bosque
3	Interno sombreado		-Malos olores	-Cobertura con tierra
4	Externo sombreado			-Excavación impermeabilizada
5	Externo soleado		-Exceso humedad -Malos olores -Invasión de moscas	-Excavación impermeabilizada -Adición de aserrín
6	Interno soleado	Tierra abundante	-Baja humedad	-Riego con lixiviados
7	Externo sombreado	Doble carga desechos domésticos		-Riego con lixiviados -Inserción de tubos -Sobre matriz porosa
8	Externo soleado		-Atracción de lombrices nativas	-Excavación sin impermeabilización
9	Externo sombreado	Zacate abundante	-Invasión de moscas	-Adición melaza
10	Externo sombreado	Doble carga desechos domésticos		-Inserción de tubos -Sobre matriz porosa -Adición melaza
11	Externo soleado	Burucha		-Adición melaza
12	Externo sombreado	Burucha		-Adición melaza
13	Externo soleado	Burucha		-Adición melaza -Excavación sin impermeabilización

Fuente: Datos de campo.

A través del proyecto fueron aumentando la cantidad y diversidad de los materiales disponibles para la elaboración de la pila de compost, lo cual fue bastante beneficioso al extender la variedad de componentes de rasgos distintos, en tamaño,

biología y nutrientes, que vinieron a facultar una más fácil obtención de las relaciones deseadas para una descomposición eficiente (Due North Resources 2003).

Por lo tanto, a continuación en este apartado no se hará referencia a todas las pilas de compostaje efectuadas sino solamente a aquellas que por sus condiciones específicas mostrasen algún tipo de comportamiento particular de importancia sobre el que hubiese sido necesario la aplicación de medidas correctivas o que condujesen a una respuesta diferenciada al término del proceso. Se hará mayor énfasis en los problemas que se vieron y en las acciones propiamente dichas realizadas como forma de dirigir el proceso de compostaje.

Manejo

El manejo, como se dijo con anterioridad, consistió el mantenimiento de una buena aireación en la pila así como lograr una humedad adecuada dentro del montón de compostaje. También, a partir de los datos recolectados mediante la medición de la temperatura y el pH, pudo darse el monitoreo del proceso de compostaje para poder comprobar el acondicionamiento de la materia orgánica en procura de un sustrato facilitado para las labores del lombricultivo. Una herramienta más fue la observación de lo que físicamente le estaba ocurriendo a los materiales presentes en la pila de compost.

El cambio en las características físicas de la pila del compost fue una evidencia muy papable del avance del proceso de descomposición. En pocas semanas, el montón había pasado de un color vivo hacia los característicos colores grisáceos y marrones de una pila madura (véase *Figura 11*), lo cual para algunos autores no es suficiente indicativo de maduración en la pila de compostaje (Fariás *et al.* 1999). Además, la granulometría de los componentes fue bajando hacia partículas de menor tamaño; y esto consecuentemente produjo una compactación de la pila, que en algunos de los casos fue perjudicial pues le restó aireación al disminuir los espacios intersticiales ocupados por oxígeno, provocando zonas anaeróbicas en la pila (Díaz *et al.* 1993, Coyne 2000). Los componentes primariamente introducidos fueron poco a poco perdiendo sus rasgos propios para dar paso a una masa heterogénea de agregados de distintos tamaños. Al final del procesado se observó como una extensa población de organismos, principalmente insectos habían penetrado en la pila de compostaje.

La suma de estos cambios permitió determinar que el compost ya se encontraba listo para la fase de lombricompostaje del proyecto. Esta situación se dio al cabo de 6 semanas transcurridas desde el establecimiento de la pila. La última semana del proceso transcurrió teniendo el material tamizado para favorecer los

procesos de maduración. Conforme fue avanzando el proyecto se notó una disminución en el tiempo requerido para lograr un compost acondicionado. Esto se debió a que al progresar las labores de compostaje la biología del compost se fue incrementando, aumentándose los microorganismos más eficientes en el procesamiento de la materia orgánica presente en las pilas, además de que se fueron concentrando en el montón mayor diversidad de estos organismos (Díaz *et al.* 1993). Por lo tanto, para darle mayor uniformidad al proyecto, todas las pilas, a excepción de la primera, fueron tratadas por 6 semanas.

No obstante, debido a los plazos previstos para la ejecución del proyecto la primera pila de compostaje fue concluida antes de que esta hubiera alcanzado todos los estándares de maduración. La misma solamente se procesó durante 4 semanas. Esta situación tuvo que darse pues en esta semana el lombricultivo ya se había establecido y el sustrato en el que venía el núcleo de lombrices estaba empezando a escasear. Además, se sabe que para lograr un vermicompost de calidad superior el procesamiento de la materia inoculada debe durar al menos 4 meses en el lombricultivo (Curso de Lombricultura 2003), término únicamente alcanzable si se iniciaban las actividades en ese instante del desarrollo del proyecto. Sin embargo, estas circunstancias no impidieron que este compostaje llegara a la fase de maduración, etapa que probablemente se terminó de ejecutar en el lombricultivo, pues es este momento la cantidad de lombrices y el sustrato original no representaba un gran volumen en la cama y los oligoquetos no consumieron todo el material inoculado de forma rápida.

Vale hacer mención que al ser el compostaje un proceso de descomposición biológica, este tiene las múltiples ventajas y limitaciones que caracterizan a los sistemas vivos (Díaz *et al.* 1993), siendo las desventajas más importantes que afectaron esta fase la baja tasa de procesamiento y ser poco predecibles los procesos involucrados. Es más, es afectado por todos los factores que influyen directamente o indirectamente en el metabolismo microbiano (Farías *et al.* 1999). Por lo tanto, fue bastante difícil determinar con precisión el tiempo necesario para lograr un material suficientemente acondicionado para las labores de las lombrices *Eisenia foetida*.

Entre las características que se pretendieron para este tipo de material están: partículas de bajo diámetro, bajo nivel de agregación entre los componentes, material bajo en humedad, olor a tierra de bosque, presencia de distintos tipos de insectos y lombrices nativas y ausencia de hormigas. Este último aspecto es importante de mencionar pues los formicáridos son uno de los mayores enemigos de las lombrices de tierra pues compiten con estas en la disponibilidad de alimento (Curso de Lombricultura 2003). Las hormigas y las lombrices son consumidores de materia

orgánica en la misma fase de descomposición. Si el compostaje se llevaba al lombricultivo con las hormigas habría sido perjudicial pues se desencadenaría una competencia por el sustrato. Una de las estrategias para evitar la invasión por parte de hormigas en las pilas de compostaje fue mantenerlas cercanas al nivel máximo de humedad permitido en el proceso, y así se evitaba la presencia de este insecto que prefiere condiciones de baja saturación de agua.



Figura 11. Evolución de las características físicas de una pila de compost. a) 1º semana; b) 2 semana; c) 3º semana; d) 4º semana; e) 5º semana, f) semana de maduración (material tamizado).

Un fenómeno que se observó fue la formación de algunas raíces dentro de las pilas de compost (véase *Figura 12*). Esta situación se incrementó cuando la sombra de la pila provenía de plantas musáceas (bananos y plátanos). Esta familia de plantas al ser monocotiledónea tiene la característica de desarrollar un sistema radicular fibroso (Flores- Vindas, 1999), por lo que sus raíces son mayoritariamente superficiales. Así, muchas de estas invadieron la pila en donde encontraron la ventaja de un ambiente oscuro, cálido y nutricionalmente rico para su desarrollo.



Figura 12. Rizogénesis dentro de una pila de compostaje. Obsérvese la amplia presencia de primordios radiculares y raíces ya maduras.

Aireación

Además de las labores de volteo de los montones de compostaje, efectuadas aproximadamente en la segunda, cuarta y quinta semana del proceso, se pusieron en práctica tres modificaciones al tipo de procesamiento del compostaje que se comprobaron fueron bastante beneficiosas al mejorar la variable de disponibilidad de oxígeno. Ellas fueron: la inserción de tubos a la pila, la colocación de la pila sobre material poroso y la sustitución del aserrín por burucha.

Siendo más preciso, las variables que mejoraron la aireación de la pila potenciaron condiciones aeróbicas extendidas en toda la pila. Esto pues se conoce que en el contexto interno de un montón son múltiples los ambientes producidos, muchos de ellos dándose en condiciones anaeróbicas (Díaz *et al.* 1993). Así, la

introducción de tubos al montón (véase *Figura 13*), o en su forma más primitiva la punción con palos de madera, permitía una oxigenación de la zona que se comunicaba a través del espacio de tubo con las condiciones ambientales. Los huecos que se excavaron para el tratamiento del compost, una vez que fueron terminadas las primeras pilas localizadas en esos sitios, fueron rellenos con materiales de grandes dimensiones por lo que se logró una matriz de alta porosidad. Estos materiales fueron principalmente tallos y ramas, hojas de grandes tallas y otros materiales provenientes de las mermas del compostaje. Así, la pila que se colocaba sobre esta matriz tenía un acceso de oxígeno garantizado en las partes inferiores de la pila, zona que se conoce sufre de bajo niveles de aireación (Díaz *et al.* 1993). La burucha por ser un material de mayor tamaño que el aserrín propició una mayor porosidad en toda la extensión de la pila, espacios que fueron primordialmente ocupados por aire, fomentando condiciones aeróbicas en la pila.



Figura 13. Modificación al proceso de compostaje. Introducción de tubos para fomentar mejores condiciones aeróbicas dentro de la pila.

Humedad

El mantenimiento de una humedad cercana al 60 % fue en ocasiones difícil, ya fuera por la gran cantidad de luz a la que se exponían los montones o por las abundantes lluvias que mojaban de cierta forma las pilas, aun cuando estuvieran cubiertas. Sin embargo, sí se efectuó el control de la humedad por medio de la prueba del “puño cerrado.” En el caso de que la humedad fuese relativamente baja se

procedió a regar los montones secos con agua y en algunos casos con el lixiviado proveniente de las camas del lombricultivo. Este líquido se sabe es alto en flora microbiana degradadora (De Sanzo y Ravera 2000, Curso Lombricultura 2003) por lo que a la vez se estaban inoculando microorganismos. En dos casos, compost 2 y 5, fue necesario tomar medidas correctivas para bajar la humedad lo que se realizó añadiendo materiales secos a la pila, principalmente aserrín. La humedad es demasiado importante dentro de un proceso de compostaje porque su equilibrio permite que exista disponibilidad de agua sobre las superficies sólidas facilitando el movimiento, metabolismo y difusión de compuestos solubles (Coyne, 2000), aumentando la tasa de descomposición. Al contrario un exceso de humedad ocasionaría la interrupción de la difusión del oxígeno creando condiciones de anaerobiosis. Justamente por esta situación, más que por la compactación de los componentes de la pila, es que pudieron evidenciar las condiciones de anaerobiosis por el eventual desprendimiento de los compuestos volátiles de olor penetrante.

El aumento en la carga biológica por el riego con lixiviados y la integración de materiales provenientes de compostajes anteriores a la pila, que se sabe están cargados de extensas comunidades de microorganismos previamente adaptados a los ambientes dentro de las pila de compostaje (Díaz *et al.* 1993), indujo a que conforme fue avanzando el proceso en las pilas de compost se fuera seleccionando una gama de microorganismos de amplia capacidad para degradar los componentes presentes en el montón realizado. La extensión de la población de descomponedores fue beneficiosa al propiciar mayores interacciones entre los distintos organismos involucrados en el procesamiento de los desechos orgánicos (Madigan *et al.* 1999). Así, se pudo comprobar experimentalmente que los tiempos necesarios para lograr un compostaje maduro se fueron reduciendo al avanzar el proyecto.

Una estrategia que se comprobó era perjudicial para el proceso de compostaje fue la excavación de un hueco y su posterior impermeabilización con plástico para las labores de compostaje. De esta forma se evitaba la infiltración del exceso de humedad de la pila de compost. Además, cuando esta pila se encontraba expuesta a las lluvias abundantes, como en el compost 5, el agua se encharcaba en el fondo del plástico produciéndose en esta zona de la pila abundancia en la anaerobiosis. Esta situación provocó una pudrición de la materia orgánica en lugar de descomposición controlada en este montón.

En suma, se pudo advertir como la presencia de plásticos atrajeron a las babosas hacia este material, lo que luego se tradujo en una incursión de estos organismos a los materiales en descomposición. Esta situación fue negativa pues este animal también compite con las lombrices por la disponibilidad de alimento (De

Sanzo y Ravera 2000). En cambio el material de lona utilizado para cubrir a las pilas de compostaje no fue tan atractivo para las babosas.

Temperatura

Las temperaturas dentro de las pilas de compost durante la ejecución del proyecto pueden consultarse en su totalidad en **Anexo 3 Datos y gráficos**. El siguiente cuadro es un resumen de las temperaturas máximas y mínimas, así como el promedio para cada una de las pilas de compostaje. La máxima temperatura alcanzada en el compostaje fue de 56 °C para el montón 7 y la mínima fue de 24 °C para la pila 7 también. El promedio más alto de temperatura fue para la pila 10 y el más bajo para el compostaje 5.

Cuadro 5. Temperaturas máximas, mínimas y promedio alcanzadas por las distintas pilas de compost.

Compost	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura promedio (°C)
1	47	33	41,2
2	49	29	38,4
3	45	28	37,8
4	47	32	40,5
5	43	26	35,7
6	49	28	39,3
7	56	24	37,6
8	52	28	38,6
9	48	34	41,1
10	50	34	42,0
11	50	31	40,6
12	50	32	41,5
13	50	29	38,9
Promedio	48,92	29,85	39,48

Fuente: Datos de campo.

La particularidad sobre la que se cree recayó que el compost 7 fuera el más caliente fue el hecho que en él se lograron combinar tres factores: un volumen alto de materiales dentro de la pila de compostaje, favoreciendo un montón de grandes dimensiones que pudo conservar mejor el calor de manera interna; la diversidad de materiales dentro de la pila, generando una relación de C:N cercana a la ideal; y las condiciones aeróbicas extendidas dentro de la pila, producto de las modificaciones efectuadas en este ensayo de compostaje. Al mismo tiempo, esta pila fue la que

alcanzó una temperatura menor, lo que se puede justificar al realizar que la temperatura máxima fue alcanzada al amparar una población amplia de microorganismos que probablemente ejercieron una presión sobre los recursos alimenticios de forma rápida, dejando muy poco material energético para las etapas de maduración.

En cuanto a las temperaturas que se obtuvieron en las distintas pilas de compostaje es importante destacar que únicamente en el compost 7 se logró una elevación térmica suficiente como para garantizar una pasteurización o un PSRP (siglas en inglés para Proceso que Significativamente Reduce Patógenos) según la agencia estadounidense EPA (CIWMB, 2003 a). Así, a esta temperatura varios patógenos como *Salmonella*, *Shigella*, *Taenia*, *Escherichia*, *Streptococcus* son eliminados en tiempos cercanos a una hora reduciendo potencialmente el riesgo para la salud (Madigan *et al.* 1999, CIWMB 2003 a).

Facultar condiciones de temperaturas más altas en las pilas fue una de las premisas de esta fase del proyecto. Se tiene que este parámetro de temperatura logra resumir la actividad microbiana que se está dando en un preciso momento en el montón (BUN 1993). Además, la actividad microbiana puede doblarse o triplicarse por cada aumento de 10 °C (Madigan *et al.* 1999) por lo que lograr un aumento de la temperatura en este rango pudo haber disminuido el tiempo del proceso, así como garantizar la eliminación de otros organismos dañinos presentes en el compost.

Más allá, la introducción de melaza en el montón vino a magnificar el componente energético dentro del mismo, en procura de un crecimiento extendido de los microorganismos. Es más, al adicionar un compuesto de tan fácil disponibilidad como principio energético, se facultó la multiplicación de microorganismos menos específicos en el uso del material carbonado como fuente de energía (Restrepo 2001). Esto condujo por lo tanto a una mayor elevación térmica dentro de la pila. Recuérdese que la melaza además inocula nutrientes como el potasio, calcio y magnesio. Este cambio en el tratamiento del compostaje pudo haber sido el causante de la elevación en la temperatura promedio de la pila 10, al darle a la misma una fuente adicional de energía sobre la cual podría sostener por mayor tiempo el crecimiento microbiano extendido.

Al contrario, la baja temperatura promedio de la pila 5 fue más bien por la ausencia de condiciones aeróbicas en la pila que permitieran el crecimiento de flora microbiana dependiente de oxígeno. Se sabe también que los microorganismos anaeróbicos son menos eficientes en la degradación de materia orgánica, por lo tanto su capacidad reproductiva fue menor, incidiendo en la totalidad de descomponedores.

Nótese también que el promedio general de temperatura fue 39,48 °C, muy cercano al rango en el que la biología del compost cambia de flora mesófila a termófila. Esta situación es importante de destacar pues según Hibbits (1977) los montones pequeños, como los elaborados en este proyecto, tienden a tener una pausa en la elevación térmica en el rango de los 40 °C.

pH

El control de la acidez presente en el compostaje fue una labor importante, sobre todo al finalizar el procesamiento. Verificar el pH del producto permitiría prever la asimilación del compost por parte de las lombrices en el lombricultivo. Se pudo denotar un rango de pH en las pilas de compost desde 5 hasta 9, siendo los valores básicos más frecuentes que los números bajos, lo que fue beneficioso e imprevisto. La totalidad de los datos de pH se pueden consultar en **Anexo 3 Datos y gráficos**. Es importante destacar que aunque los microorganismos, en especial las bacterias, prefieren valores de pH alrededor de 5 (Madigan *et al.* 1999), los cambios drásticos en el pH de las pilas hacen ver que los ambientes fueron cambiando permitiendo el desarrollo de varias especies que aprovecharon los distintos nichos existentes o que toleraron los diferentes rangos de pH.

Además, la ausencia de pH extremos admitió eliminar la medición de este parámetro del estudio, sin afectar los resultados generales del proceso (Diaz *et al.* 1993). No obstante, es importante recalcar que aunque se efectuó la medición del pH, el instrumento utilizado, entendiéndose papel pH, no fue el apropiado; si la pila se encontraba desecada en extremo la medición era casi imperceptible, pues la misma se fundamentaba en el cambio en la coloración del papel producto de la penetración de las soluciones presentes en el compost. Se recomienda la utilización otra técnica o instrumento para lograr una cuantificación más certera de este parámetro, además de efectuar una comprobación a la hora de alimentar con el compost el lombricultivo para que no se produzca un desequilibrio de acidez en la cama.

Tamizaje

Se advirtió, luego de la conclusión de la primera pila de compostaje, la gran cantidad de material de grandes dimensiones que llegarían al lombricultivo. Debido a la poca disponibilidad de tiempo del proyecto, se tomó entonces la decisión de efectuar labores de separación de las fracciones gruesa y fina, siendo esta última la única que llegó al tratamiento de vermicompostaje. Recuérdese que el proyecto, al fundamentarse en la acción microbiana sobre los compuestos, se verá favorecido en todo caso en que se disminuya el tamaño de las partículas a tratar pues se estará

aumentando consecuentemente el área superficial de exposición a la degradación (Solomon *et al.* 1996, Madigan *et al.* 1999).



Figura 14. Zaranda con la que se efectuaron las labores de separación de los materiales gruesos y finos del compost. Obsérvese los dos tipos de fracción y sus volúmenes: gruesa (adelante, escaso) y fina (debajo, abundante). Detrás se notan otras pilas de compostaje.

La selección de un tamaño de poro de 2 cm residió en que se permitiría la separación de todo material de dimensiones mayores, dejando solamente la fracción más ligera del compostaje. Los materiales que principalmente se observaron luego de efectuar la separación a través de la zaranda se clasificaron en tres tipos: materia inorgánica, materia orgánica con lignocelulosa y materia orgánica sin lignocelulosa de grandes dimensiones. Las labores de tamizaje del compost permitió dilucidar que mayoritariamente la fracción gruesa del compost eran materiales no degradables inorgánicos como piedras y trozos de ladrillos, y otros materiales orgánicos como hojas viejas y tallos y ramas (véase *Figura 15*) con contenidos importantes de lignocelulosa. Este tipo de compuesto orgánico proporciona una protección adicional ante la degradación microbiana como anteriormente se mencionó. Los materiales de naturaleza orgánica si bien podrían haber sido en alguna manera degradados en el vermicompostaje, los cortos tiempos disponibles para el procesamiento socavaron las intenciones de tratar la mayoría de los desechos orgánicos producidos en la

comunidad modelo. No obstante como puede apreciarse en el *Cuadro 6* la fracción gruesa no tuvo tanto significado en la totalidad del producto de compostaje.



Figura 15. Material grueso proveniente una pila de compost. Apréciase los materiales no orgánicos como el resto de ladrillo.

Cuadro 6. Fracciones gruesa y fina de las pilas de compostaje después de ser tamizadas.

Compost	Total (kg)	Fino (kg)	Grueso (kg)
1	93,52	No cuantificados	
2	96,76	86,60	10,16
3	111,00	91,75	19,25
4	138,50	123,00	15,50
5	75,65	64,30	11,35
6	113,30	96,80	16,50
7	155,00	99,50	55,50
8	124,70	94,75	29,95
9	151,00	127,00	24,00
10	235,75	210,00	25,75
11	124,00	103,00	21,00
12	113,00	100,00	13,00
13	135,50	116,50	19,00
Promedio	128,28	109,43	21,75

Fuente: Datos de campo.

Plagas

Uno de los problemas que se enfrentaron en la fase de compostaje de los desechos orgánicos fue la presencia de plagas dentro de la pila. Dos diferentes tipos de plagas tuvieron que ser combatidas: moscas y roedores.

Se conocía de la presencia de moscas en los alrededores por los ambientes pocos alterados y bastante extensos en las cercanías de las instalaciones del proyecto. Estas constantemente merodeaban en las inmediaciones inclusive antes de iniciarse la recolección y efectuarse las primeras pilas de compostaje. Sin embargo, dos situaciones incrementaron esta problemática. Una fue la mayor cantidad de lluvias que empezaron a caer en la zona a partir de setiembre, segundo mes del proyecto. Al incrementarse la humedad se habilitaron mayor cantidad de ambientes propicios para la reproducción de esos organismos. Otra fue la gran cantidad de frutas maduras que caían en los suelos de las periferias (véase *Figura 16*); lo que se incrementó con la entrada en temporada de fructificación de las guayabas y cases, árboles de los más representativos en la comunidad. Así, se aumentó de nuevo un sustrato ventajoso para que los dípteros ovopositaran y sus larvas alcanzaran la madurez.



Figura 16. Presencia de frutos maduros en la comunidad por la temporada. Se puede observar una mosca alimentándose y probablemente ovopositando en la fruta.

Esta plaga invadió en varias ocasiones las pilas de compost atraídas tanto por la presencia de materiales altos en proteínas como por las condiciones de putrefacción que en algunas oportunidades fueron desarrolladas en los montones. Los contextos anteriormente descritos ocasionaron que se diera una liberación de olores penetrantes, ocasionados por la volatilización del componente nitrogenado. Así, se facultó la atracción de las moscas que llegaron tanto a alimentarse como a reproducirse en las pilas de compostaje. El material en compostaje fue ideal para que los huevecillos y

las larvas realizaran su desarrollo pues les proporcionaba de alimento, humedad y calor adecuados para completar su metamorfosis (véase *Figura 17*).



Figura 17. Presencia de una mosca en las ultimas fases de metamorfosis dentro de una pila de compostaje. Apréciase la presencia de estructuras larvales como la presencia de cola.

Una característica importante de resaltar de la problemática de las moscas fue que estas en su mayoría poseían colores metálicos y sus larvas eran de gran talla de color blancuzco, características de los califóridos que se asocian a material con alta cantidad de proteína en estados de putrefacción (Curso Lombricultura 2003).

En la medida de lo posible se trató de eliminar o controlar las moscas aplicando medidas que intentaran garantizar condiciones aeróbicas, lo que provocaría una elevación térmica que eliminara por calor el desarrollo de las larvas. El volteo ayudó a aumentar los espacios ocupados por oxígeno además de que al efectuarse esta labor hubo mayor contacto de los componentes en el montón con las condiciones ambientales permitiéndose una mayor liberación de humedad. De igual forma, la aplicación de melaza procuró elevar el componente energético para potenciar el crecimiento microbiano que desencadenara la elevación térmica. También se intentó eliminar las larvas al aplicar riego con lixiviados provenientes del lombricultivo, que se conocen son ideales para el tratamiento contra moscas en las camas (De Sanzo y Ravera 2000, Curso Lombricultura 2003).

La otra plaga que afectó al compostaje fueron los roedores. Estos mamíferos excavaron galerías dentro de los montones de materia en descomposición (véase *Figura 18*) en busca de refugio contra las abundantes lluvias, ya que estos se encontraban protegidos de la intemperie por los materiales cobertores. A su vez, ellos intentaban nutrirse principalmente de materiales alimenticios que se encontraban en las pilas de compostaje. Cabe cuestionarse si este tipo de evidencia en las pilas de compostaje fue realmente provocada por este tipo de animal, pues se conoce que los sapos y ranas también construyen galerías pero de una forma estrecha y profunda (Curso Lombricultura 2003).

Sin embargo, no fueron tan perjudiciales como las moscas y solamente cuando hubo múltiples pilas de compostaje en un sector muy reducido pudo observarse más de un individuo deambulando entre la materia de estudio. No obstante, sí es de tener en consideración la aplicación de medidas para su combate pues estos animales son transmisores de virosis como el hantavirus (Curso Lombricultura 2003).



Figura 18. Cavidades dentro de una pila de compost elaboradas por la acción de roedores.

La presencia de otros tipos de animales, principalmente insectos de distintas clases, prevaleciendo los ápteros (sin alas), cien y mil pies, bichitos bolita de color blanco, fueron más bien indicadores de un compostaje normal y maduro (Curso Lombricultura 2003).

Conclusiones

- El manejo ordinario de los desechos orgánicos en la comunidad a través de compostaje anaeróbico o disposición en tanque favoreció la respuesta positiva de parte de la comunidad hacia el proyecto.
- La anuencia de la comunidad a la ejecución del proyecto es una manifestación palpable de la conciencia ambiental presente en la sociedad modelo.
- El sitio de mayor generación de desechos orgánicos en una casa de habitación es la cocina; y el jardín, dependiendo de su extensión.
- La heterogeneidad de los componentes de los desechos domiciliarios condujo a desequilibrios en la relación C:N presente en las pilas de compostaje.
- Algunos residuos domiciliarios por sus altos contenidos proteicos ocasionaron pudriciones y la consecuente atracción de plagas.
- Los desechos provenientes del jardín no fueron aptos para el tratamiento de compostaje por su componente lignocelulósico y sus tiempos de descomposición no acordes a los plazos establecidos el proyecto.
- Las estrategias realizadas para mejorar la aireación en la pila de compostaje fueron acertadas al propiciar una mayor extensión de las condiciones aeróbicas, facultando entonces un crecimiento microbiano más beneficioso.
- El tiempo necesario para lograr la descomposición de los componentes en el compost disminuyó al aumentar la cantidad y diversidad de la flora microbiana con el paso del tiempo.
- El empleo de cobertura de las pilas con plástico negro es una atrayente para babosas potenciando la invasión dentro del montón de material composteado.
- El riego de las pilas con lixiviado del lombricultivo y la adición de melaza a las pilas de compost fueron dos de las modificaciones al compostaje que fomentaron el procesamiento de la materia orgánica.
- Las temperaturas máximas logradas en las pilas de compost no fueron lo suficientemente altas para garantizar la eliminación de patógenos y semillas de malezas.
- La medición del pH en el proceso de compostaje no fue un control acertado por la dificultad de la lectura con el instrumento utilizado.
- Errores en el manejo de algunas pilas de compostaje propiciaron la aparición de plagas de moscas.

- Las labores correctivas para eliminar las moscas en las pilas fueron atinadas al restringir las condiciones ambientales preferidas por la plaga, por otras más bien desalentadoras.

Recomendaciones

- Realizar emprendimientos que se fundamenten en la conciencia ambiental presente en la mayoría de la población costarricense.
- Ubicar en cada casa de la comunidad un colector de residuos orgánicos en el área de la cocina para facilitar las labores de separación de los desechos en su fuente.
- Excluir de los desechos domésticos materiales problemáticos como restos de carne, pescado, pollo y otros componentes altos en proteínas que propicien la generación pudriciones y la atracción de plagas.
- Los desechos de jardín, por su amplio volumen, deben ser utilizados dentro de la comunidad en algún tipo de manejo que considere el componente lignocelulósico, e.g. disposición en tanque de materiales previamente fragmentados.
- Inocular en las pilas de compost nuevas, material proveniente de compostajes anteriores y/o lixiviados del lombricultivo para aumentar la diversidad y cantidad de microorganismos presentes.
- Añadir a la pila de compostaje material de elevada porosidad como la burucha para extender las condiciones aeróbicas dentro de la pila de compostaje.
- Utilizar para la cobertura de las pilas de compost material no atrayente para las babosas como por ejemplo la lona o establecer espacios cubiertos para la disposición de los montones como galerones o cobertizos que permitan condiciones de sombra y protección ante la lluvia.
- Elaborar compostaje con mayor cantidad de componentes para lograr un mayor tamaño de las pilas que faculte una superior elevación térmica garantizando una “pasteurización” de los productos.
- Utilizar un método de medición de pH más adecuado para las condiciones presentes en el compostaje, principalmente a la hora de hacer la alimentación del lombricultivo.
- Potenciar el desarrollo microbiano extendido mediante la aplicación de un componente alto en energía, como por ejemplo la melaza, cuando la pila en sí misma no garantice una elevación térmica adecuada.

CAPÍTULO II LOMBRICULTURA

Marco Teórico

“La lombriz de tierra es el animal que desempeña el papel más importante dentro de las criaturas, porque cierra el círculo de la vida y de la muerte.”

Charles Darwin, 1881⁵

La lombricultura es simplemente el cultivo de lombrices y el lombricompostaje o vermicompostaje es un método de reciclaje que utiliza lombrices de tierra para consumir y procesar los desechos orgánicos (Coyne 2000). Últimamente se habla de esta actividad como una biotecnología en la cual la lombriz de tierra se utiliza como herramienta de trabajo (Martínez 1999). La facilidad con la que las lombrices pueden transformar una amplia gama de desechos orgánicos ha sido uno de los principales puntos en los que se ha basado el impulso de esta actividad. Para la lombricultura se pueden utilizar una extensa variedad de residuos orgánicos, principalmente aquellos provenientes de la producción de alimentos, ya sea de forma industrial, agropecuaria o urbana (Martínez 1999). Otro factor importante es la capacidad de las mismas para utilizar de forma eficiente la biomasa para su propia reproducción (Martínez 1999). Vale rescatar que los inicios de esta actividad fueron a finales del siglo XIX gracias a los estudios de científico Charles Darwin, por lo que se le considera el padre de esta actividad (Martínez 1999).

Antecedentes

La lombriz de tierra con sus beneficios y aplicaciones es conocida por la humanidad desde tiempos ancestrales remontándose incluso hasta a las dinastías egipcias. La ciencia empezó a estudiarlas con dos grandes personajes: Linneo que se acredita su clasificación, y Darwin, que aprende de ella al cabo de sus múltiples estudios que terminan con la publicación del libro “La formación de la tierra vegetal por la acción de las lombrices” en el año 1881 (Martínez 1999). Su accionar en el suelo es variado actuando sobre características tanto estructurales físicas como operando sobre su biología en particular.

De manera más específica, su capacidad de barrenación y las consecuentes galerías formadas permiten que en el suelo se formen agregados, facilitando la

⁵ Citado por Martínez 1999.

infiltración del agua y aireación del mismo. La porosidad nativa de los suelos está en función de la cantidad de lombrices presentes en él. En suma, su fertilidad se ve incrementada por la presencia de excretas con alto contenido de humus y de materiales mineralizados. Además, las lombrices potencian en el suelo la presencia de una flora microbiana amplia y diversa (Martínez 1999), pues en su tracto digestivo se magnifica la reproducción de microorganismos, lo que a su vez incide en un ecosistema rico en especies al tener una base alimenticia extensa. También su movilidad es importante pues las capacita como diseminadoras de tanto agentes benéficos, como micorrizas y nódulos, así como de patógenos, en forma de esporas mayoritariamente y de nemátodos.

En resumen, la actividad de las lombrices en el material compostado tiene los siguientes efectos benéficos:

- promoción y extensión en la reducción del tamaño de las partículas
- destitución de colonias bacterianas senescentes estimulando la proliferación de nuevas colonias y su crecimiento
- enriquecimiento del material compostado por medio de excreciones nitrogenadas
- incremento en el crecimiento y actividad microbiana mediante la minimización de la bacteriostasis y micostasis
- promoción de la penetración interparticular del oxígeno atmosférico
- adición de nutrientes minerales
- incremento en la tasa y extensión de intercambio entre carbono y nutrientes debido a la influencia de las interacciones entre microflora, protozoos y nemátodos
- amplificación del control de patógenos
- producción de deyecciones⁶ de lombriz o humus (Díaz *et al.* 1993).

Desde el punto de vista agrícola las lombrices han ayudado a obtener mejores rendimientos al proveer un suelo con mejores condiciones físicas, biológicas, radicales, sanitarias, nutricionales, y con mejor capacidad de retención de agua.

Generalidades

Las lombrices de tierra se caracterizan por presentar una segmentación interna y externa en el cuerpo; cada uno de estos segmentos se asemeja a un anillo. Pueden encontrarse lombrices de superficie, o en profundidades variables y sus dietas

⁶ La palabra deyecciones se refiere a los excrementos.

consisten desde las que se alimentan solamente de tierra hasta las saprófagas que prefieren la materia orgánica en descomposición. Son micrófagas, es decir, se alimentan de hongos, algas unicelulares, bacterias, protozoos y restos de detrito.

Principales características

Las lombrices de tierra poseen un cuerpo cilíndrico y alargado, con divisiones llamadas sómitos y una estructura reproductiva llamada clitelio. Se alimentan mediante una pequeña cavidad o boca que conecta a la faringe con el esófago donde se digieren los alimentos principalmente mediante la excreción de carbonato de calcio. Estos pasan luego al buche (almacenamiento) y a la molleja (trituración) y por último al intestino donde se logra la absorción de los nutrientes. Su circulación es llevada a cabo por cinco corazones mediante un sistema cerrado con 2 vasos sanguíneos principales (dorsal y ventral). Su sangre de color rojiza por la presencia de hemoglobina que cumple la función de absorber sustancias, liberar residuos y sus correspondientes funciones de intercambio gaseoso. Es importante destacar que las lombrices respiran a través de la piel, solamente si esta cutícula esta húmeda. Su coordinación motora es producto de un pequeño cerebro y un cordón nervioso central encargado de manejar un sistema hidráulico cerrado de un par de músculos circulares y longitudinales en cada segmento del celoma (Martínez 1999).

Ambiente

La humedad y la alimentación son los factores más importantes para las lombrices. Debido a que su respiración es cutánea un desequilibrio en la humedad del medio fácilmente puede ocasionar la muerte del individuo. También una escasez de agua reduce su movilidad ya que se pierde presión en el líquido celómico. Los microorganismos descomponedores de la fracción orgánica del suelo son la principal parte de la dieta de las lombrices, por lo que para su debida alimentación es necesario favorecer la presencia de este fenómeno. Entre otros factores ambientales que son importantes están: la temperatura (15- 30 °C rango óptimo para la mayoría de las especies), la aireación, la oscuridad (la luz les causa desecación), y la acidez (muy dependiente de la especie), así como en condiciones de campo la mínima labranza y ausencia de agroquímicos (Martínez 1999).

La lombricultura: cría de lombrices

Ahora bien, la lombriz por sus características puede verse como un instrumento o herramienta capaz de realizar un trabajo en particular. En este caso se espera que permita la transformación de los desechos orgánicos en productos orgánicos útiles, minimizando la problemática de contaminación ambiental. Su potencialidad se fundamenta en un mejor manejo de los olores y microorganismos inocuos, su capacidad reproductiva, sus valiosos productos y subproductos (humus, lixiviados y lombrices). Todo ello se puede traducir en un mejor ambiente equilibrado desde el punto ecológico al solventar problemas como el deterioro del paisaje y de los recursos naturales. Su capacidad también se puede involucrar en campos productivos como la agricultura y la ganadería, e inclusive en la alimentación humana (Martínez 1999).

Para su implementación es necesario tener por lo menos los siguientes elementos básicos: un terreno con poca pendiente y buen drenaje, una fuente de agua libre de contaminantes, una fuente constante de desechos que se produzcan en algún lugar cercano a la instalación, y sobre todo debe existir la disponibilidad de lombrices domesticadas por su alta capacidad reproductiva y su eficiente transformación de los desechos.

Uno de los inconvenientes del lombricultivo es el control cuidadoso que se debe de ejecutar principalmente en el mantenimiento de las condiciones ambientales, por lo que en algunos casos no serían las propicias para el establecimiento de un lombricultivo (Díaz *et al.* 1993).

En los últimos años muchos agricultores han estado experimentando exitosamente con el uso de lombricompost. Al principio fueron sólo algunos pioneros de la agricultura orgánica, pero hoy se han sumado muchos floricultores, horticultores y fruticultores atraídos, más por el aumento de la producción y el ahorro en fertilizantes, que por sus convicciones ambientales (De Sanzo y Ravera 2000).

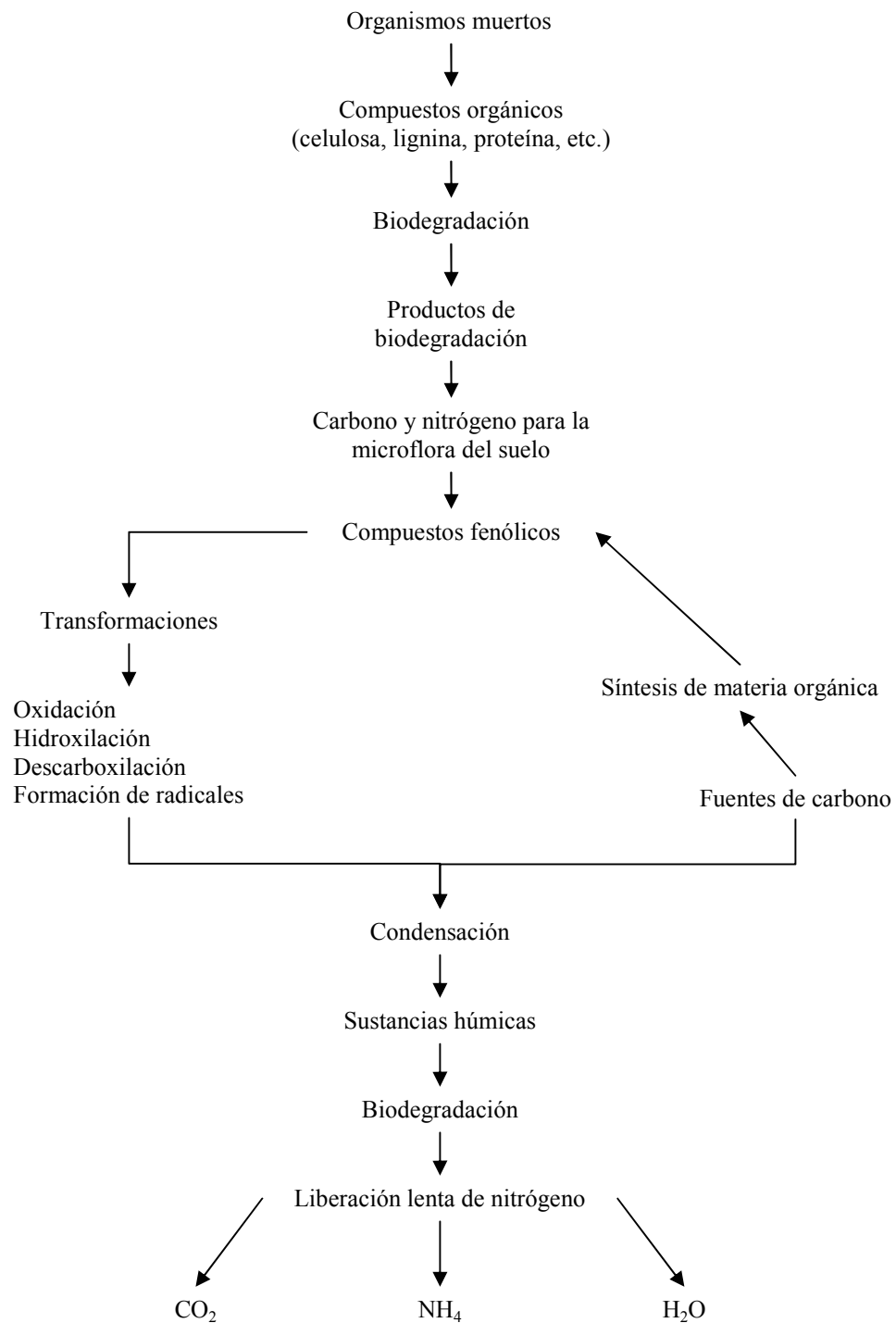


Figura 19. Degradación de la materia orgánica (Echegaray 1994 citado por Martínez 1999)

La lombriz roja *Eisenia foetida* Sav.

La lombriz de tierra más utilizada en la lombricultura es la llamada lombriz roja y su clasificación taxonómica es *Eisenia foetida* Sav. Su escogencia se fundamenta en: ser de tipo epigeas (superficiales), suponiendo un desplazamiento leve; su alto metabolismo, principalmente en las lombrices juveniles y subadultas; ser rústica y tolerante a factores ambientales adversos; y sobre todo en su gran capacidad reproductiva (Curso Lombricultura 2003). Este oligoqueto es hermafrodita no facultado para la autofecundación. Es necesario el apareamiento para el intercambio de esperma, resultando en la formación de huevecillos o cocones (Martínez 1999) en cada individuo. Un dato importante es el hecho que la lombriz de tierra posee un sistema excretor particular en el que las heces son expulsadas luego de un proceso de filtración, reabsorción y secreción por parte de una estructura llamada nefrostoma conexo al líquido celómico (Martínez 1999).

Cuadro 7. Clasificación y generalidades de la lombriz roja *Eisenia foetida* Sav.

Filum	Anelida
Clase	Oligochaeta
Orden	Opisthoporos
Familia	Lumbricidae
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>foetida</i>
Hábitos	Epigeos
Color	Rojo- rosa
Tamaño	7- 12 cm
Madurez sexual	10- 12 semanas
Adulta	6 meses
Peso	1- 2,5 g
Temperatura óptima	25 °C
pH ideal	6,8- 7,2
Humedad	70- 80 %

Fuente: Martínez 1999

Cuando alcanzan la madurez sexual se aparean una vez a la semana, y cada una de las lombrices formará un cocón u ooteca, compuesto por células mucosas. Una veintena de huevos se deslizan por un surco hacia atrás y se introducen en el capullo. Cada capullo admite entre tres y veinte lombrices, siendo los valores menores los más constantes, y contiene albúmina que alimenta a los huevos durante la incubación, periodo que dura entre 14 y 30 días según la temperatura del medio,

tardando la lombriz entre 60 y 90 días en lograr su maduración y estar en condiciones de acoplarse. La actividad sexual de las lombrices rojas disminuye durante los meses muy calurosos o fríos, siendo la temperatura óptima para el apareamiento los 20° C (De Sanzo y Ravera 2000).

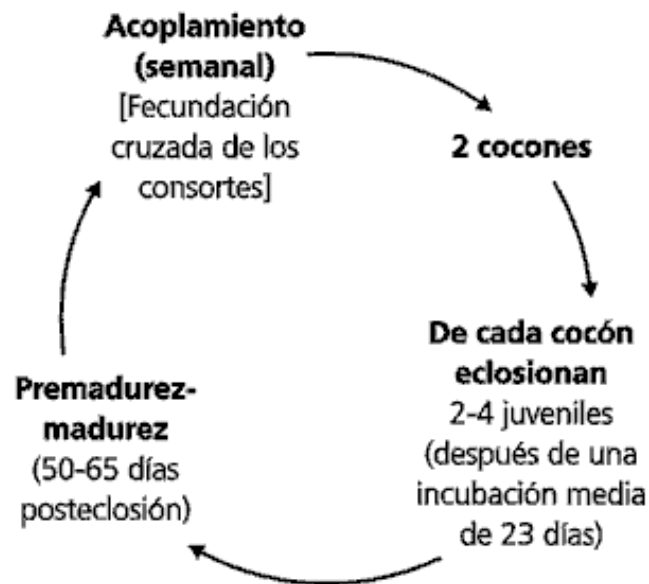


Figura 20. Ciclo biológico de *Eisenia foetida*. Las condiciones son: dieta de estiércol vacuno o conejo; temperatura 25 °C, humedad 80 % (Tomado de Curso Lombricultura 2003).

Enemigos de las lombrices

El hombre es uno de los principales enemigos de la lombriz, por sus prácticas de manejo del suelo y uso de antiparasitarios, insecticidas y abonos químicos (Martínez 1999). Los parásitos son un indicador de un manejo incorrecto por parte del lombricultor, siendo por lo general baja humedad y camas demasiado ácidas.

Otros enemigos “naturales” son los escarabajos, moscas, ácaros rosa, gorgojos, bichos bolita, babosas, que compiten con las lombrices en el consumo del material alimenticio y alteran las condiciones del medio. Todavía no se conocen medios físicos eficaces para su control, salvo evitando que se instalen las colonias de parásitos mediante un buen manejo de las unidades de cría (De Sanzo y Ravera 2000).

Las hormigas ingieren los azúcares de los alimentos destinados a las lombrices, pero pueden ser evitadas manteniendo el lombricultivo bien húmedo. Entre los depredadores directos se encuentran las ratas, ratones, serpientes, sapos, pájaros, topes, ciempiés, milpiés, y algunos otros, que pueden causar serios daños en

el criadero si no se colocan barreras apropiadas, como las redes semisombra (De Sanzo y Ravera 2003). Esta tiene una doble funcionalidad porque mantiene también condiciones favorables de humedad.

La planaria causa daños muy importantes en los criaderos comerciales. Se trata de un pequeño gusano platelminto, de cuerpo plano, de color oscuro con rayas a lo largo del cuerpo (véase *Figura 21*). Su nombre científico es *Bipalium kewense* y es originaria de la zona Indo- China, pero su rango de extensión actual incluye Australia, EE. UU., Barbados, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Indonesia, Madagascar, Malasia, Martinica, México, Puerto Rico, Tahití, Taiwán y Zimbabwe (Choate y Dunn 2002). Este parásito se adhiere a la lombriz y mediante un tubo absorbe sus líquidos corporales matándola. Las planarias se desarrollan y comienzan a depredar a las lombrices cuando el pH del medio desciende a menos de 7,5 (De Sanzo y Ravera 2000). Para evitarlas es necesario tener condiciones de humedad bastante controladas a lo largo del tiempo, sin existir problemas de saturación o sequedades.



Figura 21. Planaria terrestre *Bipalium kewense* Moseley (Tomado de Choate y Dunn 2002).

Objetivo General

Desarrollar un lombricultivo (infraestructura y manejo) capaz de tratar los desechos sólidos orgánicos de la comunidad sometidos a un acondicionamiento previo mediante compostaje

Objetivos Específicos

- Construir una instalación que faculte las condiciones ambientales para favorecer el establecimiento y crecimiento de la población de lombrices.
- Verificar la adaptabilidad de las lombrices al material acondicionado en el compostaje.
- Dar un adecuado manejo al lombricultivo controlando la humedad, la aireación y la alimentación de las camas.
- Evaluar la evolución de la población de lombrices en el lombricultivo, identificando en los conteos los individuos adultos y juveniles, así como los cocones.
- Cosechar el humus producido y coleccionar las lombrices para utilizarlas en la continuación del proyecto.
- Cuantificar la transformación del material alimentado (compost) en la cantidad de producto final (humus), con el fin de obtener rendimientos.
- Hacer una evaluación al producto final sobre sus nutrientes, contenido de materia orgánica, acidez, humedad; así como la cantidad de microorganismos presentes⁷.

⁷ Estos dos últimos objetivos son abordados en el *Capítulo III Evaluaciones finales* al ser unas valoraciones sobre los resultados más que un proceso operativo en sí.

Materiales y Métodos

Construcción de las instalaciones

Se eligió un terreno ubicado en la misma comunidad del estudio, facilitado por una familiar del ejecutor del proyecto. Se consideró apta para las instalaciones del lombricario una estructura similar a un invernadero. Los materiales elegidos para su construcción fueron madera para los soportes estructurales; sarán, plástico transparente y negro para las paredes y techo; camas a partir de madera, plástico negro y tubos de PVC cortados longitudinalmente.

Las instalaciones tienen una dimensión de 6 X 4 m, con una altura máxima en el techo de 3 m. Es una estructura sencilla construida a dos aguas con una zona de monitor de 0,4 m, por lo que uno de los ángulos del bajante no cierra en 30 °. Fueron construidas sobre un fundamento estructural a partir de madera semidura sin tratar consistiendo en 6 columnas, 6 vigas, 3 cerchas sobre viguillas, 3 clavadores en cada bajante del techo y 3 clavadores en las paredes. También se necesitaron 2 columnas no estructurales para el marco de la puerta. Con los plásticos se techó utilizando en una mitad (3 X 4 m) material transparente y en la otra mitad material negro. Las paredes de este último espacio fueron de sarán 70 % de sombrificación de color verde. Las otras paredes del recinto anexo fueron, de igual forma que el techo, de plástico transparente.

Dos camas fueron edificadas como una caja de madera de 2,6 X 1,5 X 0,3 m con suelo de tierra compactada a desnivel hacia una esquina de la cama. En el borde inferior del largo de este cajón se colocó un tubo de PVC de 10 mm de diámetro cortado longitudinalmente con extensión suficiente para que resaltara por fuera de la caja, aplicando igualmente un declive. Se forró la caja con plástico negro para lograr una impermeabilización de la cama. En el extremo inferior del tubo de PVC se cavó un hueco lo amplio necesario para colocar un balde que funcionara como receptor de los lixiviados generados por el riego del lombricultivo, que llegarían a este colector favorecidos por las pendientes aplicadas. Los lechos⁸ para el lombricultivo se construyeron en la mitad mayormente sombreada de la instalación.

⁸ Entiéndase por lecho el espacio físico en que se realizan las labores de lombricompostaje, sinónimo de camas.

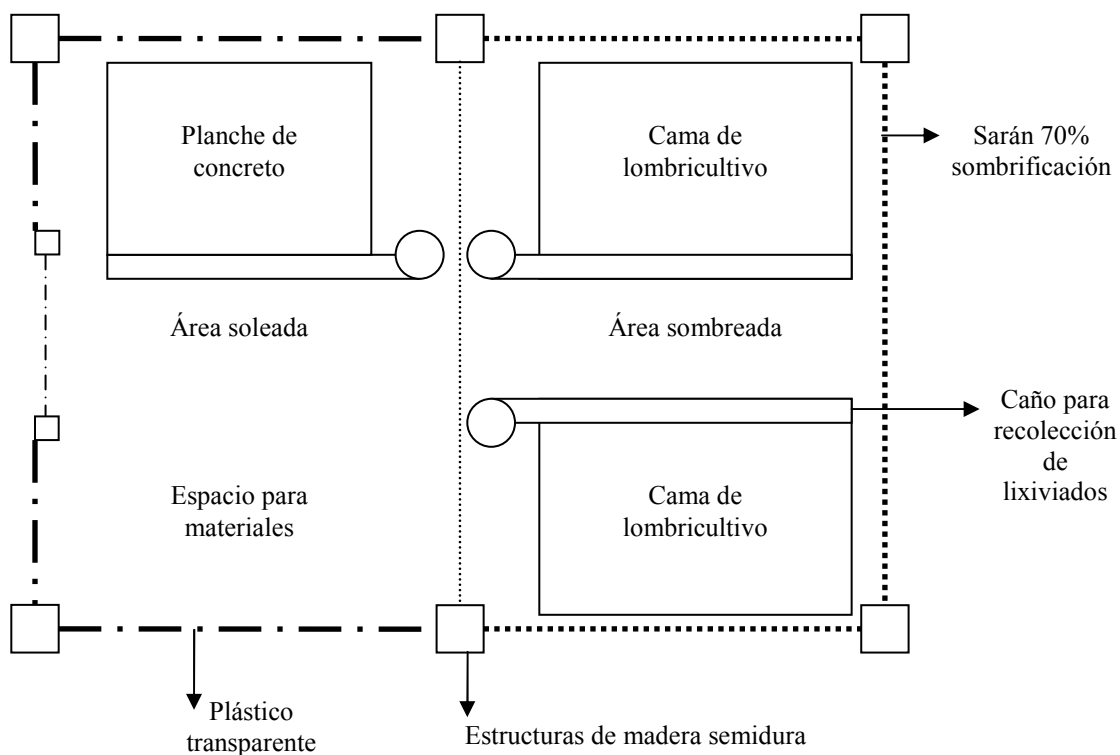


Figura 22. Diagrama de las instalaciones. Las dimensiones de la estructura no están hechas a escala.

En la mitad del lombricario con mayor claridad se cimentó un planche de concreto de 2 X 1,5 m con un declive aplicado hacia un sistema idéntico de recolección de lixiviados. Esta estructura fue construida para las labores de cosecha de lombrices y recolección del producto final. El espacio restante de este recinto fue dejado ocioso y luego fue usado principalmente para el almacenamiento de materiales, incluyendo desechos domésticos que por el momento no se habían apilado en compostaje. Al finalizar el emprendimiento en este espacio también se ejecutaron las labores de secado y almacenamiento de humus de lombriz.

Manejo del lombricultivo

Una vez terminada la construcción de las instalaciones se procedió a obtener las lombrices rojas para iniciar la actividad. Estas fueron conseguidas de parte del Ing. Oscar Méndez Calvo del Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica del Instituto Nacional de Aprendizaje en La Chinchilla, Cartago. La cantidad utilizada consistió en un total de 4 kilogramos de núcleo de lombrices para pío de cría (alrededor de 32 000 lombrices adultas), con el correspondiente sustrato, que en este caso fue broza de café.

Las labores del manejo de lombricultivo consistieron en la alimentación, riego y volteo del sustrato. La actividad más realizada fue el riego periódico. Este fue llevado a cabo 3 veces por semanas utilizando agua retenida en un estanón. La herramienta fue una regadera de mano, con capacidad de 8 litros. Se vertió aproximadamente tres volúmenes por riego, para un total de 24 litros por riego por cama. En algunas ocasiones no fue necesario utilizar esta cantidad total, pues los lechos no se encontraban tan desecados. Esta situación se determinó al observar la cantidad de riego que rápidamente llegaba al caño de recolección de lixiviados, lo que denotaba saturación del sustrato. También, cuando los baldes de recolección de lixiviados estaban prontos a alcanzar su máxima capacidad se efectuó la recirculación de los mismos, depositándolos en la regadera y efectuando el riego sobre las camas con este líquido.

Las labores de volteo de la cama se efectuaron con un biello⁹ de 4 picos, y se realizó al menos una vez al mes. Al efectuarse esta tarea se procuró que el sustrato estuviese bastante húmedo para que las lombrices no sufrieran de más estrés que el provocado por el movimiento del lecho. Se propuso, en la medida de lo posible, la desintegración de los agregados que se hubiesen formado en la cama y la ubicación de la fracción ubicada en la parte inferior de cama en la parte superior del lecho una vez terminada la actividad. Una vez realizada esta labor se procedía a la alimentación del lombricultivo.

La alimentación del lombricultivo se efectuó al depositar sobre la cama de lombricultura, el material proveniente de las acciones de compostaje. Esta labor se realizó una vez por semana. Anteriormente se comprobaba la adaptabilidad de las lombrices al material a suministrar realizando la prueba de 50 lombrices en el sustrato, durante un día y verificando la supervivencia de la muestra, lo que se efectuó solamente cada quince días, coincidiendo con la obtención de muestras para el conteo. Se inició administrando todo el contenido proveniente de una pila terminada y madura, pero luego solamente se alimentó con la fracción fina producto del tamizaje del compost. En el caso que el montón producto del compostaje terminado fuera de una masa muy grande, se fragmentaba y se administraba en dos tractos en dos semanas distintas. Un mes antes de la finalización del emprendimiento se suspendió la alimentación para permitir las acciones de colecta del humus y la cosecha de las lombrices.

⁹ Herramienta agrícola de mango largo y extremo similar a un tenedor, pero con los picos doblados en 90 °.

Al cabo de la mitad del proceso de lombricultivo, se subdividió la población y se trasladó al otro lecho, con la mitad de sustrato. Se realizó a partir de este momento una alimentación fraccionada para cada una de las camas.

Paralelamente, una vez por semana se cuantificaron los parámetros de temperatura y pH presentes en la cama. De igual forma se realizó una observación minuciosa en búsqueda de cualquier particularidad que fuera importante en el lombricultivo.

Se probaron 3 tipos de estrategias para lograr la colecta del vermicompost y la recolección de las lombrices. Estas fueron: la alimentación localizada con material fresco, las trampas con cebo y la colocación del sustrato separado con malla de amplio poro sobre compostaje reciente en condiciones de luz.

Evolución de la población

Se efectuó un muestreo periódico de la población de lombrices presentes en las camas del lombricultivo. Este se realizó cada 15 días. Para esta actividad se procedió medir un área de un decímetro cuadrado (dm^2) y se recolectó la cantidad de sustrato correspondiente al volumen ocupado debajo de esta plantilla. Esta muestra fue colocada en una bolsa plástica para su posterior análisis. Se realizó la medición del área de la cama efectivamente cubierta por sustrato para determinar luego la estimación de población total.

En una mesa amplia con buena iluminación se procedió a extender el material colectado de forma gradual, dividiéndolo en 3 o 4 tractos. Una vez así colocado, se realizó un conteo de los individuos presentes en el sustrato. Se distribuyó la población en individuos adultos y juveniles (diferenciados por la presencia o ausencia de clitelio), además de los cocones. La muestra también fue examinada buscando cualquier tipo de presencia extraña. Las herramientas utilizadas para el desmoronamiento de los agregados fueron unas pinzas con las que también se manipulaban individuos.

Con los datos procedentes del área efectiva del lombricultivo, se estimó la población de lombrices presentes, al dividir esta cantidad entre la muestra ($\text{área total m}^2 / \text{área muestra dm}^2 = 0,01\text{m}^2$) para luego multiplicar por los individuos cuantificados en la muestra.

Diagrama del proceso de lombricultivo

El diagrama siguiente expone las actividades ejecutadas en la etapa de lombricultivo del modelo alternativo de manejo de desechos en la comunidad.

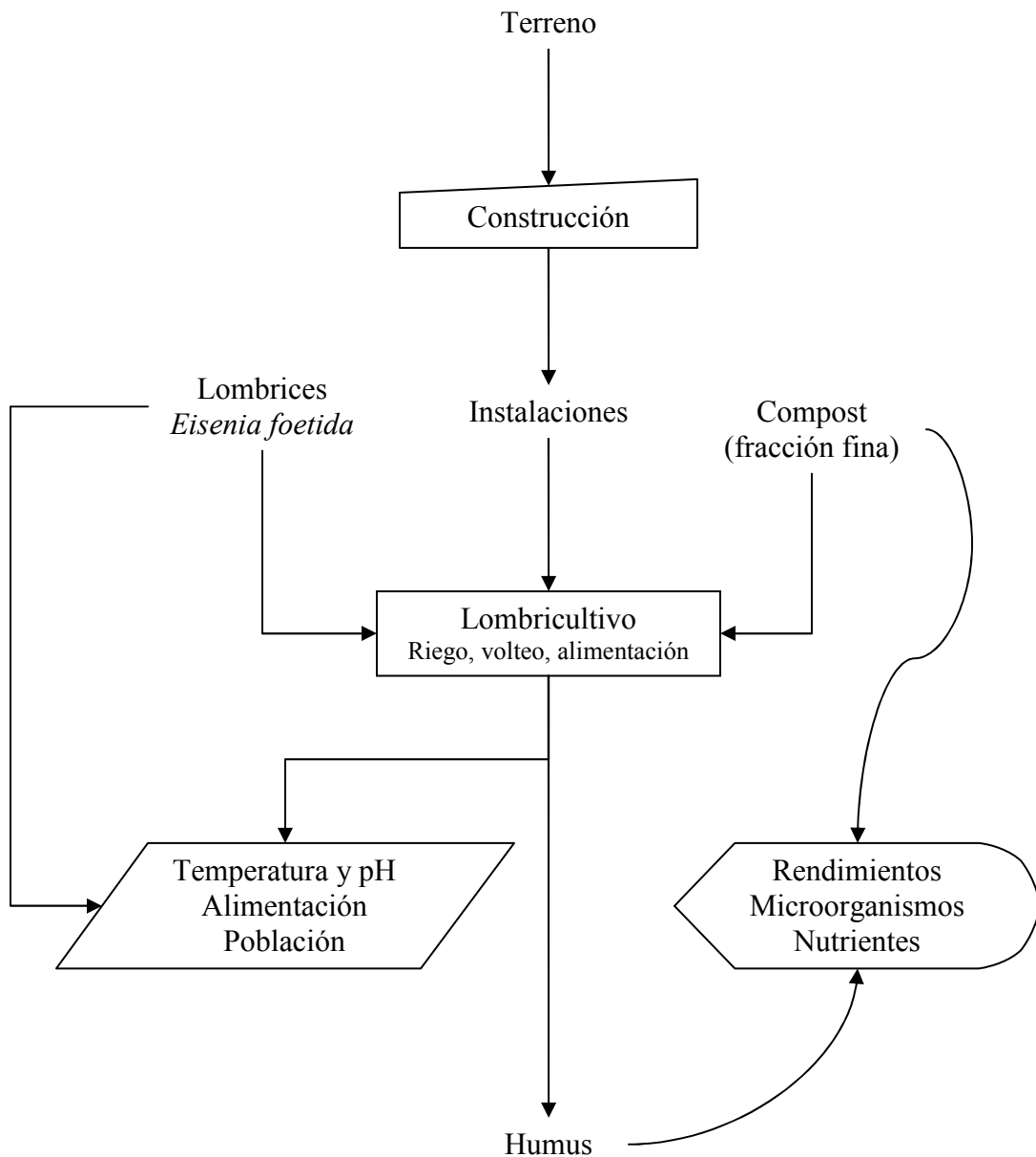


Figura 23. Diagrama de flujo del lombricultivo realizado en el proyecto.

Resultados y Discusión

En primera instancia es importante mencionar que inclusive antes de iniciar las labores del lombricultivo ya existían en el lugar del estudio gran cantidad de lombrices nativas. Se intuye que esta situación se debe que en el sitio del proyecto se practicaba el depósito de la materia orgánica de varias casas desde tiempos memorables. Esto, más la particularidad de que en el sitio se efectuaban labores acordes con la labranza mínima ha de haber propiciado una población de lombrices nativas alta (Martínez 1999, De Sanzo y Ravera 2000). Estas fueron atraídas hacia las pilas de compostaje por lo que era común encontrarlas saliendo del suelo sobre el cual se ubicaba el montón (véase *Figura 24a*). Esta situación recalca la filiación de las lombrices de tierra a la materia orgánica en procesos de descomposición (Martínez 1999). En unas ocasiones las mismas lombrices penetraban profundamente dentro de pila y se realizaban en esos casos lombricompostaje de forma natural. Esto fue aun más común cuando el compost se encontraba en fases de maduración (ver *Figura 24b*). Dada esta situación, muchas de las lombrices nativas llegaron a la cama del lombricultivo, donde en el inicio del seguimiento de la población se pudieron cuantificar.

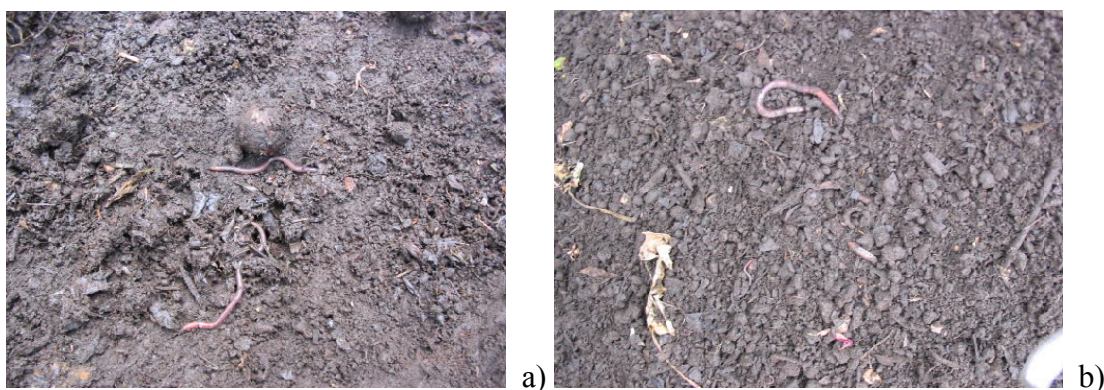


Figura 24. Presencia de lombrices en la fase de compostaje. a) Lombrices presentes en el piso de la pila de compostaje. b) Lombrices dentro de una pila de compostaje previamente tamizada.

Construcción de las instalaciones

La elección del terreno donde se construyeron las instalaciones fue por las siguientes razones favorables. Su principal ventaja fue la disponibilidad del mismo para realizar cualquier tipo de actividad pues antes de iniciarse el proyecto era un terreno baldío que era utilizado solamente para el mantenimiento de frutales y ornamentales, cultivos no permanentes (sembrados esporádicamente), y tanques para el depósito de materiales orgánicos. Además, existe en el mismo una variedad de

ambientes como platanales, zona boscosa, barbacoa para chayotera, área de lista para la siembra, zonas invadidas por malezas, que se consideraron importantes como fuentes de materia orgánica para la investigación. Sus características de ser un terreno de relieve plano y con facilidades para el tránsito interno a tres de las casas involucradas en el proyecto terminaron de influir positivamente sobre la elección, al saber que entre menor sea la distancia entre la fuente de generación de desechos y el sitio de manejo mayor será eficiencia en las labores de traslado (Martínez 1999, Curso Lombricultura 2003).

El diseño de las instalaciones fundamentándose en modelos similares al de invernaderos (véase *Figura 25*) se debe a que estos últimos facultan el control de condiciones ambientales, factor sobre el cual se habría de potenciar el desarrollo de la población de lombrices y la degradación de la materia orgánica. Así, la elección de dotar al lombricario de un espacio de monitor en el techo fue para propiciar una mejor ventilación, que facultase un ambiente interno fresco en caso que la temperatura fuese caliente dentro del complejo pero no llegara a ser extrema. La elección de los materiales para el techo y las paredes se basó en la capacidad de funcionar como una barrera física contra las condiciones ambientales y posibles intrusos, además de sus bajos costos.



Figura 25. Instalaciones del lombricario. Adviértase la presencia de dos ambientes soleado y sombreado, por la diferencia en los materiales utilizados.

La división de las instalaciones en dos ambientes tuvo sus pros y sus contras. Su principal ventaja fue poder reunir en un mismo recinto los medios para el proceso íntegro del vermicompostaje. En él se podían ejecutar las labores de cría de lombrices, procesado de la materia orgánica, recolección de lixiviados, cosecha de lombrices, colecta, secado y almacenamiento del humus. No obstante, por la disposición anexa de áreas con distintos propósitos, lombricultivo y secado de humus, hubo un traslape de los entornos prevalecientes (condiciones de luz) facultados por el diseño de las instalaciones. Este contexto perjudicó en mayor medida las labores ejecutadas en el área sombreada, al permitir en cierto momento del día condiciones de alta luminosidad sobre las camas de lombricompostaje, influyendo negativamente en la humedad de las mismas.

El sarán en las paredes adyacentes a los lechos permitió la penetración de lluvia a las instalaciones cuando esta era abundante y acompañada de fuertes vientos. Sin embargo, no se consideró en nada perjudicial para el lombricultivo, pues inclusive mejoraron las condiciones de alta humedad, sin llegar a ser tantas para fomentar un encharcamiento en la cama. No obstante, este contexto tiene que ser dañino para el soporte estructural en madera, pues este no cuenta con protección alguna ante esta situación, que podría eventualmente mediar en una pudrición de la madera.

Las camas para el lombricultivo tuvieron la particularidad de ser amplias por lo que en ocasiones fue difícil el manejo del material en procesamiento, principalmente cuando se necesitaba realizar el volteo de las mismas. El declive aplicado en el suelo fue lo suficiente para permitir la esorrentía del riego en cuanto este llegase a la superficie impermeabilizante de plástico. De esta forma se evitó en gran medida el encharcamiento. Pero la presencia de este material tuvo la misma problemática que en las labores de compostaje, la atracción de plagas. De igual forma, el desnivel aplicado al sistema de recolección de lixiviados permitió una fácil conducción hacia los baldes de almacenamiento de este recurso proveniente del lombricultivo (véase *Figura 26*). Es importante mencionar que en algunas oportunidades no solamente los líquidos llegaban a estos depósitos sino que se pudieron encontrar lombrices, larvas de moscas, planarias, serpientes, ratones, además de un material parecido al barro, aspectos que se comentarán con posterioridad en el apartado *Manejo del lombricultivo*.



Figura 26. Instalaciones del lombricario: camas para el lombricultivo. Obsérvese el sistema de recolección de lixiviados provenientes de las camas.

Manejo del lombricultivo

El inicio de las actividades del lombricultivo se dio en el momento en que se estableció el núcleo de lombrices *Eisenia foetida* sobre uno de los lechos construidos en las instalaciones. Por el tipo de sustrato en el que ellas fueron obtenidas, a saber material fresco de broza de café, no fue necesaria una alimentación inmediata del lombricultivo. Sin embargo, se supone que existió una breve fase de adaptación por parte de las lombrices a las condiciones presentes en el lombricario, lo cual pudo darse en las dos semanas que estuvieron sin alimentación. Experimentalmente pudo comprobarse que al inicio del procesamiento existían un total aproximado de 14 000 lombrices, cifra muy distinta a las 32 000 que se suponía debiesen existir en los 4 kg adquiridos; esta diferencia pudo conllevar a un proceso más lento al empezar la alimentación.

A partir de ese instante, fue necesario el riego en el lombricultivo. Se procuró en la medida de lo posible el uso de agua fresca almacenada por cortos periodos en un estanón. Esta actividad se realizó con doble propósito de eliminar el cloro presente en el agua de la cañería y mantener el oxígeno disuelto en la misma en niveles altos. Así, se facultó una mayor actividad biológica de todos los organismos involucrados en el procesamiento de la materia orgánica, principalmente los microorganismos que son los más susceptibles a valores nocivos de estos parámetros (Madigan *et al.* 1999).

El riego fue ejecutado advirtiéndose antes el nivel de humedad del sustrato. Se prefirió en muchas ocasiones una humedad alta o nivel cercanos a la saturación que las contrapuestas sequedades y falta de humedad. Esto se tuvo ante la premisa que las lombrices son extremadamente exigentes en cuanto a la disponibilidad de agua para realizar su respiración y más tolerantes ante la saturación (Curso Lombricultura 2003), pues ejecutan movimientos hacia zonas no anegadas, las cuales probablemente existieron dentro de los lechos, en zonas cercanas a la superficie.

La presencia de organismos extraños a las labores del lombricultivo se empezó a advertir cuando en los baldes de recolección de lixiviados se encontraron animales como serpientes y ratones. Estos dos vertebrados son potenciales plagas para las lombrices desempeñándose como depredadores directos (De Sanzo y Ravera 2000, Curso Lombricultura 2003). La aplicación de mejores controles en los accesos al lombricultivo, principalmente en las zonas inferiores de las paredes, vino a eliminar la aparición de estos intrusos. Otros animales indeseables que llegaron a los canales de recolección de lixiviados fueron planarias y larvas de moscas, las que muy probablemente venían insertas en el material composteado; al llegar al lombricultivo y encontrarse con condiciones adversas (alta humedad, lixiviados) ellas buscaron una salida y se desplazaron siguiendo las pendientes aplicadas.

El traslape de las condiciones soleadas sobre las camas del lombricultivo influyó en el grado de cobertura del material en tratamiento. La cobertura fue aplicada utilizando plástico de color negro, aprovechando los retazos provenientes de la construcción de las instalaciones, permitiendo mantener la aireación de los lechos (véase *Figura 27*). De esta forma, se procuraba evitar la excesiva desecación que se observó en un área de la cama. La falta de condiciones propicias para el procesamiento por parte de las lombrices hubiera afectado los resultados generales al finalizar la actividad, produciendo material con poca o nula manipulación por parte de los gusanos. Sin embargo, el calentamiento dentro de las instalaciones si intervino para que se diera una pérdida de humedad en el sustrato, que tubo que ser corregida mediante el riego.

Una variante fue la cobertura con plástico negro de tipo “salinero” el cual es de un mayor grosor y posee una menor capacidad de adhesión al agua. Se pudo comprobar que este tipo de cobertura fue más benéfica pues no era tan atractiva para las babosas, las cuales se corroboró prácticamente buscaban más el plástico común.



Figura 27. Cobertura de las camas del lombricultivo. Los lechos fueron cubiertos con plástico negro y sarán.

Más allá, esta estrategia facultó una actividad más superficial de las lombrices, como pudo observarse al remover los cobertores. Se conoce que la cópula de *Eisenia foetida* es llevada a cabo en condiciones nocturnas (baja luminosidad) en la superficie del suelo (De Sanzo y Ravera 2000, Tocalino *et al.* 2001). Así, la aplicación de estas coberturas abrieron los horarios para la reproducción de este organismo. También, la humedad que salía del sustrato se conservó en el material plástico, como se evidencio por la presencia de microgotas, produciéndose entonces un microclima tipo invernadero que se cree pudo hacer aun más eficiente el procesamiento.

El siguiente cuadro resume las labores de cuantificación de la alimentación y de control de los parámetros de temperatura y acidez. La temperatura promedio fue 24,67 °C y el pH promedio fue de 7,27. La carga promedio del lombricultivo fue 79,75 kg de compostaje a la semana.

Cuadro 8. Alimentación y factores ambientales del lombricultivo a través de los 3 meses del lombricultivo.

Fecha	Compost	Alimentación (kg)	Temperatura (°C)	pH
02/08/2003	1	93,52	24	7,5
09/08/2003	---	---	25	7,0
16/08/2003	---	---	25	7,0
23/08/2003	2	86,60	24	7,5
30/08/2003	3	91,75	23	7,0
06/09/2003	4	65,70	24	8,0
13/09/2003	4	57,30	24	7,5
20/09/2003	5	64,30	26	7,5
27/09/2003	6	96,80	26	7,0
04/10/2003	7	48,70	24	7,5
11/10/2003	7	50,80	25	7,0
18/10/2003	8	94,75	25	7,0
25/10/2003	9	127,00	25	7,0
01/11/2003	---	---	24	7,5
08/11/2003	---	---	23	7,0
Promedio		79,75	24,67	7,27
Total		877,22	---	---

Fuente: Datos de campo.

Los valores anteriores hacen ver que las condiciones ambientales dentro de la cama fueron casi invariables. No se distinguen en las mediciones fluctuaciones en ninguno de los dos parámetros contemplados. Probablemente, la temperatura fue conservada invariablemente del medio por la capacidad de amortiguación térmica del agua, compuesto que pudo ser de alta representación dentro del sustrato, por las condiciones antes mencionadas de saturación. Los valores de pH aquí expuestos son más certeros que en el asunto del compostaje pues en este caso el papel de medición fácilmente se impregnaba por la humedad alta de la cama. De esta forma se puede ver que el pH se mantuvo siempre en condiciones básicas, lo que es más benéfico para las lombrices (Díaz *et al.* 1993, Martínez 1999). Al mismo tiempo, la temperatura y el pH fueron muy cercanos a los valores ideales para el manejo de *Eisenia foetida* (De Sanzo y Ravera 2000, Curso Lombricultura 2003). Por lo tanto se considera adecuado el compostaje aeróbico proveniente de desechos sólidos orgánicos como un sustrato apto para el tratamiento con estas lombrices y se comprueba la efectividad de las instalaciones para el mantenimiento de un ambiente propicio para el desarrollo de la lombricultura con *Eisenia foetida*.

Es más, la verificación de la hipótesis anterior se logró semana a semana al comprobar la adaptabilidad de las lombrices al compostaje al realizar la prueba de las 50 lombrices. En estos ensayos se manifestó la supervivencia total de las lombrices evaluadas. Únicamente en una ocasión se produjo la muerte de dos individuos, al parecer por lesiones en la manipulación más que por repulsión al compostaje. Las lombrices para estas pruebas provenían de los conteos de individuos ejecutados para el control de la evolución de la población, por tanto estaban sujetas al daño por el accionar de las pinzas.

La alimentación con el material proveniente del compost hizo suponer que, si este se encontraba en claras etapas de maduración, una cantidad significativa de animales, principalmente insectos, llegarían al lombricultivo. Esto fue comprobado experimentalmente, a través de la observación, pero no se generó ningún inconveniente, pues los animales presentes fueron inocuos para las lombrices. Es más, la presencia de ellos pudo mejorar la eficiencia del procesos al ser muchos de ellos desintegradores de materia orgánica, reduciendo por ende el tamaño de partículas y permitiendo una mejor superficie de exposición a la degradación (Curso Lombricultura 2003).

La problemática de la generación de moscas afectó también las instalaciones del lombricultivo. Esto debido a ahí se conservaban los desechos orgánicos por unos días mientras se efectuaba la pila de compost en esa semana. De este modo, las moscas fueron fuertemente atraídas a merodear, alimentarse y ovopositar dentro del lombricario. Dada la situación fue necesaria la instalación de trampas. Ellas consistían en botellas de refrescos de plástico desechables cortadas de forma que el cuello de la botella fuera un embudo sobre la parte ancha de la misma (ver *Figura 28*). Este tipo de trampa fue empleado por varias granjas para controlar la mosca de manera integral y a bajo costo (Cordero 1997). En este caso el tipo de atrayente empleado fue melaza mezclada con lixiviado del lombricultivo y una cucharada de vermicompost. Estos componentes fueron combinados con el propósito de dotar a las moscas de una fuente de energía que las atrajera y los microorganismos para evitar la descomposición de los azúcares presentes. Experiencias similares fueron comentadas por parte de personeros de la EARTH¹⁰, utilizando el mismo atrayente pero mezclado con microorganismos eficientes.

¹⁰ Botero, R. 2003. Manejo de desechos orgánicos institucionales (gira/ entrevista). Guácimo, CR,

EARTH (Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda, CR).



Figura 28. Trampa para cazar moscas utilizada dentro de las instalaciones del lombricultivo. Nótese el embudo invertido en la parte superior del recipiente.

No obstante, las moscas nunca pudieron completar su ciclo en las camas del lombricultivo por el uso de los lixiviados en las labores de riego. Este líquido se tiene como una mezcla de componentes activos vegetales (fitohormonas y reguladores de crecimiento) además de los ácidos húmicos y fúlvicos, nocivos para los estados larvales de las moscas (Curso Lombricultura 2003). Si bien la plaga fue atraída a ovopositar en el sustrato, sobre todo cuando este se encontraba fresco, al efectuarse el riego con este antagonista se resolvía la problemática al romper el ciclo reproductivo. Sin embargo, en el lombricompost pudieron apreciarse restos de larvas de mosca bastante desarrolladas provenientes de individuos madurados en las últimas fases del compostaje.

En las camas de lombricultivo se observaron tres situaciones negativas: la compactación excesiva del sustrato, las malezas germinando dentro del lombricompostaje y la presencia de plagas como las planarias y babosas.

La compactación del sustrato influyó negativamente en la medida en que, al igual que en el compostaje se disminuyeron los espacios intersticiales provocando

que existiese menor cantidad de oxígeno para los procesos biológicos. En el lombricultivo este elemento no solo es necesario para las lombrices sino para toda la microfauna presente, parte de la cual es el alimento de los oligoquetos. Si se le añade que los lechos se mantuvieron en condiciones cercanas a la saturación con agua del sustrato, es fácil concluir que las circunstancias anaeróbicas fueron abundantes en sectores de los lechos. Estas zonas se ubicaron en los pisos de los lechos como pudo apreciarse al ejecutar las labores de volteo de la cama, por la presencia de fuertes olores rancios, producto de la volatilización de componentes nitrogenados como el amoníaco. De esta forma, se disminuyó la tasa de procesamiento de la materia orgánica al favorecerse el metabolismo anaeróbico como un importante gestor dentro de los procesos de descomposición en el lombricultivo.

Se debe mencionar que la aplicación de abundante materia al lecho pudo también ejercer una presión sobre el sustrato conllevando a la compactación. En ningún momento del lombricompostaje la carga de desechos correspondió a las necesidades alimenticias de la población de *Eisenia foetida*. Este contexto se magnifico por iniciar el proyecto con una baja cantidad de lombrices las cuales sufrieron un lapso de adaptación a la materia suministrada como alimento, sumado al bajo nivel reproductivo observado con las condiciones presentes en el lombricario.

La germinación de las semillas de las malezas provenientes dentro del compostaje se facultó por el ambiente favorable para este evento, alta humedad y condiciones de oscuridad (Flores- Vindas 1999) dentro del lombricultivo (véase *Figura 29*). La germinación fue disminuyendo en tanto fue avanzando el proyecto porque se fue reduciendo la cantidad de tierra proveniente del terreno baldío que ingresaba a la pila de compostaje. Se estima que la gran mayoría de las semillas de las malezas se encontraban en este componente; estas plantas eran abundantes en gran parte del lote, y algunos sectores se encontraban contaminados con malezas en etapas adelantadas de la sucesión biológica permitiendo la fase reproductiva y posible floración, fructificación y dispersión de semillas. Además, la aplicación de la cobertura con plásticos resultó negativa para la germinación de las malezas, al disminuir la presencia de luz necesaria para las últimas fases de este proceso. Una elevación térmica más allá de los 55 °C debió desplegarse en las fases de compostaje como medida sanitaria para la muerte de las semillas de las malezas. Esta disposición hubiese garantizado un lombricompost de alta calidad libre de semillas de plantas no deseadas. Esto particularmente incidió en el grado de aceptación por parte la comunidad del producto final.



Figura 29. Germinación de malezas en la cama del lombricultivo. Las semillas no fueron eliminadas en la fase de compostaje debido a las bajas temperaturas alcanzadas.

Las plagas dentro del lombricultivo fueron negativas al incidir tanto en la disponibilidad de alimento como en la población de lombrices. Ellas fueron fuertemente atraídas por la presencia de plásticos en las camas del lombricario (véase *Figura 30*). Se sabe que las babosas son enemigos de las lombrices en el punto en que compiten sobre el sustrato alimenticio. Ambos organismos son importantes consumidores de microorganismos presentes en la fase de descomposición de la materia orgánica. Las planarias son depredadores directos de los oligoquetos por sus hábitos carnívoros. La cantidad que pudo estimarse a través del seguimiento de la población de lombrices hace suponer que ellas fueron una importante causa del crecimiento bajo en el número de individuos. Se tiene que observar que el pH del sustrato en el que se efectuó el cultivo de lombrices fue propicio para el establecimiento de este enemigo. Un mejor control en la acidez del medio y de la humedad presente en el sustrato es la solución más aceptada para el combate efectivo de estos organismos problemáticos (De Sanzo y Ravera 2000, Curso Lombricultura 2003).

La planaria encontrada en el lombricultivo fue la típicamente descrita por De Sanzo y Ravera (2000) pero fue disímil con la planaria descrita como común en los lombricarios, la *Bipalium kewense*, por las características morfológicas de su extremo anterior, lo que hace cuestionarse la verdadera identidad de este depredador (véase *Figura 31*). Es importante cuestionarse también la procedencia de esta plaga, pues

era de esperarse que no fuese nativa del sitio donde se dio la ejecución del proyecto, pues el mismo no contaba con un nicho ecológico bien establecido donde pudiera estarse desempeñando como predador.



Figura 30. Plagas en el lombricultivo debajo del plástico de las camas. Dos tipos de enemigos de las lombrices: planarias y babosas.



Figura 31. Planaria. Acercamiento de un individuo ubicado debajo del plástico que protege la cama de lombricultivo.

Para lograr la captura de las lombrices una vez finalizado el proceso de vermicompostaje se pusieron en práctica 3 tipos de estrategias para la caza de las lombrices. Todas ellas se fundamentaron en el hecho de que el lombricultivo se mantuvo sin alimentación durante un mes antes de la recolección del lombricompost. Estas estrategias fueron: la alimentación con compost fresco por surcos dentro de las camas (véase *Figura 32*), las trampas con cebo colocadas sobre las camas (véase *Figura 33*) y la colocación en un ambiente soleado del humus sobre compost separado por malla (véase *Figura 34*).

La primera actividad ejecutada con el propósito de coleccionar las lombrices no fue muy eficaz por haber sido el lombricultivo sobrealimentado, de forma que no existió una presión por obtener alimento fresco. El sustrato en el que se encontraban las lombrices poseía suficiente alimenticio como para sustentar el crecimiento de la población. Sin embargo, la presencia de materia con características de descomposición reciente sí atrajo a cierta porción de la totalidad de las lombrices, siendo los individuos adultos los más representativos debido muy probablemente a su capacidad de movilidad. Esta actividad se ejecutó durante 2 semanas y posteriormente se incrementó el área ocupada por surcos al extraer sustrato para ser usado en otra de las estrategias para la colecta de las lombrices, específicamente la realizada sobre el planche del área soleada.



Figura 32. Estrategia para cosechar el lombricompost. Surco elaborado en la cama de lombricultura para ser rellenado luego con compost fresco.

La estrategia de colocación de trampas sobre el sustrato fue más efectiva para la recolección de lombrices. Se pudo observar en las trampas (tubos de PVC) una mayor cantidad de individuos en varios grados de desarrollo. En ella no solo se estaba atrayendo a la población por la disponibilidad de alimento sino que al ser irrigado el compostaje fresco con una mezcla de melaza y lixiviado se hacía más gustoso este componente para las *Eisenia foetida* subalimentadas. Esto ocasionó que las lombrices rápidamente se desplazaran hacia la zona rica en este alimento.



Figura 33. Estrategia para colectar las lombrices presentes en las camas del lombricultivo. Los tubos están rellenos con cebo.

Por último, la mejor estrategia para la separación de las lombrices del compostaje fue la que logró combinar dos contextos adversos para los gusanos como presión selectiva. Se trató entonces del traslado del sustrato hacia la zona soleada de las instalaciones sobre un material de compostaje fresco, igualmente humedecido con mezcla de melaza y lixiviado. En ella, dos factores hicieron más rápido y amplio el desplazamiento fuera del sustrato por parte de las lombrices. En primera instancia, la presencia de condiciones soleadas provocó una veloz desecación del sustrato mermando las condiciones favorables para el sustento de la población, que por lo tanto tuvieron que penetrar en las capas más profundas de este lecho. Además, para el momento en que se puso en práctica esta actividad se había mantenido el lombricultivo más de 4 semanas sin alimentación de desechos en descomposición reciente. De tal forma, que en este caso si se podría haber generado un poco más de

presión por la alimentación, y la atracción fue mayor al cebarse el compostaje suministrado, por la adición de melaza en riego,



Figura 34. Estrategia para la recolección de las lombrices presentes en el lombricompost. El material debajo del sarán rojo es cebo.

Una vez colectada la mayoría de la población de lombrices, el vermicompost fue de nuevo establecido sobre una de las camas para que se terminase de secar y a la vez para poder cazar las lombrices restantes y las recién eclosionadas. La actividad utilizada fue la estrategia mediante el uso de tubos rellenos con cebo. De esta forma se pretendía hacer mínima la pérdida de lombrices dado el gran valor que estas representaron en el proyecto, y la gran capacidad de transformación de la materia que poseen las lombrices en los estadios juveniles, representativos en estas ultimas lombrices recolectadas.

Evolución de la población

Con respecto a la población presente en el lombricultivo se tiene como premisa que la población inicial fue baja. Se recomienda la utilización de un núcleo de 4 000- 8 000 lombrices por m² (Curso Lombricultura 2003), y al empezar la actividad no existían las suficientes lombrices (14 000 individuos) para cubrir las necesidades de un lecho de un aproximado de 3,4 m² efectivos por lo que el procesamiento fue lento y no fue acorde con la carga establecida para el proyecto, que se podría decir fue constante a lo largo del emprendimiento.

Así, la evolución de la población pudo ser menor de lo requerido para alcanzar una población de lombrices que permitiese un procesamiento rápido y efectivo de toda la materia orgánica composteada. Por esta razón fue que las últimas pilas de compost nunca fueron alimentadas al lombricultivo dentro de los plazos previstos para la ejecución del proyecto.

El siguiente cuadro expone los valores calculados a partir del muestreo de la población. Como puede apreciarse se dio un crecimiento de todos los individuos contemplados en el conteo excepto por la última muestra en la que se vio una disminución en el componente de lombrices. Es muy probable que esta pérdida se diese por el incremento gradual de las planarias que pudieron haber depredado a *Eisenia foetida* en todos sus estadios de desarrollo ejerciendo una presión sobre la población.

Cuadro 9. Evolución de la población de lombrices rojas *Eisenia foetida* a través de los 4 meses del lombricultivo.

Fecha	Total Lombrices				
	Adultas	Jóvenes	Cocones	Otras	Planaria
02/08/2003	14 375	0	0	0	0
23/08/2003	23 738	12 012	46 618	1 430	286
06/09/2003	32 032	36 036	59 774	1 716	572
20/09/2003	37 752	92 664	22 880	2 288	1 716
11/10/2003	44 044	107 536	32 032	1 716	1 144
25/10/2003	69 784	169 312	37 752	1 716	1 716
08/11/2003	54 340	147 004	35 464	1 144	3 432

Fuente: Datos de campo.

Los individuos contabilizados como otros fueron lombrices de tierra nativas, con rasgos morfológicos similares a los de *Eisenia foetida*, pero de menor talla y un color grisáceo. Ellos fueron estimados como de una baja tasa de reproducción según la evolución de esta población, que como puede observarse se mantuvo prácticamente constante. Experiencias en las que lombrices nativas se evaluaron en conjunto con lombrices rojas fueron negativas para las rústicas, principalmente por el contexto expresado anteriormente, por lo que eventualmente fueron desplazadas¹¹. También

¹¹ Botero, R. 2003. Manejo de desechos orgánicos institucionales (gira/ entrevista). Guácimo, CR, EARTH (Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda, CR).

fue observada la presencia de lombrices nativas de un tamaño más grande que la *Eisenia foetida*, de 10 cm o más, de un color rosado, pero la cantidad de individuos fue mucho menor que las mencionadas anteriormente. Por tanto se descartó su posible accionar como degradador de la materia orgánica dentro los lechos.

El comportamiento de la población de lombrices es más fácil de interpretar observando la *Figura 35*. La tendencia de la población joven y adulta fue hacia el crecimiento constante, siendo más marcado en el caso de las inmaduras. La conducta hacia la disminución en el número de cocones presentes en el muestreo a mediados del emprendimiento, se puede justificar a la luz de que en ese periodo se efectuó la subdivisión de la población en las 2 camas. Este contexto pudo afectar el número de cocones viables, y por lo tanto el número de individuos a madurar en cada lecho pudo haber sido tan bajo como para incidir en una disminución en el número de cópulas. Esta labor fue realizada teniendo como premisa que entre menor el grado de apiñamiento, mayor el potencial reproductivo (Curso Lombricultura 2003), situación que en la práctica no pudo comprobarse.

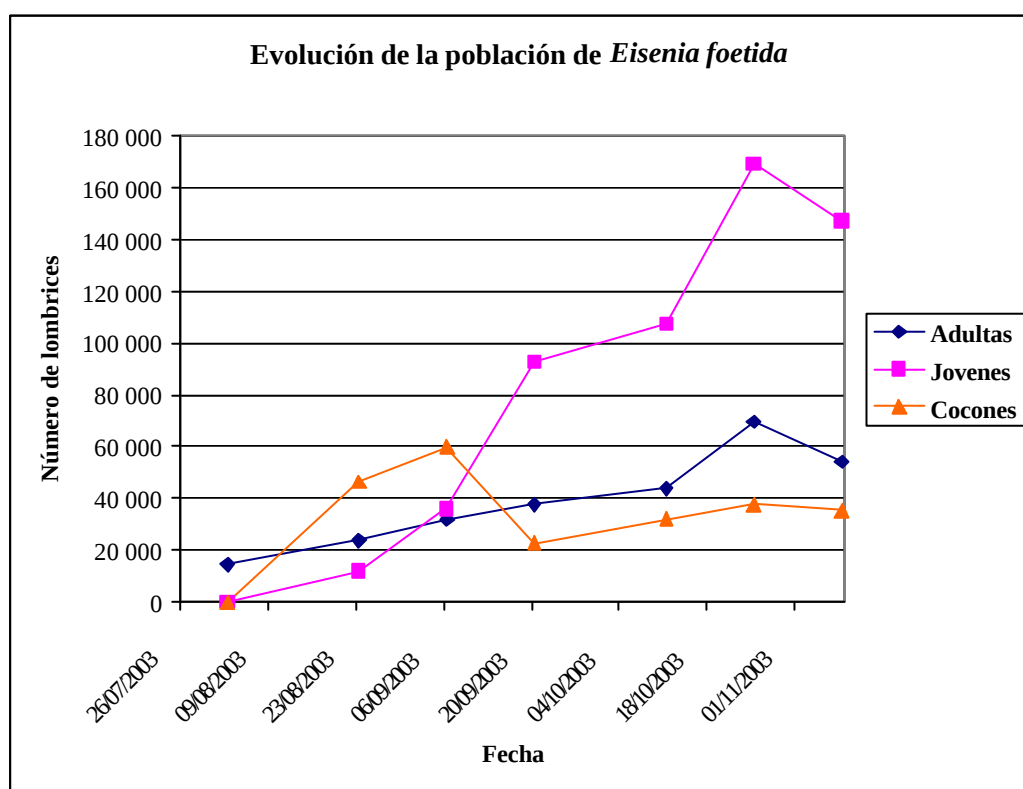


Figura 35. Comportamiento de la población de *Eisenia foetida* a lo largo de los 4 meses lombricultivo.

Una situación que también se observó y sobre la cual se puede justificar el descenso marcado en la población fue la fuga de lombrices, principalmente de adultos. Los individuos maduros son capaces de movilizarse en búsqueda de materia orgánica fresca, y al existir esta en los alrededores del recinto del lombricario, por los montones de compostaje dispuestos en terrenos anexos, se pudo potenciar la migración de individuos de las camas hacia las pilas. Así pudo constatarse al observar varios individuos merodeando tanto en los alrededores (véase *Figura 35*) como la presencia esporádica de individuos de lombriz roja dentro de las pilas de compostaje. Es importante señalar que se cree que la fuga de lombrices fue en cierta forma fomentada por la restricción en la alimentación del lombricultivo. Además, cabe mencionar que estos movimientos de las lombrices son realizados en horas de la noche cuando la capacidad de movilización de las lombrices es mayor por existir menor iluminación y alta humedad (De Sanzo y Ravera 2000, Curso Lombricultura 2003).



Figura 36. Lombriz roja merodeando fuera del lombricario. Los individuos adultos son lo suficientemente móviles para desplazarse en búsqueda de alimento.

Conclusiones

- El diseño de las instalaciones basándose en los fundamentos de los invernaderos fue acertado al lograr controlar las condiciones de luz, humedad y temperatura dentro del lombricario.
- La separación en una sola instalación de áreas de sombrificación y de claridad no resultó beneficioso pues se traslaparon las condiciones, afectando particularmente el lombricultivo y sus necesidades de oscuridad.
- La gran humedad presente en las camas de cultivo y lugares anexos es negativa para las estructuras de madera, pues faculta la eventual pudrición de este elemento con el paso del tiempo.
- El sistema de recolección de lixiviados fue eficiente en la recuperación de este importante producto del lombricultivo.
- Una mayor sombrificación faculta una mayor actividad de las lombrices al propiciar condiciones ambientales de temperatura y humedad más aptas para el lombricultivo.
- La aplicación de cobertura de los lechos potenció una actividad más superficial de las lombrices y la extensión de los tiempos aptos para el apareamiento.
- Los parámetros de pH y temperatura fueron muy cercanos a los ideales para un lombricultivo, comprobando la aplicabilidad de este tratamiento biológico para el manejo de desechos domésticos composteados en instalaciones similares.
- Los organismos provenientes del compostaje, insectos mayoritariamente, no ocasionaron problemas en el lombricultivo por ser inocuos para las lombrices, y mejoraron la eficiencia del proceso al disminuir el tamaño de las partículas.
- La recirculación de lixiviado dificultó la aparición de plagas como las moscas dentro de las camas del lombricultivo.
- La alimentación efectuada en el lombricultivo fue mayor a la necesaria por la baja densidad inicial de lombrices y el bajo nivel de reproducción.
- La compactación del sustrato en el lombricultivo incidió en la presencia de condiciones de anaerobiosis en el lecho, principalmente en las zonas inferiores.
- La sobrealimentación del lombricultivo y el grado de saturación con agua del sustrato fueron los causantes de las condiciones de poca disponibilidad de oxígeno en las camas dada la compactación.

- La calidad del lombricompost fue baja por la presencia de semillas de malezas provenientes del compostaje a baja temperatura.
- Las babosas y planarias son atraídas por la presencia de plásticos comunes en el lombricultivo, y por las condiciones mal manejadas de humedad en las camas del lombricultivo, que permitieron en gran medida la saturación del sustrato.
- La mejor estrategia para la separación de las lombrices del material procesado fue la que combinó las circunstancias de luz con la presión en la disponibilidad de alimento.
- La presencia de lombrices de tierra nativas dentro del lombricultivo fue un excelente indicador de la filiación entre estos organismos y la materia acondicionada para el tratamiento.
- La disminución en la población de las lombrices fue por la presencia extendida de planarias dentro de los lechos y por la fuga de individuos al escasear el alimento en condiciones inmaduras de descomposición.

Recomendaciones

- Dividir las instalaciones de forma que las áreas de luz y oscuridad cuenten con los elementos estructurales necesarios para permitir estas condiciones de forma permanente.
- Brindar un tratamiento protector a la madera utilizada en las estructuras de las instalaciones para hacerlas más resistentes a las condiciones ambientales adversas, principalmente la alta humedad.
- Garantizar condiciones de oscuridad en las instalaciones del lombricultivo para evitar la excesiva evaporación y favorecer la conservación de niveles altos de humedad en las camas
- Potenciar la reproducción de las lombrices y la actividad constante de las mismas mediante la aplicación de coberturas a los lechos.
- Utilizar un material para sombrear e impermeabilizar no afín a las plagas del lombricultivo, o evitar el contacto de estos materiales con las camas de cultivo.
- Comprobar la utilidad del plástico negro tipo “salinero” para las labores de impermeabilización y sombreado del lombricultivo.
- Calcular la alimentación necesaria para la población presente en los lechos del lombricultivo para aplicar la carga justa del proceso.

- Combatir la compactación de las camas mediante el volteo periódico de las camas para propiciar mejores condiciones aeróbicas en el sustrato.
- Permitir la presencia de los organismos provenientes del compostaje, mientras estos no sean enemigos de las lombrices.
- Aplicar el riego de lixiviados como forma de repeler las posibles plagas, principalmente de moscas en estado larval.
- Usar el riego en el lombricultivo de forma corta y frecuente para evitar la saturación del sustrato y la consecuente aparición de organismos no deseados.
- Combatir la presencia de planaria con la atracción por parte de materiales plásticos para su posterior eliminación.

CAPÍTULO III EVALUACIONES FINALES

Rendimientos

Compostaje

Los rendimientos encontrados en la fase de compostaje fueron acordes a lo esperado. Se esperaba una disminución considerable en la masa de la pila por dos situaciones en particular. Primero, se esperaba una disminución en el contenido de humedad general de los materiales presentes en la pila, situación que se magnificaría en las fases de maduración (Coyne 2001). Segundo, debido al crecimiento microbiano, a partir de los componentes energéticos de la pila, se debería dar una elevación térmica que se traduciría en una pérdida de calor (energía y masa) hacia el medio (Hibbits 1977, Díaz *et al.* 1993).

Así, al analizar los datos provenientes de la cuantificación inicial y final de la masa de las pilas, se comprobó la hipótesis. En todas las pilas el total final fue menor que el total inicial, obteniéndose como promedio un rendimiento del 76,08 %, siendo el máximo y mínimo rendimiento 96,73 % y 54,89 % respectivamente (véase *Cuadro 10*).

Cuadro 10. Cantidad de materia presente en las pilas de compostaje al inicio y final del proceso y su rendimiento.

Compost	Total Inicial (kg)	Total Final (kg)	Rendimiento (%)
1	155,62	93,52	60,10
2	136,96	96,76	70,65
3	119,74	111,00	92,70
4	146,82	138,50	94,33
5	137,83	75,65	54,89
6	180,58	113,30	62,74
7	212,19	155,00	73,05
8	174,84	124,70	71,32
9	156,11	151,00	96,73
10	364,55	235,75	64,67
11	136,25	124,00	91,01
12	142,55	113,00	79,27
13	174,65	135,50	77,58
Promedios	172,21	128,28	76,08

Fuente: Datos de campo.

Los datos mostrados en este cuadro corresponden a totalidad de la pila concluida antes de efectuarse las labores de tamizaje, por lo que no son concordantes con los valores obtenidos en las posteriores fases del proyecto de lombricultura que contemplaban únicamente la fracción fina del compostaje.

Una situación en particular produjo una disminución extraordinaria de masa en la pila de compost 5. Como anteriormente se comentó, la invasión extendida de moscas dentro de esta pila pudo además ocasionar la pérdida de masa a favor de la biomasa generada por la plaga, que al concluir su ciclo abandonó la misma. Se conoce que los dípteros, especialmente en el desarrollo desde huevo, estado larval y juvenil, son excelentes generadores de biomasa, particularmente de proteínas (De Sanzo y Ravera 2000).

Al contrario, el compost 9 tuvo una merma casi insignificante de masa. Únicamente, disminuyó una cantidad de 5,11 kg a través de las 6 semanas de compostaje. Se puede intuir que en este caso en particular no se dio una disminución de humedad sustancial y fue más bien probable que los componentes en este caso fueran bajos en humedad y que algunos captarán agua al efectuarse el riego, sin darse su posterior pérdida. Además, la temperatura máxima alcanzada por esta pila no fue tan elevada (48 °C) por lo que se pueden inferir dos situaciones: poca o nula pérdida de agua en forma de vapor en la pila, y baja pérdida de calor al ambiente. Esta última mención se puede justificar por el hecho que esta pila de compost también fue una de las más bajas en componentes por lo que su área superficial expuesta al contacto con el ambiente fue poca, disminuyendo por consiguiente el intercambio de calor con el medio, lo que es acorde con lo descrito por Hibbits (1977).

Lombricultivo

El rendimiento del humus de lombriz producido en el lombricultivo no correspondió con lo expuesto en la literatura (Martínez 1999, De Sanzo y Ravera 2000, Curso Lombricultura 2003), obteniéndose valores significativamente más altos. Se esperaban resultados cercanos al 50- 60 % de productividad. Se encontró que el porcentaje de transformación de compost en vermicompost fue de 70,22 %. El siguiente cuadro resume la introducción total de alimento al sistema, la totalidad de producto obtenido así como el parámetro obtenido.

Cuadro 11. Cantidad de materia inicial y final presente en el lombricultivo y su rendimiento.

Compost alimentado (kg)	Humus producido (kg)	Rendimiento
877,22	616,50	70,28 %

Fuente: Datos de campo.

Este detalle del proyecto es posible de explicar por dos circunstancias: una baja disponibilidad de lombrices y un corto periodo de procesado. Se puede agregar también un porcentaje de humedad alto que pudo haber sesgado todavía más la medida obtenida.

La razón más importante para la justificación de estos resultados se considera la poca cantidad de lombrices presentes en el proyecto. Al ser estas las mayoritariamente responsables del procesado de la materia orgánica inoculada, y su desarrollo se espera que fuera en detrimento de la masa del sustrato, se puede establecer que la escasez de las mismas hizo que el material no fuera disminuido en abundancia. Es decir, entre menos lombrices procesando el compost, mayor la cantidad de producto obtenido. Póngase atención que en este caso se habla de producto y no de humus pues esta situación predice que lo resultante pudo haber sido poco procesado por las lombrices. Así, al existir una baja densidad de lombrices, sumado a que la mayoría de ellas se encontraban en fase juveniles, presupone que la carga de alimentación pudo haber sido mayor a la necesitada. Aquí se debe considerar que las lombrices de tierra son capaces de consumir su propio peso, o un porcentaje poco menor, en un día de alimentación (De Sanzo y Ravera 2000). Este alimento consumido debió ser excretado en valores cercanos al 60 % y el resto utilizado para el metabolismo de la lombriz (Curso Lombricultura 2003).

Por otra parte, se tiene que para lograr un humus de alta calidad se recomienda un periodo de procesamiento de 4 a 6 meses (Martínez 1999, Curso Lombricultura 2003). Aunque el proyecto contempló estos datos, la última alimentación de material para procesar fue solamente un mes antes de la obtención de los datos que permitieron el cálculo del rendimiento, por lo que fue muy probable que una amplia fracción de este volumen saliese del sistema sin la debida transformación biológica.

Más allá, el porcentaje de humedad del material colectado pudo haber sido mayor a las mediciones consultadas en la literatura. Esto porque al humus no se le permitió la desecación necesaria que permitiera la pérdida de saturación, sin llegar a ser tal que pudiera afectar el componente microbiológico del abono, ocasionando entonces una maduración del mismo.

Compostaje y lombricultivo, modelo alternativo para el manejo de desechos sólidos orgánicos

El rendimiento del tratamiento efectuado como alternativa para el manejo de desechos sólidos orgánicos en la comunidad modelo fue de un 43,39 %, sobre el total de materia orgánica utilizada contra el total de humus de lombriz producido. Los rendimientos obtenidos en el proyecto se resumen en el siguiente cuadro. En él se contemplan dos tipos de porcentajes para el compostaje porque parte de la materia procesada por este tipo de tratamiento no pudo llegar a ser introducida en el lombricultivo. Por la misma razón los valores iniciales correspondientes al compostaje (2 238,69 kg) no son los mismos valores que se muestran al inicio del manejo alternativo (1 420,69 kg). Además, el producto expuesto en el apartado de compostaje alimentado (877,22 kg) corresponde al material tamizado, o fracción fina, y por ello es que el rendimiento es más bajo que en el caso generalizado, que contempló la totalidad de material dentro de la pilas.

Cuadro 12. Rendimientos generales de los procesos realizados en el proyecto de manejo de desechos sólidos orgánicos.

Proceso	Material inicial (kg)	Producto (kg)	Rendimiento
Compostaje general	2 238,69	1 667,68	74,49 %
Compostaje alimentado (1)	1 420,69	877,22	61,75 %
Lombricultivo (2)	877,22	616,50	70,28 %
Manejo alternativo (1 y 2)	1 420,69	616,50	43,39 %

Fuente: Datos de campo.

Como puede observarse, la disminución de la masa en proceso de compostaje en general no fue tan drástica como en el caso del lombricultivo principalmente porque en este segundo tratamiento la biomasa generada fue de mayor talla (lombrices contra microorganismos), con la consecuente merma en el material primario. Además, estos datos incluyen el material procedente de la fracción gruesa que tuvo que ser eliminado del proceso por las características antes mencionadas en el apartado del *Capítulo I*.

Así, se puede concluir que este tipo de manejo de los desechos produce un porcentaje elevado de abono a partir de una biomasa que antes era desechada olvidando el potencial que ella aun contenía. Es esta, para el ejecutor, la mayor importancia que se encontró a través de la ejecución del proyecto.

Microorganismos

Materiales y métodos

Se efectuó una cuantificación de microorganismos aerobios presentes en los dos tipos de productos finales: compost y lombricompost. Estas pruebas se realizaron mediante la técnica de conteo de microorganismos, específicamente de unidades formadoras de colonias, aisladas por técnica de vaciado en placa a partir una serie de diluciones decimales. Estas pruebas fueron efectuadas en el Laboratorio de Biología del ITCR.

El procedimiento fue iniciado al diluir 25 g de muestra de abono en aproximadamente 225 ml de agua peptonada estéril al 1 % mv^{-1} . Se llevó el volumen total a 250 ml. Esta primera suspensión poseía un factor de dilución de 1:10. Se tomó 1 ml de esta muestra y se colocó en un tubo de ensayo conteniendo 9 ml de agua peptonada, provocando un factor de dilución de 1:100. Nuevamente se tomó 1 ml de la disolución resultante y se transfirió a otro tubo de ensayo con la misma cantidad de sustrato de agua peptonada. Esta muestra poseía entonces un factor de dilución de 1:1 000. Así se continuó hasta alcanzar la dilución al 1:10 000 000.

Con las diluciones desde 1:10 000 hasta 1:10 000 000 se transfirió 1 ml a placas esterilizadas conteniendo medio de cultivo de agar de recuento estándar no solidificado. Se esperó un tiempo prudencial para que se solidificara el medio y se vertió una pequeña cantidad del agar licuado sobre la placa, formando una doble capa. Se realizó esta parte del ensayo en forma duplicada. Las placas fueron colocadas en incubación durante 48 horas, a una temperatura de 35 °C. Luego se observó el crecimiento microbiano y en aquellas placas que contenían entre 10 y 100 colonias se hizo un conteo de las mismas y se multiplicó el número de colonias por el factor de dilución, para obtener una aproximación a la cantidad de núcleos formadores de colonias presentes en un gramo de muestra.

El medio de cultivo utilizado para las pruebas de conteo de microorganismos fue agar de recuento estándar llamado también triptona glucosa levadura. Un litro de este medio líquido contiene: caseína pancreática digerida 5,0 g; extracto de levadura 2,5 g; dextrosa 1,0 g.; agar 15 g. El medio a 25 °C de temperatura posee un pH de $7,0 \pm 0,2$.

El siguiente diagrama resume de forma gráfica la metodología utilizada.

COMPUTO DE BACTERIAS AEROBICAS

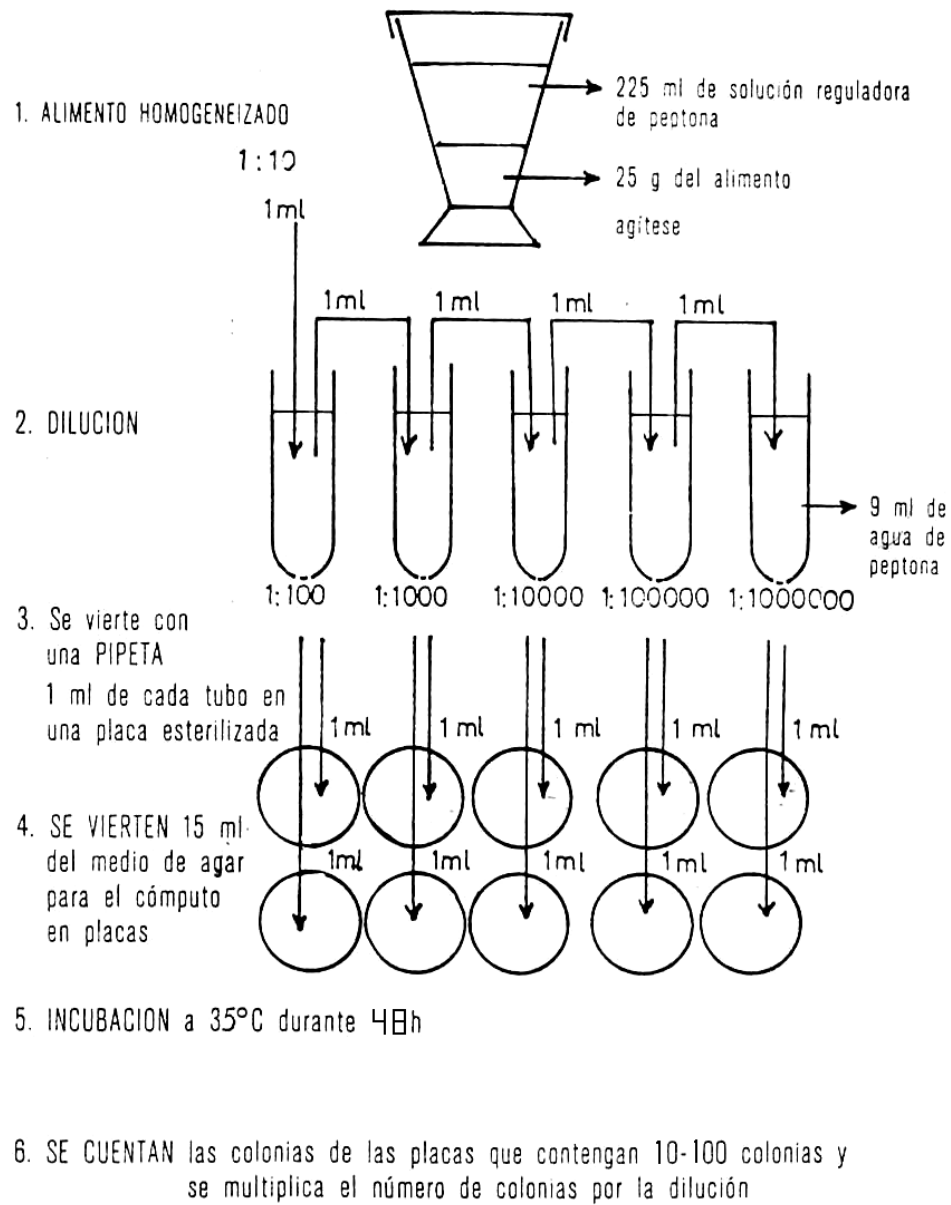


Figura 37. Diagrama de la metodología utilizada para el conteo de microorganismos.

Resultados y discusión

Las pruebas de conteo de microorganismos revelaron los siguientes resultados en la muestra de compost, se cuantificaron un total de 19 colonias en la placa perteneciente al factor de dilución 1:1 000 000 (véase *Figura 38*). Por lo tanto, se tiene un aproximado de $1,9 \times 10^7$ unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de compost. En este caso los microorganismos aquí contabilizados son aerobios estrictos, no pudiéndose diferenciar el tipo de microorganismos presentes. No obstante, es de esperarse que se muestrearon tanto bacterias, actinomicetos y hongos (Martínez 1999), producto de la utilización de un medio de cultivo no selectivo de amplio espectro como el agar triptona glucosa levadura. La mayoría de las colonias presentes en esta placa poseían las siguientes características morfológicas: circulares, de borde entero redondas, las cuales son propias de colonias bacterianas.

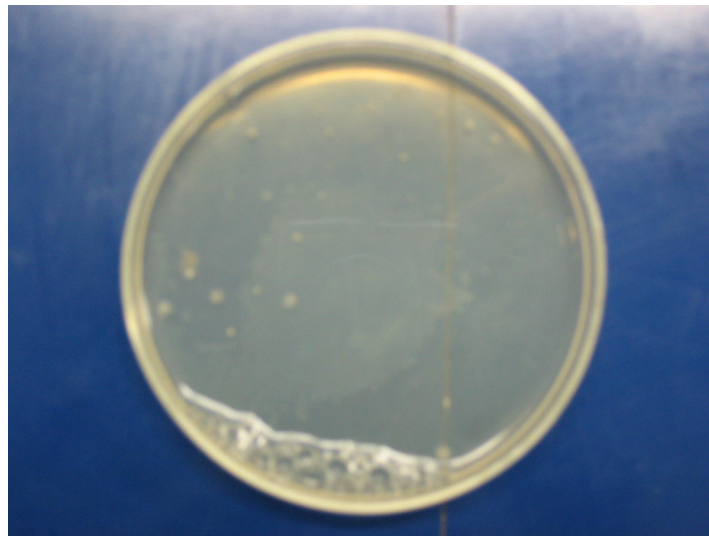


Figura 38. Colonias de microorganismos aerobios presentes en la muestra de compost dilución 1:1 000 000. La placa de Petri presenta burbujas de aire por errores en la dispensación del medio.

Los resultados en el caso del conteo de microorganismos para la muestra de lombricompost fueron los que a continuación se detallan, se contabilizaron un total de 25 colonias para la placa correspondiente al factor de dilución 1:1 000 000. De aquí se obtiene una relación de $2,5 \times 10^7$ UFC en un gramo de lombricompost. Al igual que en el caso del compost, al utilizarse el mismo medio de cultivo en la placa aparecen organismos con características metabólicas similares, es decir aerobios obligados en la mayoría de los casos. La variedad de los mismos se pudo comprobar al observarse colonias con características morfológicas diferentes, como la colonia con margen tipo

filamentoso presente en la parte central de la placa (véase *Figura 39*). Por sus características morfológicas, esta colonia podría ser un hongo u otro microorganismo como un actinomiceto, resaltándose la mayor diversidad biológica presente en el proceso de lombricompostaje al compararse con el compostaje (Subler *et al.* 1998).

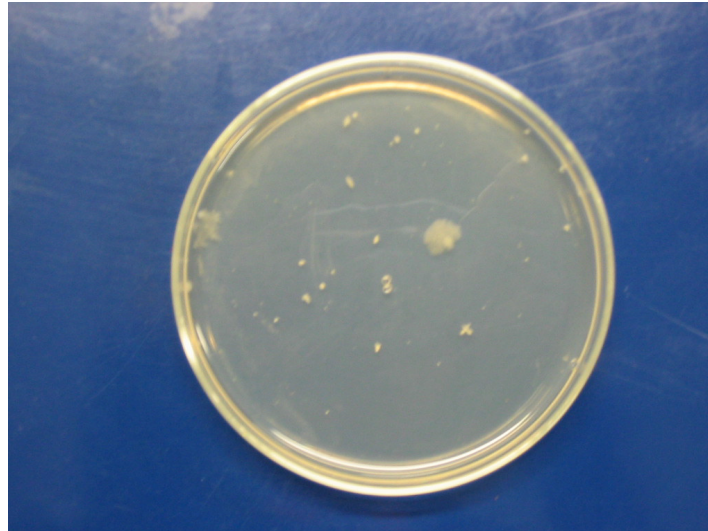


Figura 39. Colonias de microorganismos aerobios presentes en la muestra de lombricompost dilución 1:1 000 000. Obsérvese la presencia de una colonia filamentosa bastante extendida.

El siguiente cuadro resume los resultados obtenidos de las pruebas microbiológicas y se comparan con datos sobre la flora microbiana de un lombricompost. Los datos experimentales para el lombricompost demuestran una mayor cantidad de microorganismos presentes que en el compost.

Cuadro 13. Cantidad de microorganismos (UFC) presentes por gramo de muestra.

Muestra	UFC•g ⁻¹
Compost	1,9x10 ⁷
Lombricompost	2,5x10 ⁷
Lombricompost (seco)	2,1x10 ⁷

Fuente: Datos experimentales y Martínez 1999.

Como puede observarse la muestra con mayor presencia de flora microbiana fue la del lombricompost experimental. Si se compara con la muestra de compostaje era de esperarse una mayor ventaja pues se reconoce que en el proceso de lombricultura se da un aumento y diversificación de los microorganismos presentes (Martínez 1999). Esto es debido a que a lo largo del tracto digestivo de estos

anélidos se potencia el crecimiento de bacterias, hongos y actinomicetos, que de igual forma constituyen el principal alimento de las lombrices. Es decir, la lombriz *Eisenia foetida* se alimenta de microorganismos y potencia su reproducción por lo que ella constituye un sistema de circulación efectivo de los degradadores microbianos (Curso Lombricultura 2003). Al compararse este dato con el del lombricompost seco no se puede concluir que el material experimental fuese más abundante en microorganismos que el evaluado por Martínez (1999). Esto por el hecho de que los materiales son disímiles en cuanto a su contenido de humedad, lo que pudo haber favorecido al material de este proyecto, al conservarse los factores ambientales que propiciaran el mantenimiento integral de la población microbiana (Madigan *et al.* 1999).

Es importante mencionar que más allá del contenido nutricional del este abono, el vermicompost es reconocido como un excelente insumo para potenciar el desarrollo vegetal sobre la base de la actividad microbiana que este fortalece y sobre las comunidades de microorganismos que inocula al suelo (Subler *et al.* 1998).

Nutrientes

Materiales y métodos

Esta labor fue efectuada por el laboratorio CEQIATEC del ITCR, específicamente por el señor B. Q. Rogelio Mata Solano. Se evaluaron los parámetros de humedad, pH, materia orgánica, y los siguientes nutrientes: nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio y zinc, siguiendo los métodos descritos en Jackson, L. 1976. Análisis Químico de Suelos. 3° ed. p 77 y 300 y por el método EPA 3050B. Las muestras ingresaron para su análisis el día 7 de Noviembre del 2003.

Resultados y discusión

Los análisis realizados a las muestras estuvieron terminados el día 17 de Noviembre del 2003, y fueron entregados al ejecutor el 21 de Noviembre del 2003. El siguiente cuadro resume los resultados obtenidos para ambos tipos de abonos orgánicos producidos.

Cuadro 14. Parámetros físico- químicos de los dos tipos de abonos orgánicos elaborados en el proyecto.

Análisis	Lombricompost	Compost
Humedad (% masa/ masa)	46	40
pH ($\pm 0,01$)	7,58	7,18
Materia orgánica (% masa/ masa)	14,0	10,1
Nitrógeno (% masa/ masa)	0,24	0,088
Fósforo (mg/ 100g)	211	195
Calcio (mg/ 100g)	885	845
Magnesio (mg/ 100g)	177	173
Zinc (mg/ 100g)	16,3	16,9
Potasio (mg/ 100g)	367	360

Fuente: Informe de resultados CEQIATEC 2003.

Como puede apreciarse la evaluación nutricional y de materia orgánica muestran valores más altos para la muestra de lombricompost, lo que era esperado teniendo en consideración lo descrito por Subler *et al.* (1998). Únicamente, el elemento zinc es mejor representado en la muestra de compost. Esto pudo deberse a que este elemento sea un macronutriente en el desarrollo de la lombriz de tierra *Eisenia foetida*, por lo que fue extraído del abono por este organismo para realizar sus labores metabólicas.

Como era de esperarse la muestra de lombricompost posee un mayor porcentaje de humedad pues la misma en el momento de ser recolectada todavía no se encontraba lo suficientemente desecada. Además, se recomienda que el vermicompost posea una humedad alta para que se puedan conservar las propiedades microbiológicas de este abono orgánico (De Sanzo y Ravera 2003).

Al contrario, la muestra de compostaje con datos de humedad de 40 % evidencian que en este caso la maduración del abono se había logrado en gran medida, pues los niveles de agua disponible habían disminuido desde el 60- 70 % ideal a nivel de proceso, comprobado mediante la prueba del puñado, hasta valores cercanos a lo óptimo para este tipo de acondicionador de suelo (Hibbits 1977).

El rango del pH de los dos compuestos evaluados es cercano al valor neutro. Particularmente, es importante observar como el pH del lombricompost es de 7,58, valor que, según De Sanzo y Ravera (2003), impediría el desarrollo de plagas como las planarias, que prefieren valores aun más bajos, lo cual se contradice experimentalmente.

Otra particularidad de los análisis realizados es que las muestras tienen un alto componente de materia orgánica. Esto es importante de rescatar pues sobre este componente es donde los abonos orgánicos se muestran más beneficiosos para el mejoramiento del suelo y la nutrición vegetal (Microsoft Corporation 1996). Es muy probable que sobre este componente se faculte el accionar de los abonos orgánicos como amortiguadores de toxicidad y retenedores de humedad en el suelo (Subler *et al.* 1998).

Se puede apreciar también que es el nitrógeno el elemento que mayor mayormente se potencia con el lombricultivo. Se pudo consultar de manera bibliográfica que el proceso de las lombrices *Eisenia foetida* puede incrementar la concentración de este elemento hasta un factor de 6 veces lo presente en el material origen (Curso Lombricultura 2003). En este ensayo en particular el aumento fue del orden aproximado de 3,5 veces. No obstante, debido a que es este macroelemento de la nutrición vegetal que se considera más necesario de potenciar en la elaboración de abonos orgánicos (Restrepo 2001) se razona el emprendimiento como una buena alternativa para lograr la obtención de buenos fertilizantes acordes con la naturaleza.

Se propone entonces la sustitución de productos fertilizantes de naturaleza química aplicados en las plantas de la comunidad (véase *Figura 40*) por el material resultante del proyecto (véase *Figura 41*). De esta forma se estaría ejecutando labores acordes con el proceso normal de recirculación de materia y energía que naturalmente sucedían y se estaría dejando de lado la toxificación de suelo comunitario por parte de los insumos artificiales.



Figura 40. Fertilización química realizada en las plantas de la comunidad. El tipo de fertilizante es de tipo granular.



Figura 41. Redistribución del humus en la comunidad. Al incorporarse al suelo se estaban cerrando los ciclos de carbono y energía.

A manera de conclusión del proyecto, se efectuó la necesaria distribución del producto obtenido en todas las casas participantes. Así, se pretendió hacer una muestra de agradecimiento con la comunidad por el acogimiento del proyecto. Además, se incitaba la aplicación de este excelente abono de forma que se cerrasen los ciclos de materia y energía en los suelos en esta sociedad modelo. En suma, se estaría realizando una importante actividad en pro del medio ambiente que vendría a mantener las condiciones de buena fertilidad en los suelos comunitarios, de acuerdo con los principios de sostenibilidad y producción más limpia.

Conclusiones

- El compostaje fue el proceso que mostró un rendimiento acorde con lo previsto en la literatura.
- La pérdida de masa en las pilas de compostaje se dio por el intercambio de calor con el medio y por la pérdida de agua de los componentes al disminuir la humedad en las fases de maduración.
- Datos de rendimientos en compostaje muy altos o bajos suponen una situación especial dentro del procesamiento de la pila en cuestión.
- El lombricompostaje evidenció un rendimiento alto por estar el abono producido lejos de ser terminado óptimamente.
- Los valores nutricionales y microbiológicos más altos del lombricompost distinguen este abono orgánico sobre el compost proveniente de la primera etapa del proyecto.
- El lombricompostaje fomenta valores nutricionales de nitrógeno más altos que el compostaje aeróbico en varios órdenes de magnitud.
- El humus de lombriz poseía un valor de pH inapropiado para el establecimiento de la plaga de planaria, lo cual se contradijo experimentalmente.
- Ambos abonos obtenidos poseen un componente importante de materia orgánica, elemento importante en el acondicionamiento del suelo.

CAPÍTULO VI EVALUACIÓN ECONÓMICA

Introducción

La situación económica y social en que se encuentra el país hace necesaria el desarrollo de proyectos empresariales que vengan a generar el desarrollo y las consecuentes mejores condiciones de vida para la población. Si estos emprendimientos se fundamentan en la aplicación de tecnologías limpias y sobre componentes que se encontraban ociosos o subutilizados, se estaría además propiciando modelos acordes con la sostenibilidad y protección al medio. El proyecto aquí expuesto posee la particularidad de poder ser enfocado desde el punto de vista de un proceso productivo que podría ejecutarse desde el punto de vista empresarial. Debido a que los recursos que se pueden asignar a un proyecto empresarial son cada vez más limitados, y en algunos casos son accesibles únicamente frente a altos costos, corresponde hacer uso de herramientas que permitan la evaluación del impacto que las actividades puedan generar, para poder corroborar la efectividad del planteamiento y conocer el grado de retribución que se podría obtener a la hora de continuar este proyecto de forma empresarial.

El proyecto de manejo alternativo de desechos sólidos orgánicos de esta comunidad se pudo establecer gracias al patrocinio de familiares del ejecutor, que financiaron los costos de la puesta en marcha del lombricultivo. Sin embargo, al tratarse de un modelo que se espera se reproduzca en varias comunidades con características socioeconómicas similares, es importante plasmar los valores relaciones a los costos de la actividad, así como hacer un análisis financiero que permita la toma de decisiones dentro de las comunidades que decidan implementarlo.

No obstante, la particularidad del proyecto de insertarse dentro de un contexto ambiental hace de suponer que mucho de los aspectos económicos no serán totalmente certeros al despreciarse muchas de las externalidades que se generarían al aplicarse el proyecto, o que más bien se estarían solventando al ponerse en práctica esta alternativa de manejo. Además, el propósito principal del proyecto no fue la generación de un producto que viniera a solventar una necesidad humana sino a solucionar un problema social correspondiente al inadecuado manejo de la fracción orgánica de los desechos domésticos. El contexto en el que el proyecto generase un producto de un alto valor agregado presupone un panorama favorable, considerando lo anteriormente descrito.

Evaluación financiera

Es importante mencionar que una evaluación financiera es un estudio de los ingresos, costos y rentabilidad de una empresa individual considerando los factores de producción (tierra, capital y trabajo) pagados a precios de mercado. Es un instrumento para determinar la capacidad financiera de realizar el proyecto. Se utiliza para ella el flujo de caja que permite verificar la capacidad de generar fondos¹².

El horizonte de evaluación del proyecto se determinó en 4 años por ser un plazo conveniente para poder tener una tendencia de la evolución de la actividad, así como para poder apreciar la posibilidad de expansión.

Flujo de efectivo

Los siguientes apartados muestran los valores correspondientes a varias de las cuentas conceptualizadas para el establecimiento del lombricultivo

Capital social

El capital de inicio para el proyecto se estimó en ₡ 300 000, la mitad de la cantidad se utilizaría para financiar la inversión inicial y la otra mitad sería el capital de trabajo.

Inversión inicial

La inversión inicial correspondería mayoritariamente a los materiales para la construcción de las instalaciones. No se incluyen los rubros de terreno por ser un elemento que debería ser facilitado por algún miembro de la comunidad donde se lleve a cabo el proyecto. De igual forma, se elimina lo concerniente al trabajo necesario para la construcción de la infraestructura sobre el supuesto que será efectuado voluntariamente por algunos de los habitantes de la zona donde se emprenderá el lombricultivo.

¹² Cortes M., JC. 2002. Formulación, gestación y evaluación de proyectos (curso). Cartago, CR,

ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica).

Instalaciones e equipo

• Madera:	¢ 75 000
• Plásticos y zarán:	¢ 28 000
• Tubo PVC:	¢ 6 000
• Concreto (8 sacos de 50 kg):	¢ 11 500
• Herramientas (pala, biello, tijeras, regadera):	¢ 9 500
• Lombrices (4 kg):	¢ 10 000
• Materiales varios:	¢ 7 000
• Otros:	¢ 3 000
•	
• Total inversión inicial:	¢ 150 000

Ingresos

Se estimó oportuna la venta del lombricompost en fracciones pequeñas, para obtener un mayor beneficio económico. Además, se pretendió en algún momento lograr la venta de núcleos de lombrices para pie de cría.

• Lombricompost (1 kg):	¢ 400
• Lombrices (1 kg):	¢ 2 500

Egresos

Los egresos de la actividad serían únicamente los correspondientes a mano de obra pues en el manejo del proyecto los otros insumos (aserrín y melaza) pueden ser excluidos, bajo el supuesto que fueron adicionados únicamente con el propósito de la dirección del proceso en el estudio. El otro requerimiento necesario para la actividad sería el agua, pero se recomienda que este recurso sea favorecido por una casa de la comunidad, por lo que se excluye como gasto. La cantidad de agua necesaria en el proyecto no es de un volumen suficiente para ser considerada como un gasto que propicie una importante salida de dinero.

• Mano de obra (peón agrícola hora):	¢ 430
--------------------------------------	-------

Lista de supuestos

Se supone una carga del proyecto de 3 600 kg de desechos al año, efectuando para mayor facilidad 3 ciclos de recolección de lombricompost que se espera se produzca en un rendimiento de 40 %. Por lo tanto se tiene un total de 1 440 kg de lombricompost en un año. Se espera lograr colocar toda la producción en el mercado.

En cada ciclo de recolección se tiene la expectativa de generar progresivamente 2 kilogramos de lombrices más que en ciclo anterior, hasta alcanzar un tope de 12 kg, iniciándose con 2 kg de lombrices en el primer ciclo. Al finalizar el segundo año se descontaran 4 kg de lombrices para ser utilizadas en las labores de ampliación de las instalaciones.

Las instalaciones se depreciaran bajo el método de línea recta en 2 años, únicamente para el material de plástico y sarán. Lo anterior es lo mismo que establecer que el valor de salvamento de las instalaciones será ¢ 122 000, el cual no se depreciara con el tiempo.

La mano de obra contratada será empleada de forma temporal empezando por una jornada de 20 horas semanales y después de la expansión de las instalaciones la jornada sería de 40 horas semanales.

En el segundo año, se ampliaran las instalaciones construyendo dos camas de idénticas características, con un valor de ¢ 30 000. Estas camas permitirán el procesamiento de la doble cantidad de desechos generándose por lo tanto la duplicación de los productos (humus y lombrices). También será necesario el mantenimiento de la primera infraestructura, en ese mismo momento, pero únicamente de los materiales plásticos y sarán.

El valor de la inflación se estableció en 15 % anual afectando de igual forma los ingresos y los egresos. La tasa de impuestos se considera en 25 %. El costo del capital es en igual forma 25 %.

Flujo de caja proyectado

Proyecto Lombricultivo	Inflación (ingresos y egresos)				15%													
Los datos se muestran en colones	Impuestos				25%													
	Costo capital de proyecto				25%													
	Año (Ciclos)																	
	0	1				2				3				4				
		1	2	3	Total	1	2	3	Total	1	2	3	Total	1	2	3	Total	
Inversión inicial																		
Infraestructura	150 000												28 000					
Capital de trabajo	150 000																	
Total inversión	300 000																	
										876 024								
Ingresos lombricompost (¢ 400/ kg)		192 000	192 000	192 000	576 000	220 800	220 800	220 800	662 400	507 840	507 840	507 840	1 523 520	584 016	584 016	584 016	1 752 048	
Ingresos lombrices (¢ 2 500/ kg)		5 000	10 000	15 000	30 000	23 000	28 750	23 000	74 750	39 675	52 900	59 513	152 088	76 044	83 648	91 253	250 945	
Egresos mano de obra (¢ 420/ hora)					436 800				502 320				1 155 336				1 328 636	
Depreciación					14 000				14 000				14 000				14 000	
Utilidad antes de impuestos					155 200				220 830				478 272				660 357	
Impuestos					38 800				55 208				119 568				165 089	
Utilidad después de los impuestos					116 400				165 623				358 704				495 267	
Depreciación					14 000				14 000				14 000				14 000	
Valor residual infraestructura																	122 000	
Flujo Neto de Efectivo	-300 000				130 400				179 623				372 704				631 267	
VAN (25 %)	294 936,10																	
TIR	68%																	

Análisis de los indicadores financieros

Los indicadores financieros utilizados fueron el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). El VAN en un proyecto se define operacionalmente como el resultado de la diferencia entre los ingresos actualizados (valores positivos) y los costos actualizados (valores negativos) a una determinada tasa de descuento. También se dice que es encontrar la equivalencia de los flujos de efectivo de un proyecto, para después compararlos con la inversión inicial (Alcaraz 2001). La TIR es la tasa que reduce a cero las equivalencias del valor actual neto, es un índice de rentabilidad ampliamente aceptado, el cual va a mostrar si conviene invertir en un determinado momento (Alcaraz 2001).

Un VAN positivo como el obtenido en este proyecto supone que el balance del mismo descontado a la tasa descuento mínima considerada como atractiva es favorable. Es decir, los ingresos planteados a futuro superarían los costos. Este resultado aconseja que el proyecto debería bajo estas circunstancias realizarse, y ya que el parámetro obtenido es tan alto indica una buena oportunidad de éxito a nivel empresarial.

La TIR tan alta presupone que el proyecto es financieramente conveniente, y que bajo las circunstancias presentadas en el flujo de caja proyectado, si se obtienen los valores necesarios para obtener rendimientos significativos en el periodo de tiempo evaluado.

RECOMENDACIONES GENERALES

- Efectuar otros tipos de emprendimientos ecológicamente correctos en la comunidad fundamentándose en la conciencia ambiental fomentada con este proyecto.
- Establecer plazos de tiempo más amplios para la obtención de resultados pues el proyecto en su totalidad se fundamenta en procesos biológicos, y al ser poco predecibles y sobre los cuales no se puede ejercer un control integral, existió la posibilidad de concluir sobre materiales no maduros.
- Aplicar medidas de seguridad para la protección de las herramientas e instalaciones utilizadas en el proyecto para evitar los usos indebidos de parte de delincuentes, especialmente en áreas de problemática social alta.
- Ampliar la aplicación del procesamiento de la materia orgánica para poder contemplar la totalidad de recursos biomásicos desechados en la comunidad.
- Fomentar la aplicación de proyectos similares en otras comunidades e instituciones, aprovechando el efecto sinérgico de este núcleo modelo de la sociedad.
- Proponer soluciones ambientales para el manejo de desechos orgánicos a nivel institucional/ municipal al comprobarse la aplicabilidad de la técnica para el tratamiento de esta fracción de los residuos domésticos urbanos.

LITERATURA CONSULTADA

- Alcaraz R., RE. 2001. El emprendedor del éxito. Guía de planes de negocios. 2º ed. México D.F., MX, McGraw- Hill Interamericana. 316 p.
- Blobaum, R; Fast, S; Holcomb, L y Swanson, L. 1979. An assessment of the potential for applying urban wastes to agricultural lands. Iowa, US, Roger Blobaum & Associates. 181 p.
- BM (Banco Mundial, US). 2002. Informe sobre el Desarrollo Mundial, 2003. Desarrollo sostenible en un mundo dinámico. Transformación de las instituciones, crecimiento y calidad de vida. Nueva York, US, Oxford University Press. 30 p.
- Bollo, E. 1987. La lombricultura. Un negocio rentable con potencial ilimitado. Desde el surco. 58. dic. 86- ene. 87: 13- 17 p.
- BUN (Biomass Users Network, CR). 1993. Manual de procedimientos para la elaboración de compost. . Guadalupe, CR, Oficina Regional para Centroamérica y el Caribe. 16 p.
- Choate, PM y Dunn, RA. 2002. Featured Creatures. Land Planarians (en línea). University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences. Florida, US. Consultado el 10 nov. 2003. Disponible en http://creatures.ifas.ufl.edu/misc/land_planarians.htm

CIWMB (California International Waste Management Board, US). 2003 *a*. Chapter II: An Overview of Compostable Material Processing (en línea). California, US, Consultado el 3 set. 2003. Disponible en <http://www.ciwmb.ca.gov/LeaCentral/Organics/BMPGuide/Chapter2/default.htm>

CIWMB (California International Waste Management Board, US). 2003 *b*. Chapter III: Natural Processes at Work in Composting (en línea). California, US, Consultado el 3 set. 2003. Disponible en <http://www.ciwmb.ca.gov/LeaCentral/Organics/BMPGuide/Chapter3/default.htm#Chemical>

CNP+L (Centro Nacional de Producción Más Limpia, CR). 2002. Pagina Principal (en línea). San José, CR. Consultado 1 nov. 2003. Disponible en <http://www.cnpml.or.cr/index2.html>

Congreso Nacional de Desarrollo Sostenible. Perspectivas hacia el Siglo XXI (2, 2000, San José, CR). 2001. Cambio o Ruina: Progreso y justicia social en armonía con la naturaleza hacia el siglo XXI. Memoria. Ed. F. Donato Calderón. San José, CR, Editorama. 348 p

Cordero M., LF. 1997. A la caza de la mosca doméstica en granjas. Revista Crisol no.3: 31- 34.

Costa Leite, LE. 1997. Modelos de Privatización del Manejo de Residuos Sólidos en América Latina. Washington, D.C., US, OPS (Organización Panamericana de

- la Salud, US)/ OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 29 p. (Serie Ambiental n° 17)
- Coyne, M. 2000. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Trad. M Rasskin. Madrid, ES, Paraninfo. 416 p.
- Curso Lombricultura. 2003. La lombricultura y sus aplicaciones (correo electrónico). Buenos Aires, AR, www.manualdelombricultura.com. Consultado el 4 jul. 2003. Disponible en curso@sapuca.com.
- De Sanzo, CA y Ravera, AR. 2000. Como criar lombrices rojas californianas (en línea). Buenos Aires, AR, Programa de Autosuficiencia Regional. Consultado 7 ago. 2003. Disponible en <http://www.lombricesrojas.com.ar>. Fuente original.
- Deffis Caso, A. 1994. La basura es la solución. 4° reimp. Bogota, CO, Árbol. 277 p.
- Diaz, LF, Golueke, CG, Savage, GM y Eggerth, LL. 1993. Composting and Recycling Municipal Solid Waste. Boca Raton, US, Lewis. 296 p.
- Due North Resources. 2003. Composting Fundamentals. Ontario, CA. Consultado 24 set. 2003. Disponible en <http://www.cyber-north.com/gardening/compost.html>
- Esquivel Alfaro, SP. 2001. La Cultura de la Basura: un estudio de caso San Ramón *Non Nato*. Tesis Mag. Sc. Antropología. San Pedro, CR, SEP UCR. 252 p.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, IT).
1981. El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina. Informe de la reunión- taller latinoamericana de reciclaje de materias orgánicas en la agricultura (1980, San José, CR). Roma, IT, (Boletín de Suelos de la FAO nº 51).
- Farías C., DM; Ballesteros G., MI y Bendeck, M. 1999. Variación de parámetros fisicoquímicos durante un proceso de compostaje (en línea). Revista Colombiana de Química. 28 (1). Consultado el 10 set. 1999. Disponible en <http://www.icfes.gov.co/revistas/recolqui/992801/08quimi.htm>.
- Flores- Vindas, E. 1999. La Planta. Estructura y Función. Cartago, CR, LUR.
- Fournier S., ME. 2002. Manejo integrado de desechos sólidos y líquidos post consumo. San José, CR, EUNED. 64 p. (Colección Ideario XXI nº. 8)
- Gardner, G. 1997. Recycling Organic Waste: From Urban Pollutant to Farm Resource. Worldwatch Paper # 135 (en línea). Washington D.C., US, Worldwatch Institute. Consultado 15 oct. 2003. Disponible en <http://www.worldwatch.org/pubs/paper/135.html>. *Solo resumen.*
- Gobierno de Costa Rica y GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, DE). 1991, Plan Nacional de Manejo de Desechos de Costa Rica. Informe Final. San José, CR. 189 p.
- Gomero, L y von Hildebrand, A. 1988. Lombricultura, alternativa ecológica para el campo y la ciudad. Medio Ambiente. oct. 1988: 12-13.

- Hibbits, JB. 1977. La metodología de la compostación. Trad. C. Barrientos. *In* Primer Seminario Nacional sobre Tecnología Apropiable (1977, Quetzaltenango, GT). CEMAT. 4 p.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional, CR). 1991. Hoja 3345 I 14 María Aguilar. 1º ed. San José, CR. Esc. 1:10 000. Color.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR). 2003. Valle Central (en línea). San José, CR. Consultado 7 nov. 2003. Disponible en <http://www.imn.ac.cr/educa/clima/VCENTRAL.html>
- Lynch, JM. 1992. Substrate Availability in Production of Composts. *In* Science and Engineering of Composting. Hoitink, HA y Keener, HM (eds.). Ohio, US, OARDC. p 24-35.
- Madigan, MT, Martinko, JM y Parker, J. 1999. Brock. Biología de los Microorganismos. 8º ed rev. Trad. Mariano Gacto Fernández *et al.* Madrid, ES. Prentice Hall. 1064 p.
- Martínez C., C. 1999. Potencial de la lombricultura. Elementos básicos para su desarrollo. México, MX, Transformadora de Papel Texcoco. 140 p.
- McGovern, A. 1997. Home composting makes a major impact. *Biocycle*. 38 (12): 30- 35.
- Microsoft Corporation. 1996. Enciclopedia Microsoft Encarta 97 (enciclopedia digital). Washington, US. 1 disco compacto, 8 mm.

- Miller, GT Jr. 1988. Living in the Environment. An Introduction to Environmental Science. 5° ed. California, US, Wadsworth. 603 p.
- NRCS (National Resources Conservation Service, US). 2003. Composting (en línea). Washington D.C., US, USDA. Consultado 6 oct. 2003. Disponible en <http://www.nrcs.usda.gov/feature/backyard/Compost.html>
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, US). 2000. GEO América Latina y el Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente. Panorama General. México D.F., MX, ORPALC (Oficina Regional para América Latina y el Caribe, MX). 16 p.
- Restrepo Rivera, J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares: experiencias con agricultores en Mesoamérica y Brasil. San José, CR, IICA. 155 p. (Colección Libros y Materiales Educativos IICA n° 96)
- Rodríguez Roma, LH. 2003. Metodología para llevar a cabo un plan de separación y reciclaje de desechos sólidos domiciliarios a nivel comunal. Tesis Lic. Ing. Quím. San Pedro, CR, Fac. Ing. UCR. 205 p.
- Salazar C., R y Corrales, L. s.f. El mundo de los desechos sólidos. San José, CR, Fundación AMBIO. 9 p.
- Salazar Campos, FM. 2001. Manual de manejo de desechos. San José, CR, Representaciones Gráficas RyL del Norte. 21 p.

- Smith, JF. 1990. Composted substrates used in the cultivation of the white mushroom, *Agaricus bisporus*. Aspects of Applied Biology 24: 131-143.
- Solomon, EP., Berg, LR., Martin, DW y Villee, C. 1996. Biología de Villee. Trad. Roberto Palacios Martínez. 4° ed. México D.F., MX, McGraw- Hill Interamericana. 1305 p.
- Stewardship Gardening. 2003. Backyard composting (en línea). Washington State University Cooperative Extension. Washington, US. Consultado 1 nov. 2003. Disponible en <http://gardening.wsu.edu/stewardship/compost/yardcomp/yardcomp.htm>
- Subler, S; Edwards, C y Metzger, J. 1998. Comparing vermicompost and compost. Biocycle. 39 (7): 64-68.
- Tocalino, PA; Roux, JP y Agüero, CM. 2001. Comportamiento reproductivo de *Eisenia foetida* (Lombriz roja de California) durante las cuatro estaciones del año y alimentadas con distintos compostajes (en línea). Corrientes, AR. Universidad Nacional de Nordeste. Consultado el 15 set. 2003. Formato PDF. Disponible en <http://www.unne.edu.ar/cyt/2001/4-Veterinarias/V-040.pdf>
- Willson, GB; Parr, JF y Sikora, LJ. 1983. Experiencias con composte en países en vías de desarrollo. In FAO (Organización de las Naciones Unidas por la Agricultura y Alimentación, IT). El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina. Informe de la reunión- taller latinoamericana

de reciclaje de materias orgánicas en la agricultura (1980, San José, CR).
Roma, IT, (Boletín de Suelos de la FAO nº 51). p 60- 68.

Wilson, CR y Feucht, JR. 2003. Composting yard waste. Colorado State University
Cooperative extension. Colorado, US. Consultado el 15 oct. 2003.
Disponible en <http://www.ext.colostate.edu/pubs/garden/07212.html>

Worldwatch. 1997. Recycling Organic Waste: A Win-Win Proposition.
Worldwatch Press Release on Organic Wastes (en línea). Washington D.C.,
US. Worldwatch Institute. Consultado el 15 oct. 2003. Disponible en
<http://www.worldwatch.org/press/news/1997/08/02/>

Zepeda, F. 1995. El manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el
Caribe. Washington D.C., US., OPS (Organización Panamericana de la
Salud, US). OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 68 p. (Serie
Ambiental No. 15).

ANEXOS

Anexo 1 Cronograma de Actividades

Tabla 1. Distribución de las actividades del proyecto a lo largo del segundo semestre del año 2003

Actividad	Semana	Fecha inicial	Fecha final
Elaboración Anteproyecto	0	01/06/03	14/06/03
Comunicación a comunidad	0	15/06/03	
Construcción de instalaciones	0-3	21/06/03	08/07/03
Recolección de desechos	1-15	24/06/03	03/10/03
Compostaje	3-17	08/07/03	07/11/03
Lombricultivo	6-26	02/08/03	29/11/03
Obtención de resultados	23-26	07/11/03	29/11/03
Análisis de resultados	24-28	17/11/03	12/12/03
Elaboración de informe final	28	01/06/03	12/12/03

Anexo 2 Carta a la Comunidad

San José, 15 de junio del 2003

Señores
Comunidad Modelo
Calle Los Chayotes
San Sebastián, San José.

Estimado Señores:

Les permito informarles que durante el próximo semestre estaré realizando mi trabajo final de graduación para obtener el título de bachiller en Ingeniería en Biotecnología. Este trabajo consistirá en la ejecución de un proyecto titulado “La lombricultura como modelo alternativo para el manejo de desechos sólidos orgánicos de una comunidad urbana.” El mismo consiste en brindar un tratamiento biológico a los desechos biodegradables para obtener como resultado abono de tipo orgánico.

Dada las condiciones de cercanía y la disponibilidad de un terreno he seleccionado la comunidad que ustedes representan para la ejecución del estudio. Por lo tanto les solicito de la forma más respetuosa el acogimiento de este emprendimiento. Esta actividad es importante pues pretende sentar precedentes sobre la actividad de la lombricultura aplicada a los desechos sólidos urbanos. En suma, se perfila como una opción ambientalmente amigable de disponer los desechos que ustedes originan, además de que generaría un beneficio al redistribuirse el abono producido.

Para la realización de esta actividad les solicito la clasificación y separación de los desechos orgánicos que ustedes producen. Para ello les estaré dotando de un basurero en el cual ustedes depositarán todo aquel desecho biodegradable. Estos son principalmente las cáscaras de frutas, verduras, huevos, peladuras, alimentos, boscorolas de café, y otros más producidos principalmente en la cocina. Además les insto a recolectar la basura producida en el jardín de sus casas provenientes de la corta del zacate y de las podas a otras plantas. Estos desechos serán recolectados por mi persona 3 veces por semana para evitar la contaminación de sus casas.

Se les recuerda también que cualquier duda o consulta sobre el proyecto en cuestión será considerada de suma importancia por el ejecutor. Asimismo, se le solicita comunicar cualquier tipo de sugerencia sobre las actividades a realizar.

Sin más por el momento, agradeciendo de antemano sus colaboraciones con el proyecto, se despide

Atentamente,

Federico Elizondo Coto
Estudiante Ingeniería en Biotecnología
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Anexo 3 Datos y Gráficos

Capítulo 1 Compostaje

Desechos domésticos

Tabla 2. Desechos domésticos colectados en la comunidad de la Calle Los Chayotes durante las 15 semanas de recolección.

Semana	Fecha	Sitio (g)						Total Día (g)	Total Semana (g)
		1	2	3	4	5	6		
1	24/06/2003	900	1 220	6 500	10 420	1 120	3 560	23 720	91 060
	26/06/2003	6 000	4 800	9 520	6 400	5 400	4 040	36 160	
	28/06/2003	5 920	3 280	4 880	6 140	5 600	5 360	31 180	
2	01/07/2003	2 400	1 560	8 960	5 460	2 680	6 460	27 520	80 560
	03/07/2003	1 860	3 240	5 880	7 220	4 640	3 680	26 520	
	05/07/2003	2 300	500	6 780	6 200	8 200	2 540	26 520	
3	08/07/2003	420	1 220	6 760	6 580	4 700	6 840	26 520	79 120
	10/07/2003	5 660		12 100	4 760	6 200	3 000	31 720	
	12/07/2003	1 680	3 640	5 600	3 720	2 280	3 960	20 880	
4	15/07/2003	1 200	1 500	7 280	6 920	3 920	2 240	23 060	70 340
	17/07/2003	4 500	1 600		4 420	3 600	4 360	18 480	
	19/07/2003	5 800	3 680	4 740	9 500	2 260	2 820	28 800	
5	22/07/2003	2 260	1 520	20 860	7 400	3 000	6 580	41 620	64 140
	24/07/2003	1 800	2 000	7 380	8 400	1 420	1 520	22 520	
	26/07/2003							0	
6	29/07/2003	1 340	1 660	14 820	4 860	4 000	6 340	33 020	84 820
	31/07/2003	2 300	1 200	14 400	6 280	2 900	5 000	32 080	
	02/08/2003	1 660	580	10 000	2 360	1 340	3 780	19 720	
7	05/08/2003	1 140	5 120	6 140	2 900	4 500	4 700	24 500	81 760
	07/08/2003	1 400	2 560	12 640	6 300	3 400	3 240	29 540	
	09/08/2003	4 860	3 600	11 920	2 760	2 080	2 500	27 720	
8	12/08/2003	1 900	3 700	4 080	5 180	1 860	4 520	21 240	89 310
	14/08/2003	5 760	2 380	13 700	5 140	2 350	5 680	35 010	
	16/08/2003	5 300	5 840	9 800	3 200	2 600	6 320	33 060	
9	19/08/2003	3 780	1 700	12 280	11 200	1 980	8 040	38 980	84 340
	21/08/2003	1 660	3 060	5 850	8 280	3 900	2 400	25 150	
	23/08/2003	900	1 900	5 850	8 280	1 180	2 100	20 210	
10	26/08/2003	1 180	2 340	1 620	8 500	1 400	4 600	19 640	62 910
	28/08/2003	1 320	2 640	7 500	5 900	2 440	4 100	23 900	
	30/08/2003	950	1 900	8 600	3 720	1 480	2 720	19 370	
11	02/09/2003	1 750	2 550	2 300	8 500	1 750	3 850	20 700	55 850
	04/09/2003	3 200	1 400	3 350	4 500	1 250	4 250	17 950	
	06/09/2003	2 100		2 250	9 800	1 450	1 600	17 200	
12	09/09/2003	2 300	2 200	2 250	6 550	5 500	1 250	20 050	70 200
	11/09/2003	2 500	7 500	4 000	9 100	1 800	2 250	27 150	
	13/09/2003	2 250		5 350	7 250	1 750	6 400	23 000	
13	16/09/2003	1 650	3 000	2 450	6 200	1 750	9 200	24 250	60 750
	18/09/2003	2 400	1 250	2 850	2 150	2 600	4 100	15 350	
	20/09/2003	1 700	1 150	6 000	3 800	2 250	6 250	21 150	
14	22/09/2003	1 650	1 000	2 500	1 800	2 000	4 500	13 450	65 850
	24/09/2003	2 750	4 000	9 250	6 250	2 250	2 000	26 500	
	27/09/2003	1 850	5 000	6 450	5 700	1 850	5 050	25 900	
15	29/09/2003	3 150	6 000	7 900	11 500	2 550	4 500	35 600	84 500
	01/10/2003	2 750	2 550	9 000	6 000	1 300	3 950	25 550	
	03/10/2003	3 000	2 250	8 250	4 600	1 750	3 500	23 350	

Fuente: Datos de campo.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Componentes del compost

Tabla 3. Materiales utilizados en cada una de las pilas de compost elaboradas a lo largo de del proyecto.

Compost	Componentes (kg)									Total Inicial (kg)		
	Basura	Aserrin	Burucha	Boñiga	Zacate	Hojas Secas	Hojas Bosque	Tierra Bosque	Compost		Merma	
1	91,06	11,40		23,30					29,86		155,62	
2	80,56	13,92		12,48		10,00			20,00		136,96	
3	79,12	15,86		9,56					15,20		119,74	
4	70,34	11,70		19,01	25,52				20,25		146,82	
5	64,14	12,00		18,91	10,10	4,18	13,50		15,00		137,83	
6	84,82				36,50	3,26	9,90		40,00	6,10	180,58	
7*	171,07	4,74		13,38	8,42	3,32	11,26				212,19	
8	84,34	11,50		7,70	33,70				37,60		174,84	
9	62,91	12,40			40,00	7,70			33,10		156,11	
10*	126,05	16,00		19,00	61,75	28,25			54,00	59,50	364,55	
11	60,75		8,75			15,00	15,00		23,50	13,25	136,25	
12	65,85		12,70		21,00					26,50	16,50	142,55
13	84,50		9,00		14,90	15,00			25,00	26,25		174,65

*: doble carga de desechos domésticos.

Fuente: Datos de campo.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 1

Tabla 4. Temperatura y pH para la pila de compost 1 ubicada dentro de las instalaciones bajo sol.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio	pH
		1	2	3	4	5		
1	08/07/2003	38	37	36	38	35	36,8	8,0
	10/07/2003	43	46	47	43	47	45,2	9,0
	12/07/2003	45	44	45	46	43	44,6	8,5
2	15/07/2003	47	45	46	46	45	45,8	8,5
	17/07/2003	45	43	42	40	41	42,2	8,5
	19/07/2003	41	41	43	43	42	42,0	8,5
3	22/07/2003	41	40	42	42	40	41,0	8,5
	24/07/2003	41	44	47	43	43	43,6	8,5
	26/07/2003	40	42	41	43	42	41,6	8,0
4	29/07/2003	40	37	41	42	40	40,0	8,0
	31/07/2003	37	36	37	37	37	36,8	8,0
	02/08/2003	35	36	36	35	33	35,0	8,0

Fuente: Datos de campo.

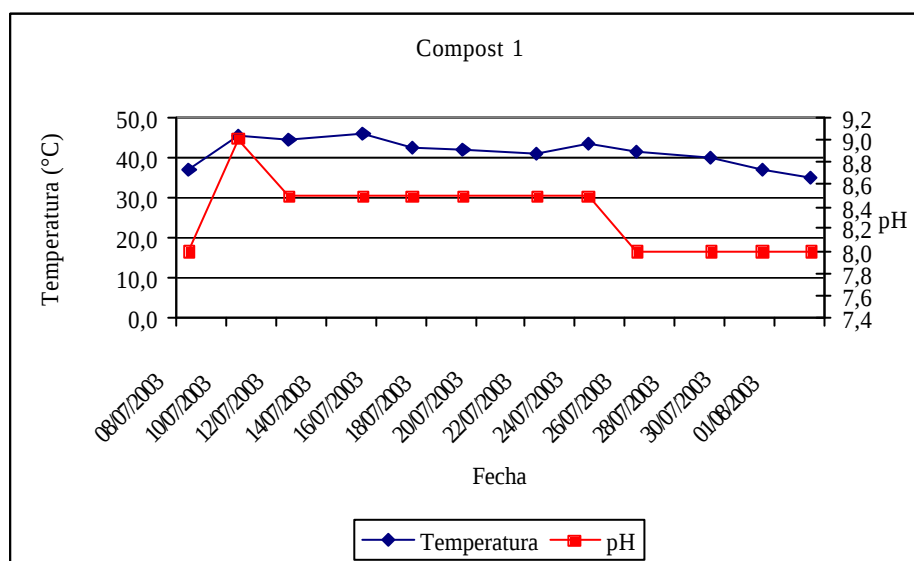


Figura 42. Comportamiento de la temperatura y el pH en el compost 1.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 2

Tabla 5. Temperatura y pH para la pila de compost 2 ubicada dentro de las instalaciones bajo sombra.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio	pH
		1	2	3	4	5		
1	08/07/2003	49	42	40	41	39	42,2	8,0
	10/07/2003	47	37	38	39	39	40,0	8,0
	12/07/2003	45	42	43	44	41	43,0	8,0
2	15/07/2003	42	43	41	43	41	42,0	7,5
	17/07/2003	36	34	37	35	34	35,2	8,0
	19/07/2003	44	44	46	48	48	46,0	7,5
3	22/07/2003	44	41	43	42	45	43,0	8,0
	24/07/2003	41	40	41	41	40	40,6	9,0
	26/07/2003	39	38	40	42	40	39,8	6,5
4	29/07/2003	36	35	35	35	34	35,0	6,0
	31/07/2003	35	34	35	33	35	34,4	7,0
	02/08/2003	30	29	31	30	30	30,0	8,0
5	05/08/2003	37	38	37	37	39	37,6	6,0
	07/08/2003	38	39	37	39	37	38,0	6,5
	09/08/2003	34	35	35	36	36	35,2	7,0
6	12/08/2003	38	37	37	38	39	37,8	6,5
	14/08/2003	37	36	36	37	35	36,2	6,0
	16/08/2003	37	36	36	35	35	35,8	6,0

Fuente: Datos de campo.

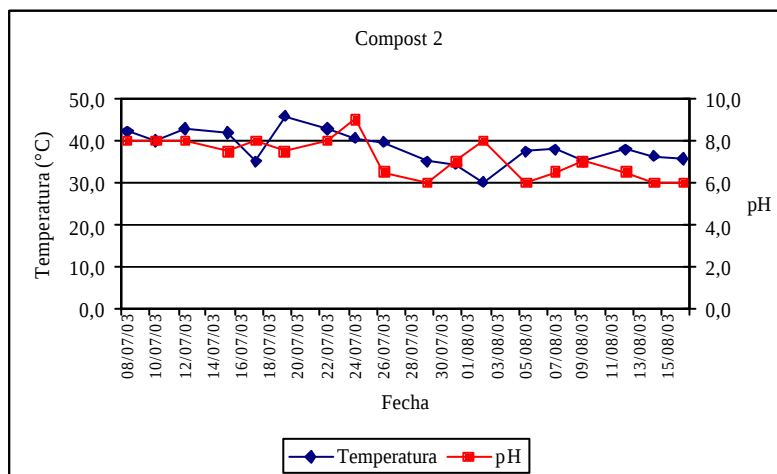


Figura 43. Comportamiento de la temperatura y el pH en el compost 2.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 3

Tabla 6. Temperatura y pH para la pila de compost 3 ubicada fuera de las instalaciones bajo sombra.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio	pH
		1	2	3	4	5		
1	15/07/2003	38	36	37	40	35	37,2	7,0
	17/07/2003	43	42	44	40	41	42,0	7,5
	19/07/2003	41	40	42	44	41	41,6	7,0
2	22/07/2003	44	41	43	42	45	43,0	8,0
	24/07/2003	45	45	47	42	40	43,8	8,0
	26/07/2003	45	42	44	43	44	43,6	7,5
3	29/07/2003	45	42	43	40	42	42,4	7,0
	31/07/2003	40	37	36	36	40	37,8	7,5
	02/08/2003	37	36	38	39	37	37,4	7,5
4	05/08/2003	41	40	40	42	39	40,4	7,5
	07/08/2003	41	40	40	38	39	39,6	7,0
	09/08/2003	34	35	35	36	36	35,2	7,0
5	12/08/2003	34	36	36	35	37	35,6	7,0
	14/08/2003	36	35	35	36	37	35,8	7,0
	16/08/2003	35	35	35	34	35	34,8	6,5
6	19/08/2003	33	31	31	30	31	31,2	6,5
	21/08/2003	30	30	30	30	30	30,0	6,5
	23/08/2003	28	29	29	28	29	28,6	6,5

Fuente: Datos de campo.

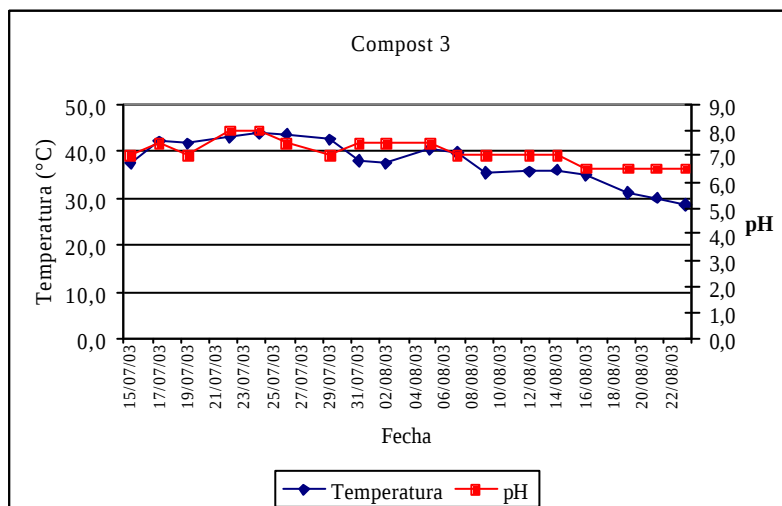


Figura 44. Comportamiento de la temperatura y el pH en el compost 3.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 4

Tabla 7. Temperatura y pH para la pila de compost 4 ubicada fuera de las instalaciones bajo sombra.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio	pH
		1	2	3	4	5		
1	22/07/2003	36	39	41	39	36	38,2	7,0
	24/07/2003	44	42	41	42	42	42,2	7,5
	26/07/2003	43	42	41	42	44	42,4	7,5
2	29/07/2003	40	40	40	40	41	40,2	8,0
	31/07/2003	41	40	37	38	39	39,0	8,0
	02/08/2003	40	41	40	41	38	40,0	6,5
3	05/08/2003	50	48	46	44	42	46,0	7,0
	07/08/2003	44	46	43	42	44	43,8	7,0
	09/08/2003	47	44	43	45	45	44,8	7,5
4	12/08/2003	43	42	44	45	41	43,0	7,0
	14/08/2003	43	42	43	38	40	41,2	6,5
	16/08/2003	44	43	45	45	45	44,4	7,0
5	19/08/2003	40	39	40	38	38	39,0	6,5
	21/08/2003	36	40	40	40	38	38,8	6,5
	23/08/2003	34	39	38	37	39	37,4	6,5
6	26/08/2003	38	36	37	38	36	37,0	6,5
	28/08/2003	38	39	36	37	38	37,6	6,5
	30/08/2003	35	35	34	32	34	34,0	6,5

Fuente: Datos de campo.

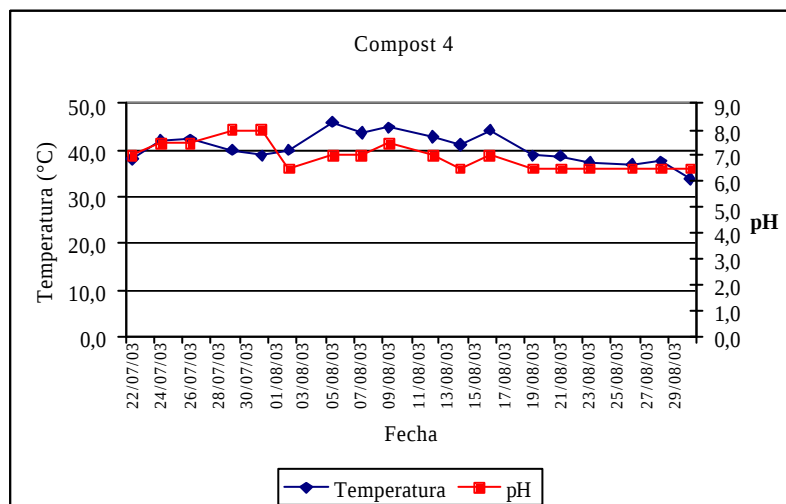


Figura 45. Comportamiento de la temperatura y el pH en el compost 4.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 5

Tabla 8. Temperatura y pH para la pila de compost 5 ubicada fuera de las instalaciones bajo sol y lluvia.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio	pH
		1	2	3	4	5		
1	29/07/2003	43	39	42	41	41	41,2	7,0
	31/07/2003	40	40	41	40	39	40,0	6,5
	02/08/2003	39	38	41	39	38	39,0	6,0
2	05/08/2003	38	39	41	40	39	39,4	6,0
	07/08/2003	41	42	37	38	40	39,6	6,0
	09/08/2003	38	37	36	38	39	37,6	6,0
3	12/08/2003	36	35	35	34	33	34,6	7,0
	14/08/2003	41	39	39	40	41	40,0	7,5
	16/08/2003	40	40	40	41	40	40,2	6,5
4	19/08/2003	37	34	37	35	35	35,6	6,0
	21/08/2003	28	26	29	28	28	27,8	5,5
	23/08/2003	32	32	31	32	31	31,6	7,0
5	26/08/2003	32	31	34	32	31	32,0	8,0
	28/08/2003	37	35	36	34	32	34,8	7,5
	30/08/2003	34	35	34	35	35	34,6	7,5
6	02/09/2003	33	32	32	31	33	32,2	7,0
	04/09/2003	30	31	32	33	30	31,2	6,5
	06/09/2003	32	31	29	29	31	30,4	6,5

Fuente: Datos de campo.

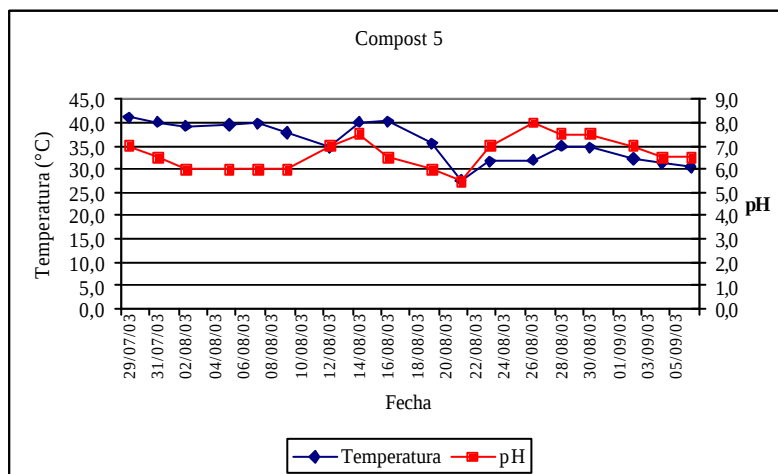


Figura 46. Comportamiento de la temperatura y el pH en el compost 5.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 6

Tabla 9. Temperatura y pH para la pila de compost 6 ubicada dentro de las instalaciones bajo sol.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio	pH
		1	2	3	4	5		
1	05/08/2003	44	45	44	42	43	43,6	5,0
	07/08/2003	46	46	45	43	45	45,0	6,0
	09/08/2003	43	40	45	44	43	43,0	6,0
2	12/08/2003	42	41	41	42	44	42,0	6,5
	14/08/2003	43	44	43	42	40	42,4	6,0
	16/08/2003	42	44	41	43	43	42,6	6,5
3	19/08/2003	44	49	44	42	48	45,4	7,0
	21/08/2003	44	44	42	42	42	42,8	7,0
	23/08/2003	38	39	42	41	42	40,4	7,5
4	26/08/2003	38	38	37	38	36	37,4	
	28/08/2003	44	43	43	38	45	42,6	
	30/08/2003	41	43	40	42	43	41,8	
5	02/09/2003	39	40	38	40	40	39,4	
	04/09/2003	36	34	37	34	33	34,8	
	06/09/2003	36	35	34	34	33	34,4	
6	09/09/2003	32	32	29	28	29	30,0	
	11/09/2003	34	30	32	31	29	31,2	
	13/09/2003	29	29	30	30	29	29,4	

Fuente: Datos de campo.

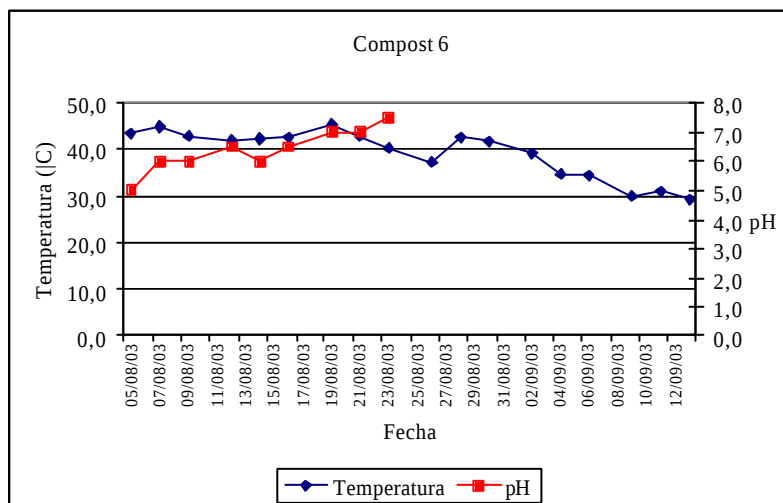


Figura 47. Comportamiento de la temperatura y el pH en el compost 6.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 7

Tabla 10. Temperatura para la pila de compost 7 con doble carga de desechos ubicada fuera de las instalaciones bajo sombra.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio
		1	2	3	4	5	
1	12/08/2003	49	48	47	46	48	47,6
	14/08/2003	53	55	56	55	54	54,6
	16/08/2003	52	54	53	52	52	52,6
2	19/08/2003	49	47	44	48	49	47,4
	21/08/2003	40	40	42	38	39	39,8
	23/08/2003	42	39	41	40	41	40,6
3	26/08/2003	42	44	44	43	43	43,2
	28/08/2003	42	42	43	44	43	42,8
	30/08/2003	39	37	36	34	38	36,8
4	02/09/2003	38	45	47	44	47	44,2
	04/09/2003	30	32	31	31	30	30,8
	06/09/2003	26	28	26	28	27	27,0
5	09/09/2003	30	29	29	30	30	29,6
	11/09/2003	32	31	32	31	33	31,8
	13/09/2003	30	28	29	28	28	28,6
6	16/09/2003	24	26	25	26	27	25,6
	18/09/2003	26	26	27	26	25	26,0
	20/09/2003	27	27	27	27	27	27,0

Fuente: Datos de campo.

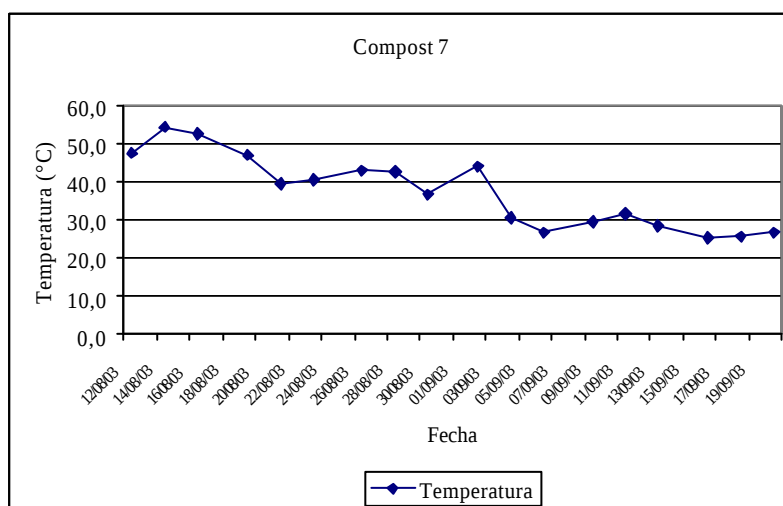


Figura 48. Comportamiento de la temperatura en el compost 7.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 8

Tabla 11. Temperatura para la pila de compost 8 ubicada fuera de las instalaciones bajo sombra.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio
		1	2	3	4	5	
1	19/08/2003	46	44	44	44	42	44,0
	21/08/2003	40	40	42	39	39	40,0
	23/08/2003	39	38	38	38	40	38,6
2	26/08/2003	50	46	49	47	48	48,0
	28/08/2003	52	49	48	50	49	49,6
	30/08/2003	44	44	43	42	45	43,6
3	02/09/2003	38	40	38	37	36	37,8
	04/09/2003	42	43	41	44	40	42,0
	06/09/2003	40	40	40	40	41	40,2
4	09/09/2003	41	42	43	41	42	41,8
	11/09/2003	42	42	43	42	39	41,6
	13/09/2003	37	39	40	38	37	38,2
5	16/09/2003	30	34	32	32	30	31,6
	18/09/2003	33	33	32	34	31	32,6
	20/09/2003	34	31	30	31	32	31,6
6	22/09/2003	33	32	32	33	32	32,4
	24/09/2003	30	32	30	30	28	30,0
	26/09/2003	32	31	32	32	31	31,6

Fuente: Datos de campo

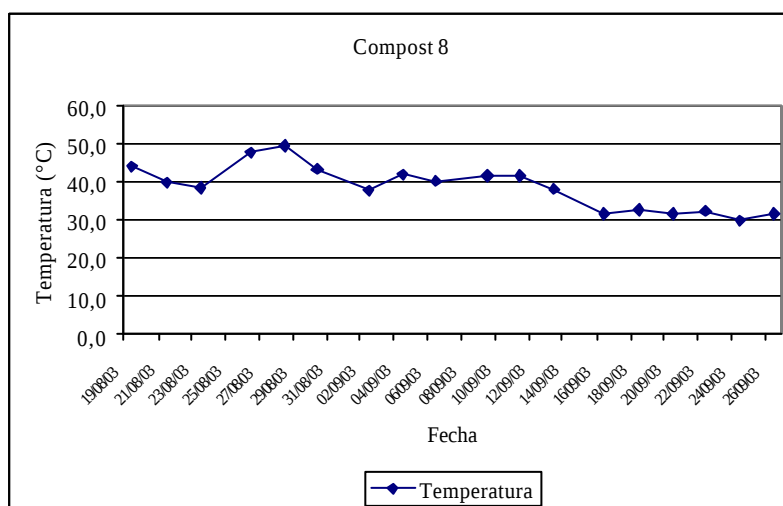


Figura 49. Comportamiento de la temperatura en el compost 8.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 9

Tabla 12. Temperatura para la pila de compost 9 ubicada fuera de las instalaciones bajo sombra.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio
		1	2	3	4	5	
1	26/08/2003	45	44	43	44	43	43,8
	28/08/2003	42	42	45	46	44	43,8
	30/08/2003	44	45	43	44	45	44,2
2	02/09/2003	44	44	46	47	45	45,2
	04/09/2003	42	44	45	46	43	44,0
	06/09/2003	42	41	43	43	42	42,2
3	09/09/2003	46	48	47	47	46	46,8
	11/09/2003	47	44	46	45	47	45,8
	13/09/2003	42	44	43	44	42	43,0
4	16/09/2003	39	39	40	40	39	39,4
	18/09/2003	38	39	40	37	38	38,4
	20/09/2003	42	44	43	39	40	41,6
5	22/09/2003	42	45	42	38	41	41,6
	24/09/2003	38	39	40	35	38	38,0
	26/09/2003	37	36	36	36	36	36,2
6	29/09/2003	34	35	35	36	36	35,2
	01/10/2003	35	36	35	34	35	35,0
	03/10/2003	34	35	35	36	35	35,0

Fuente: Datos de campo

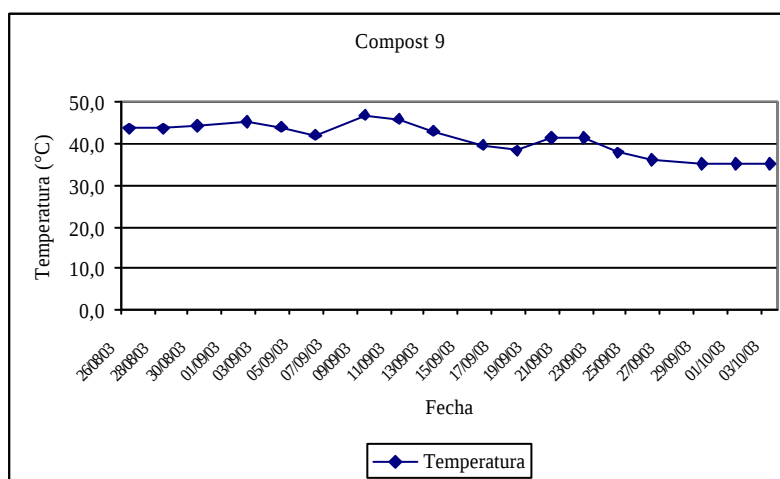


Figura 50. Comportamiento de la temperatura en el compost 9.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 10

Tabla 13. Temperatura para la pila de compost 10 con doble carga de desechos ubicada fuera de las instalaciones bajo sombra.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio
		1	2	3	4	5	
1	09/09/2003	43	44	42	43	45	43,4
	11/09/2003	44	45	43	45	46	44,6
	13/09/2003	41	42	42	44	43	42,4
2	16/09/2003	39	39	41	41	42	40,4
	18/09/2003	46	47	46	45	45	45,8
	20/09/2003	47	49	47	50	45	47,6
3	22/09/2003	45	47	48	46	48	46,8
	24/09/2003	44	38	46	45	45	43,6
	26/09/2003	37	36	36	36	36	36,2
4	29/09/2003	42	44	44	45	45	44,0
	01/10/2003	39	40	42	45	44	42,0
	03/10/2003	39	44	42	45	42	42,4
5	06/10/2003	44	39	42	41	40	41,2
	08/10/2003	35	37	34	40	37	36,6
	10/10/2003	38	39	39	39	39	38,8
6	13/10/2003	39	42	42	40	41	40,8
	15/10/2003	39	38	40	42	40	39,8
	17/10/2003	40	40	40	38	40	39,6

Fuente: Datos de campo.

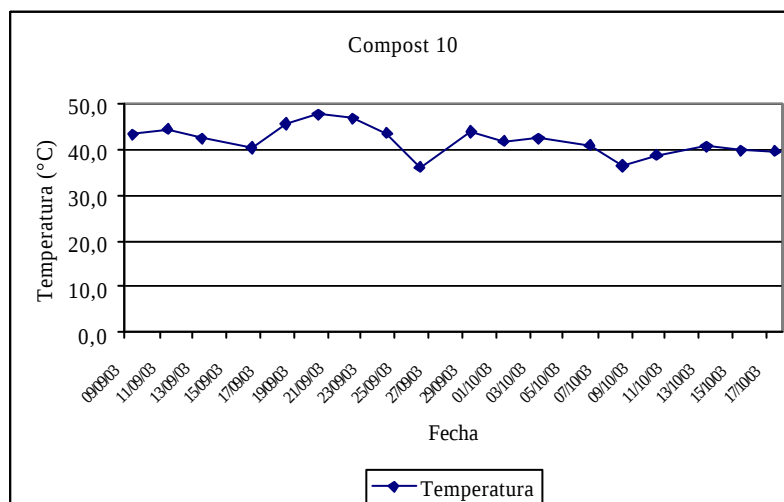


Figura 51. Comportamiento de la temperatura en el compost 10.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 11

Tabla 14. Temperatura para la pila de compost 11 ubicada fuera de las instalaciones bajo sol.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio
		1	2	3	4	5	
1	16/09/2003	42	46	45	46	47	45,2
	18/09/2003	46	44	46	42	45	44,6
	20/09/2003	47	47	47	45	45	46,2
2	22/09/2003	50	48	49	47	42	47,2
	24/09/2003	44	38	46	45	45	43,6
	26/09/2003	46	47	45	44	46	45,6
3	29/09/2003	48	49	49	48	46	48,0
	01/10/2003	47	47	46	44	46	46,0
	03/10/2003	39	44	42	45	42	42,4
4	06/10/2003	41	40	39	44	42	41,2
	08/10/2003	38	39	39	39	38	38,6
	10/10/2003	37	37	35	36	35	36,0
5	13/10/2003	37	38	36	37	37	37,0
	15/10/2003	35	37	35	32	34	34,6
	17/10/2003	37	36	35	35	35	35,6
6	20/10/2003	35	34	34	33	33	33,8
	22/10/2003	34	33	34	32	34	33,4
	24/10/2003	32	31	32	33	32	32,0

Fuente: Datos de campo

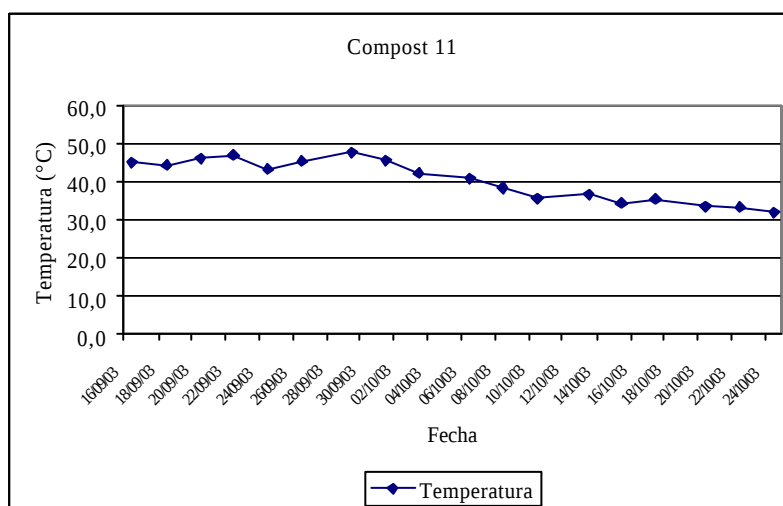


Figura 52. Comportamiento de la temperatura en el compost 11.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 12

Tabla 15. Temperatura para la pila de compost 12 ubicada fuera de las instalaciones bajo sol.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio
		1	2	3	4	5	
1	22/09/2003	45	40	47	47	49	45,6
	24/09/2003	45	46	42	46	44	44,6
	26/09/2003	45	45	45	42	45	44,4
2	29/09/2003	44	45	43	45	45	44,4
	01/10/2003	45	45	44	45	43	44,4
	03/10/2003	49	48	50	47	48	48,4
3	06/10/2003	47	46	46	47	48	46,8
	08/10/2003	46	44	45	48	45	45,6
	10/10/2003	45	44	46	42	44	44,2
4	13/10/2003	45	45	46	45	47	45,6
	15/10/2003	44	47	42	44	40	43,4
	17/10/2003	43	40	40	40	47	42,0
5	20/10/2003	38	39	40	36	36	37,8
	22/10/2003	35	34	33	34	33	33,8
	24/10/2003	34	33	33	33	34	33,4
6	27/10/2003	34	34	34	36	32	34,0
	29/10/2003	34	34	34	34	33	33,8
	31/10/2003	34	35	35	33	35	34,4

Fuente: Datos de campo.

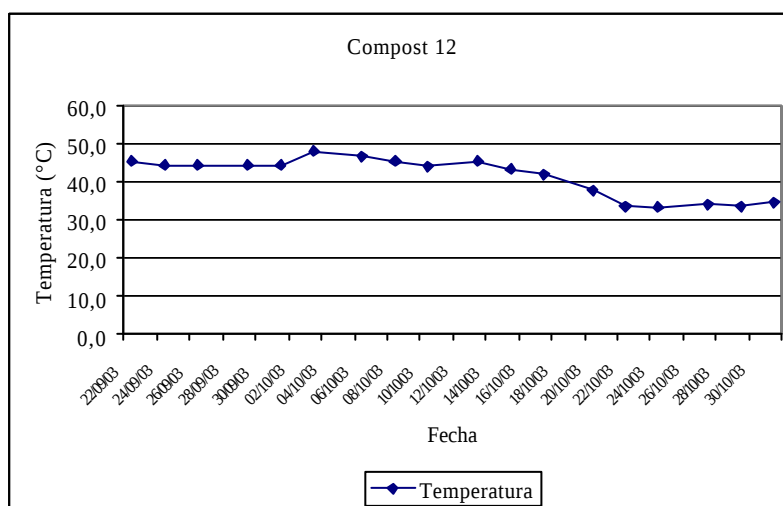


Figura 53. Comportamiento de la temperatura en el compost 12.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Compost 13

Tabla 16. Temperatura para la pila de compost 13 ubicada fuera de las instalaciones bajo sol.

Semana	Fecha	Temperatura (°C)					Promedio
		1	2	3	4	5	
1	29/09/2003	46	44	43	46	46	45,0
	01/10/2003	47	45	49	47	49	47,4
	03/10/2003	48	47	48	47	47	47,4
2	06/10/2003	46	45	47	44	45	45,4
	08/10/2003	41	42	44	44	43	42,8
	10/10/2003	46	48	50	49	47	48,0
3	13/10/2003	45	45	47	46	45	45,6
	15/10/2003	40	40	40	41	42	40,6
	17/10/2003	45	43	42	44	44	43,6
4	20/10/2003	37	38	40	39	37	38,2
	22/10/2003	35	37	36	36	35	35,8
	24/10/2003	32	33	34	33	34	33,2
5	27/10/2003	31	31	31	31	31	31,0
	29/10/2003	35	35	35	35	34	34,8
	31/10/2003	32	33	33	34	31	32,6
6	03/11/2003	31	31	30	29	31	30,4
	05/11/2003	29	29	31	29	29	29,4
	07/11/2003	30	29	31	29	28	29,4

Fuente: Datos de campo.

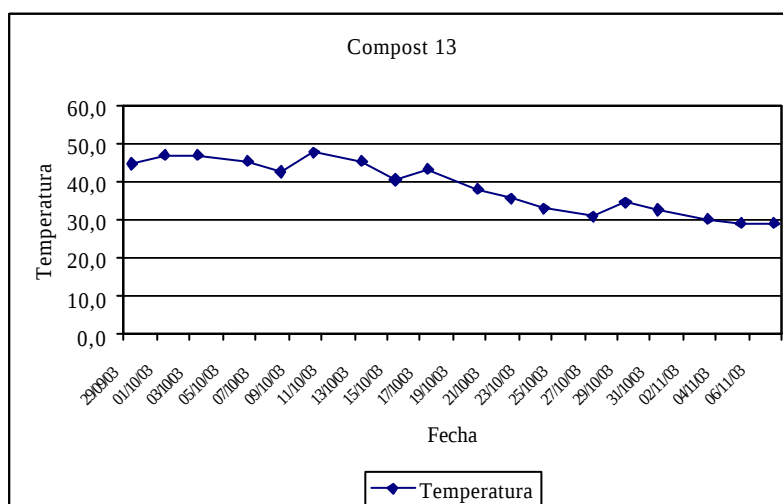


Figura 54. Comportamiento de la temperatura en el compost 13.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Capítulo II Lombricultura

Construcción de las instalaciones

Tabla 17. Cantidad de madera necesaria para la construcción de las instalaciones.

Piezas	Dimensiones (pulgadas)	Largo (varas)
6	3 X 3	4
5	3 X 1	5
4	3 X 1	4
36	2 X 1	4
3	2 X 1	5
4	12 X 1	4
4	12 X 1	3
30 *	½ X 1	4

*: Únicamente estas piezas de madera deben ser de tipo suave, el resto de las piezas de madera deben ser de tipo semiduro.

Nota: Las unidades no corresponden al Sistema Internacional pues estas no son las utilizadas en el ámbito constructivo en madera.

Evolución de la población

Tabla 18. Conteo de lombrices en una muestra de 0,01 m² provenientes de la cama de lombricultivo.

Fecha	Muestra (0,01 m ²)				
	Adultas	Jovenes	Cocones	Otras	Planaria
02/08/2003	92				
23/08/2003	83	42	163	5	1
06/09/2003	112	126	209	6	2
20/09/2003	66	162	40	4	3
11/10/2003	77	188	56	3	2
25/10/2003	122	296	66	3	3
08/11/2003	95	257	62	2*	6

*: Caracoles

Fuente: Datos de campo.

Anexo 3 Datos y Gráficos

Tabla 19. Dimensiones del lombricultivo.

Fecha	Dimensiones Lombricultivo			
	Ancho (m)	Largo (m)	Area (m ²)	# Camas
02/08/2003	1,25	1,25	1,5625	1
23/08/2003	1,10	2,60	2,86	1
06/09/2003	1,10	2,60	2,86	1
20/09/2003	1,10	2,60	2,86	2
11/10/2003	1,10	2,60	2,86	2
25/10/2003	1,10	2,60	2,86	2
08/11/2003	1,10	2,60	2,86	2

Fuente: Datos de campo.

Anexo 4 Informe de Resultados

FUNDACION TECNOLOGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
(Fundación del Instituto Tecnológico de Costa Rica)

LABORATORIO DE SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)
☎ (506) 591-5149 ó 550-2368, Fax: (506) 591-5147, Apartado 159-7050
Email: ceqiatec@itcr.ac.cr

INFORME DE RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

TIPO DE MUESTRA: ABONO ORGANICO	FECHA DE RECIBO: 07-11-03
ESTADO DE LA MUESTRA: SOLIDA	FECHA INICIO ANALISIS: 08-11-03
PROCEDENCIA: FEDERICO ELIZONDO	FECHA DE INFORME: 17-11-03
	Nº DE INFORME: 151103

OBJETIVO DEL ANÁLISIS: ☒ CONTROL ☐ EVALUACIÓN

ANALISIS	RESULTADOS			
	01	s	02	s
Humedad (% masa/masa)	46	2	40	2
pH (unidades de pH) (± 0.01)	7.58		7.18	
Materia Orgánica (% masa/masa)	14.0	0.4	10.1	0.3
Nitrógeno (% masa/masa)	0.24	0.03	0.088	0.005
Fósforo (mg/100g)	211	12	195	8
Calcio (mg/100g)	885	22	845	25
Magnesio mg/100g)	177	5	173	5
Zinc (mg/100g)	16.3	0.5	16.9	0.3
Potasio (mg/100g)	367	10	360	7

-----Ultima línea-----

Los análisis: se realizaron de acuerdo con los métodos descritos en " Análisis Químico de Suelos". Jackson L. Tercera Edición. 1976, página 77, 300 y por el método de la EPA 3050B.

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el Cliente.

OBSERVACIONES:

Muestra 01: Lombri compost
Muestra 02: Compost.
ND: No detectable
s: Desviación estándar
Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el momento arriba indicado.

SOLICITADO POR: SR FEDERICO ELIZONDO

REALIZADO POR: B.Q. ROGELIO MATA SOLANO
REGENTE QUIMICO

Prohibida su reproducción
Página 1 de 1
de informe: 151103




13

¹³ El expuesto es una copia reducida del original del informe de resultados del análisis químico realizado en los Laboratorios de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC) del Instituto Tecnológico de Costa Rica

APÉNDICES

Tablas

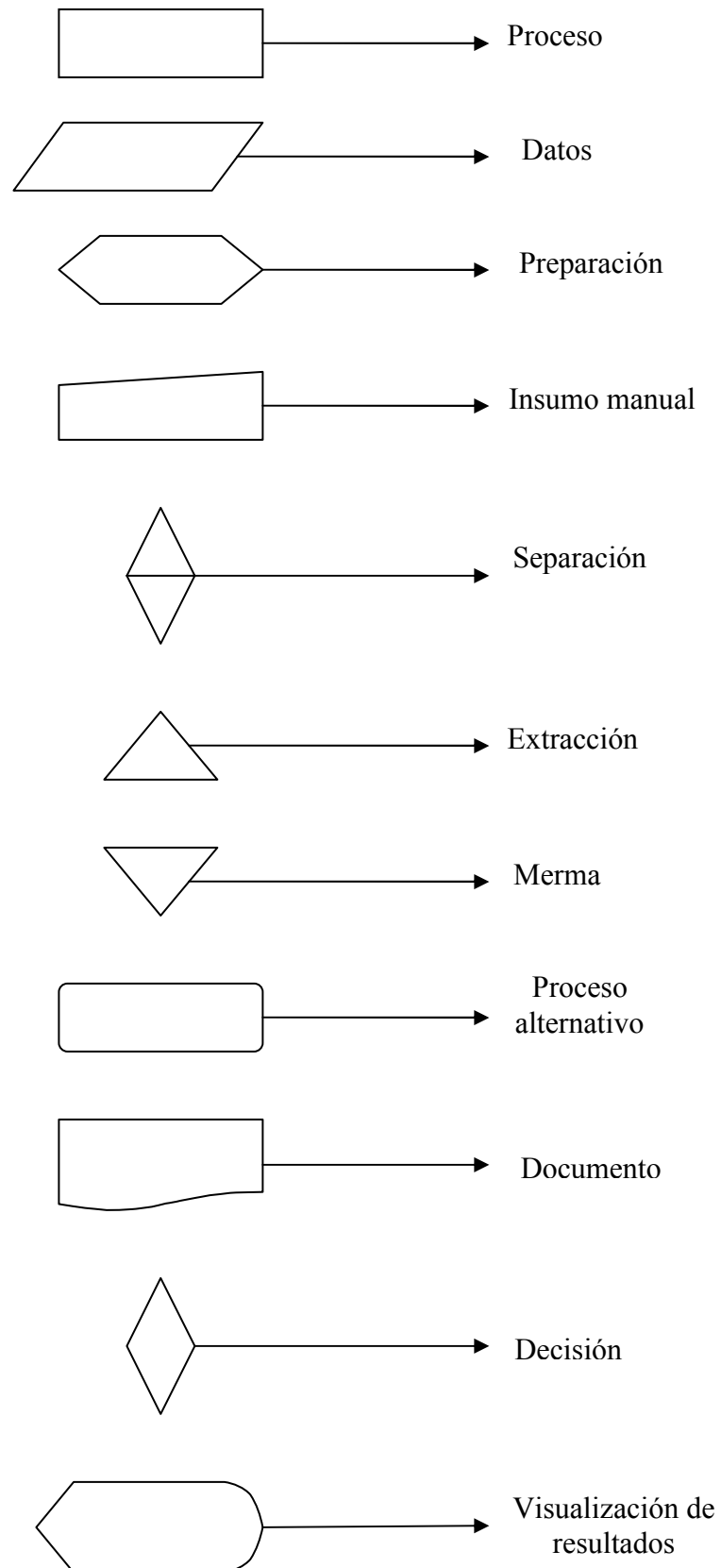
Tabla 20. Contenidos aproximados de nitrógeno y relación C:N de varios materiales de desecho.

Material	N Total (% peso seco)	Relación C:N
Desechos animales		
Orina	15-18	0,8
Sangre	10-14	3
Escamas de pescado	6,5-10	5,1
Desechos de matadero	7-10	2
Gallinaza	6,3	---
Cabraza	3,8	---
Cerdaza	3,8	---
Caballaza	2,3	25
Boñiga	1,7	18
Estiércoles de granjas (promedio)	2,15	14
Desechos vegetales		
Heno (restos de podas de zacate joven)	4,0	12
Podas de zacate (promedio)	2,4	19
Verdolaga	4,5	8
Amaranto	3,6	11
Puerros	2,6	19
Alfalfa	2,4-3,0	16-20
Algas	1,9	19
Paja cortada	1,1	48
Desechos de lino	1,0	58
Paja de trigo	0,3	128
Aserrín descompuesto	0,25	208
Aserrín	0,1	511
Desechos domésticos		
Desechos frescos	2,2	25
Pan	2,1	---
Restos de papas	1,5	25
Basura municipal	0,8-2,0	25-60

Fuente: Díaz *et al.* 1993.

Nota: Este tipo de relaciones se deben de tomar solamente de referencia y se pueden encontrar en diversos textos sobre compostaje.

Simbología de diagramas de flujo



Simbología de diagramas de flujo