



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

"EVALUACIÓN DE LA MADURACIÓN Y CALIDAD
DE LOMBRICOMPOSTAS DE DIFERENTES
SUSTRATOS DE ORIGEN ANIMAL"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I Ó L O G O
P R E S E N T A
IZAGUIRRE GALICIA ESTEBAN GUSTAVO

DIRECTORA DE TESIS:
M. EN C. MA. DEL ROCÍO ROMERO LIMA

LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MEXICO 2003





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Tras dos años de trabajo donde se aprendió de todo, le estoy profundamente agradecido a la M. en C. Ma. del Rocío Romero, por haberme dado un espacio en su atribulada agenda. Así mismo agradezco a la Universidad Autónoma Chapingo, por las facilidades ofrecidas para la realización del trabajo de campo, y principalmente por la “donación” de las lombrices de tierra, porque ¿qué hubiéramos hecho sin ellas?

Igualmente agradezco a la paciencia desinteresada de los profesores de la FES Iztacala para revisar tanta información:

M. en C. Daniel Muñoz Iniestra.
M. en C. Francisco López Galindo.
Biol. Marcial García Pineda.
Biol. Antonio Meyran Camacho.

Su acto enriquecieron este trabajo.

Otro agradecimiento muy grande, ya que nos “saco” de un atolladero, al M. en C. Juan Burgueño Ferreira, del CIMMYT. Muchas gracias por su ayuda en los modelos linealizados.

Por último, a la Universidad Nacional Autónoma de México. Mucho tiene que ver con esto.

DEDICATORIA

Muchas han sido las personas, de que una manera u otra han influido en mi vida. Para ellas va dedicado este trabajo.....

A mi familia.....por su apoyo durante un larguísimo trecho.

Al Centro de Educación Ambiental y Acción Ecológica (CEDUAM).....por muchas de las oportunidades que me ofrecieron para conocer el campo, a los campesinos (gente muy valiosa orgullosa de su país) y principalmente que la agricultura no solo es agroquímicos. Gracias Ofe, Domingo, Adriana, Lucy, Reina, Jorge y el “panzón”.

Al Biol. José Antonio Martínez Pérez.....muchos km. quedan por correr.

Al Dr. Aurelio Ramírez Bautista.....por ser valiente ante la adversidad.

A todos mis amigos y compañeros de mi vida.

Guillermo (por su valiosa compañía y enseñanza humana)
Gabriel (por su humildad y sencillez, aunque a veces se azota).
Juan Fok (por su amistad despreocupada).
Juan Ner (por enseñarme que es un ser abstracto).
Francisco (por aquellos libros en barata).
Eduardo (por su compañía atlética).
Israel (por su apoyo en la biología de campo).
Miguel (por su aparición).
Leticia (por su ayuda académica).
Ligia (por sus enseñanzas de Tolkien).

Y a Rosa (por su amor)

INDICE GENERAL

1. RESUMEN -----	1
2. INTRODUCCIÓN -----	2
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS -----	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA -----	5
4.1 Agroecología, fertilidad y manejo del suelo -----	5
4.2 Importancia de la materia orgánica en los agroecosistemas-----	8
4.3 Importancia de la biodiversidad edáfica-----	10
4.4 Biología de la lombriz de tierra -----	15
4.5 Abonos orgánicos, compostas y fertilización-----	24
4.6 Lombricomposta-----	31
4.7 Beneficios de la utilización de las lombrices de tierra en los agroecosistemas-----	39
5. MATERIALES Y MÉTODOS -----	47
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	53
6.1 Precompostaje -----	53
6.2 Lombricompostaje-----	58
6.3 Efecto de los sustratos sobre la dinámica poblacional de <i>Eisenia fetida</i> Sav -----	66
6.4 Maduración de la lombricomposta-----	76
7. CONCLUSIONES -----	85
8. LITERATURA CITADA-----	86
9. ANEXO -----	98

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Criterios habitualmente utilizados en la caracterización de la fertilidad de los suelos agrícolas. -----	8
Cuadro 2. Efectos más destacados de la materia orgánica en los suelos de cultivo.-----	10
Cuadro 3. Influencia de la biota del suelo sobre los procesos edáficos en los ecosistemas.-----	11
Cuadro 4. Efecto de la aplicación anual de 10 toneladas de gallinaza durante 10 años sobre la población microbiana del suelo.-----	14
Cuadro 5. Elementos aportados por el estiércol de granja.-----	26
Cuadro 6. Composición de distintos abonos orgánicos.-----	27
Cuadro 7. Materiales útiles para el composteo.-----	27
Cuadro 8. Condiciones recomendables para agilizar el proceso de composteo.-----	29
Cuadro 9. Principales nutrientes de las plantas en lombricompostas de diferentes sustratos.-----	32
Cuadro 10. Condiciones óptimas para la cría de <i>Eisenia fetida</i> en desperdicios vegetales y animales.-----	34
Cuadro 11. Poblaciones de lombrices de tierra afectadas por el tipo de cultivo y laboreo.-----	44
Cuadro 12. Datos climatológicos de la granja experimental de la UACH, de mayo a octubre de 2001.-----	47
Cuadro 13. Valores promedio del análisis químico de las precompostas (Prueba de medias).-----	54
Cuadro 14. Resultados estadísticos del análisis de varianza de los sustratos precomposteados.-----	55
Cuadro 15. Resultados estadísticos del análisis físico-químico y biológico de los sustratos lombricomposteados.-----	59
Cuadro 16. Comparación de medias de las variables a través de la prueba de Tukey.-----	61
Cuadro 17. Comparación de los promedios de lombrices adultas, pre-cliteladas y capullos muestreados en los diferentes sustratos utilizados.-----	67
Cuadro 18. Comparación de los modelos para la población de individuos adultos muestreados entre los tratamientos.-----	72

Cuadro 19. Comparación de los modelos para la población de individuos pre-clitelados muestreados entre los tratamientos. -----	73
Cuadro 20. Comparación de los modelos para la producción de capullos entre los diferentes tratamientos. -----	74
Cuadro 21. Comparación de los modelos para suma de juveniles más capullos entre los diferentes tratamientos. -----	75
Cuadro 22. Comparación de los modelos para el total de juveniles + adultas + capullos entre los diferentes tratamientos. -----	75
Cuadro 23. Resultados estadísticos de las variables analizadas del proceso de germinación de semillas de rábano <i>Raphanus sativus</i> L.-----	77
Cuadro 24. Comparación de medias para las variables de germinación de semillas de rábano.-----	77
Cuadro 25. Resultados estadísticos de las variables analizadas del proceso de germinación de semillas de trigo <i>Triticum sativum</i> .-----	79
Cuadro 26. Comparación de medias para las variables de germinación de semillas de trigo. -----	79
Cuadro 27. Resultados del análisis químico de los sustratos precomposteados. -----	98
Cuadro 28. Resultados del análisis físico y biológico de los sustratos lombricomposteados. -----	98
Cuadro 29. Resultados del análisis químico de los sustratos lombricomposteados. -----	98
Cuadro 30. Número de individuos adultos, juveniles y capullos de la lombriz <i>Eisenia fetida</i> por unidad de muestreo en el sustrato con estiércol de ganado bovino.-----	99
Cuadro 31. Comparación del número de individuos adultos, pre-clitelados y capullos muestreados en cada bloque experimental de sustrato bovino. -----	100
Cuadro 32 . Número de individuos adultos, juveniles y capullos de la lombriz <i>Eisenia fetida</i> por unidad de muestreo en el sustrato con estiércol de ganado ovino. -----	101
Cuadro 33. Comparación del numero de individuos adultos, pre-clitelados y capullos muestreados en cada bloque experimental del sustrato ovino. -----	101
Cuadro 34. Número de individuos adultos, juveniles y capullos de la lombriz <i>Eisenia fetida</i> por unidad de muestreo en el sustrato con conejaza. -----	102

Cuadro 35. Comparación del número de individuos adultos, pre-clitelados y capullos muestreados en cada bloque experimental del sustrato conejo.-----	103
Cuadro 36. Resultados de los datos originales estimados con el modelo lineal generalizado.-----	104
Cuadro 37. Resumen de los modelos lineales encontrados.-----	106
Cuadro 38. Datos de germinación de semillas de rábano.-----	107
Cuadro 39. Datos de germinación de semillas de trigo.-----	108
Cuadro 40. Alturas promedio de plántulas de semillas germinadas de rábano.-----	109
Cuadro 41. Alturas promedio de plántulas de semillas germinadas de trigo.-----	110
Cuadro 42. Longitudes de las raíces de plántulas de semillas germinadas de rábano.-----	111
Cuadro 43. Longitudes de raíces de plántulas de semillas germinadas de trigo.-----	112

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la materia orgánica.-----	9
Figura 2. Morfología externa e interna de la lombriz de tierra.-----	17
Figura 3. El ciclo de vida de la especie epigea <i>Eisenia fetida</i> .-----	20
Figura 4. Clasificación ecológica de las lombrices de tierra.-----	22
Figura 5. Los cuatro principales sistemas biológicos de regulación del suelo: "drilosfera".-----	22
Figura 6. Clasificación de las lombrices de tierra en relación al pH del suelo.-----	24
Figura 7. Transformación de la materia orgánica durante el composteo.-----	28
Figura 8. Dimensiones adecuadas de una pila de composteo.-----	30
Figura 9. Diferentes técnicas para la construcción de lombricompostas.-----	37
Figura 10. Prueba de supervivencia de las lombrices.-----	49
Figura 11. Módulos experimentales con los tratamientos de estiércol bovino, ovino y conejaza.-----	50

Figura 12. Germinación de semillas de trigo y rábano.-----	52
--	----

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Perfil climatológico de la granja experimental de la UACH durante el período experimental.-----	48
Gráfica 2. Crecimiento poblacional de los promedios de lombrices adultas en los diferentes sustratos utilizados.-----	68
Gráfica 3. Crecimiento poblacional de los promedios de lombrices pre-cliteladas en los diferentes sustratos utilizados.-----	70
Gráfica 4. Crecimiento poblacional de los promedios de capullos en los diferentes sustratos utilizados.-----	71
Gráfica 5. Valores reales (●) y estimados (—) para la población de lombrices adultas.-----	73
Gráfica 6. Valores reales (●) y estimados (—) para la población de lombrices juveniles.-----	74
Gráfica 7. Valores reales (●) y estimados (—) por el modelo lineal para la cantidad de capullos.-----	75
Gráfica 8. Comparación de altura en plántulas de rábano a los 15 días de emergidas.-----	78
Gráfica 9. Comparación de altura en plántulas de trigo, a los 15 días de emergidas.-----	79
Gráfica 10. Longitud de raíz en plántulas de rábano en diferentes sustratos.-----	80
Gráfica 11. Longitud de raíz en plántulas de trigo en diferentes sustratos.-----	80
Gráfica 12. Porcentaje de germinación de semillas rábano en diferentes sustratos.-----	81
Gráfica 13. Porcentaje de germinación de semillas de trigo en diferentes sustratos.-----	81
Gráfica 14. Porcentaje de humedad en plántulas de rábano a los 15 días de emergidas.-----	82
Gráfica 15. Porcentaje de humedad en plántulas de trigo a los 15 días de emergidas.-----	82

Gráfica 16. Peso húmedo en plántulas de rábano después de 15 días de germinación. -----	83
Gráfica 17. Peso húmedo en plántulas de trigo después de 15 días de germinación. -----	83
Gráfica 18. Peso seco por plántula de rábano a los 15 días de germinación.-----	84
Gráfica 19. Peso seco por plántula de trigo a los 15 días de la germinación. -----	84
Gráfica 20. Comportamiento poblacional de lombrices adultas muestreadas en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de ganado bovino. -----	100
Gráfica 21. Comportamiento poblacional de lombrices pre-cliteladas muestreadas en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de ganado bovino. -----	100
Gráfica 22. Número de capullos muestreados en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de ganado bovino. -----	100
Gráfica 23. Comportamiento poblacional de lombrices adultas muestreadas en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de borrego.-----	102
Gráfica 24. Comportamiento poblacional de lombrices pre-cliteladas muestreadas en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de borrego.-----	102
Gráfica 25. Número de capullos muestreado en los bloques experimentales del sustrato con estiércol de borrego.-----	102
Gráfica 26. Comportamiento poblacional de lombrices adultas muestreadas en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de conejo. -----	26
Gráfica 27. Comportamiento poblacional de lombrices pre-cliteladas muestreadas en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de conejo. -----	27
Gráfica 28. Número de capullos muestreados en bloques experimentales de sustrato con estiércol de conejo. -----	28

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el propósito de evaluar la dinámica poblacional de la lombriz *Eisenia fetida* Sav. durante el lombricompostaje de estiércol bovino, ovino y de conejo previamente precomposteados. Así mismo se evaluó la maduración y calidad de las lombricompostas obtenidas.

En la Granja Experimental de la UACH se estableció un experimento, en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, donde a partir de estiércol de ganado bovino, ovino y de conejo, se formaron tres compostas de cada estiércol. Con material precompostado por dos meses, se acondicionaron lechos de 1m². Antes de la inoculación de las lombrices en cada lecho se realizó una prueba DL₅₀ para cada sustrato, observándose una mejor adaptación de las lombrices en las compostas de bovino y ovino. Cada 15 días se muestreó del crecimiento poblacional de las lombrices separando adultos, juveniles y capullos. A muestras de cada sustrato se les determinaron características a) químicas: pH, CE, MO, Nt, Pt, Kt; b) físicas: densidad aparente, humedad, finura; y c) microbiológicas: bacterias, hongos y actinomicetos. También se realizó un bioensayo de maduración para cada sustrato y repetición a través de la germinación de semillas de trigo y rábano, donde se registró el número de plántulas emergidas, longitud de raíces, altura de tallo, peso seco y húmedo de las plántulas.

El mejor desarrollo de las lombrices se presentó en el sustrato bovino y ovino; ya que el número de lombrices adultas muestreadas fue relativamente constante y mayor el número de juveniles y capullos. En el sustrato de conejo que obtuvo mayor CE, P, K, pH, las lombrices tardaron un poco más de tiempo en adaptarse y reproducirse; aunque al final del experimento de campo, a los cinco meses la población en este sustrato comenzó a elevarse. El análisis estadístico mostró que hubo diferencia significativa en la dinámica poblacional y diferente tiempo de adaptación en cada sustrato.

De los análisis químicos, físicos y microbiológicos del material final lombricompostado se obtuvieron diferencias significativas en las variables MO, Nt, Pt, densidad aparente, humedad, bacterias y actinomicetos. Los mayores contenidos nutrimentales se obtuvieron en la lombricomposta de conejo además de presentar mayor contenido de materia orgánica, pH y CE; la menor densidad aparente, humedad y finura, en parte porque el material original estuvo mezclado con aserrín que hizo más ligero el material a la vez que más grueso en finura. En el sustrato de conejo también se encontró mayor contenido de bacterias y actinomicetos. La lombricomposta de bovino presentó el menor contenido de Nt y Pt.

La prueba de germinación indicó que los sustratos lombricompostados estaban maduros ya que los porcentajes de germinación fueron superiores a las recomendadas para las compostas maduras, aunque no hubo diferencias estadísticas en el porcentaje de germinación, ni en el peso seco de las plántulas. El índice de germinación no presentó diferencias estadísticas en las plántulas de rábano, pero sí se encontró en las de trigo, donde el mayor índice fue para el sustrato de conejo.

INTRODUCCIÓN

A pesar de los numerosos proyectos de carácter internacional y los que han sido financiados por el estado; la pobreza, la escasez de alimentos, la desnutrición y la degradación ambiental continúan siendo problemas graves en el mundo en desarrollo (Altieri, 1995). En muchos países de economías emergentes, la sustitución del capital natural (entendido como numerosos servicios ambientales proporcionados por la naturaleza) por el capital humano, como es el uso de fertilizantes inorgánicos, el control de la competencia de malezas e insectos a través del uso de pesticidas y herbicidas, etc., ha llevado a problemas serios tales como: la erosión del suelo, la desertificación, la contaminación de los acuíferos y corrientes superficiales, pérdida o erosión de germoplasma y destrucción de insectos benéficos (Bellón, 1996). Y aunque el uso de fertilizantes químicos favoreció los incrementos necesarios en el rendimiento de las cosechas para alimentar a una población mundial creciente, este uso está propiciando que el suelo sufra de un agotamiento acelerado de materia orgánica y de un desbalance nutrimental; además de una eliminación completa del ciclo del humus, salinidad excesiva en los suelos, pH no regulado, contaminación de mantos freáticos, promoción de la eutrofización en ríos, lagos, bahías, etc., contaminación del aire (Altieri y Nicholls, 2000; Trinidad, 1999; Bellapart, 1996).

Los desperdicios orgánicos, los cuales son producidos a gran escala en todo el mundo, están creando serios problemas de eliminación y de contaminación ambiental. Estos se pueden originar a partir de fuentes domésticas, urbanas, comerciales y de animales. México como la mayoría de los países en desarrollo, elimina y desperdicia una gran cantidad de residuos orgánicos, tanto en la actividad agroindustrial, pecuaria como urbana (aproximadamente el 60 % de la basura urbana en México es de origen vegetal) (Capistrán *et al.*, 1999). Por ejemplo, los habitantes de la Ciudad de México consumen alrededor de 30 mil toneladas de productos alimentarios, de esta cantidad se generan 19 mil toneladas de residuos orgánicos y alrededor de 8 mil 600 toneladas son desechos de comida (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1998). En el campo estos residuos orgánicos son desperdiciados y botados en terrenos, barrancos y tierras de cultivo e inclusive arrojados en ríos y arroyos. Sin lugar a dudas, estos datos obligan a tomar conciencia del problema e implementar estrategias de reciclaje de los residuos orgánicos.

Si estos residuos orgánicos o “desperdicios”, no son usados para otros propósitos deben retornar al suelo donde se derivaron, para asegurar la disponibilidad de cantidades adecuadas de materia orgánica y nutrientes.

Se puede devolver la materia orgánica y los minerales al suelo a través de la utilización de insumos naturales como son: estiércol, abonos orgánicos, reciclaje de rastrojos, abonos verdes, cultivos de leguminosas, etc. Los estiércoles animales siguen siendo de uso común como abonos en la agricultura aunque requieren un manejo adecuado para hacer un uso óptimo de ellos. El tratamiento de los estiércoles va a favorecer la retención de nutrimentos, minimizar la pérdidas por volatilización o escurrimiento y reducir problemas de transmisión de semillas de malezas o de agentes patógenos. Con la ayuda de las lombrices de tierra, los estiércoles pueden ser transformados más rápidamente,

produciendo un compostaje más útil, disponible para la aplicación urbana y agrícola (Edwards y Bate, 1992).

El lombricompostaje de estiércol de ganado bovino, ovino, gallinaza, conejaza, de cerdo, y de caballo, permite obtener materia orgánica estabilizada con características adecuadas para mejorar el suelo y como sustratos de crecimiento vegetal. La actividad de la lombriz compostadora *Eisenia fetida* Savigny, en estiércoles precomposteados puede producir materiales ricos en sustancias húmicas, microorganismos y fitoestimulantes útiles al suelo y a la planta (Capistran *et al.*, 1999; Rivero, 1993).

Como la lombricultura trae consigo numerosos beneficios tanto agrícolas, pecuarios, como ecológicos, es de vital importancia conocer como influyen las características químicas, físicas y biológicas de diferentes sustratos orgánicos sobre la dinámica poblacional de lombrices compostadoras; sobre su crecimiento y reproducción. Ya que de esta manera se podrá recomendar o no la utilización de alguno de los residuos orgánicos que se generan en una región específica (Santamaría y Ferrera-Cerrato, 2002).

Para su uso agrícola o hortícola, es necesario que la lombricomposta se encuentre tanto madura como estabilizada, ya que una composta inmadura puede ser fitotóxica para las cosechas y cultivos, limitando la germinación y el crecimiento de las raíces (California compost quality council, 2000; Barberis y Nappi, 1996). Una prueba indicativa de la madurez de una composta es la de germinación, la cual es simple y confiable. En la mayoría de las pruebas se usan semillas de berro, pepino, trigo, rábano o cebada. Es común que se emplee el rábano (*Raphanus sativus* L.) ya que es una semilla pequeña, que germina y madura rápido y que es sensible a las sustancias fitotóxicas como los ácidos orgánicos temporalmente presentes en las compostas inmaduras. En estas pruebas se evalúa el porcentaje de germinación y el crecimiento de la raíz (Compost quality, 2000).

La lombricultura puede ser tanto una estrategia agroecológica como de la agricultura orgánica. Esta puede ser un fertilizante orgánico ideal, ya que contiene los principales nutrimentos minerales como son N-P-K, aunque en una menor proporción 3-2-2, pero la liberación gradual y constante de estos nutrientes, abastece más eficientemente a los cultivos (Aranda y Barois, 2002). En cuanto a la estrategia agroecológica, el abonado con lombricomposta de las tierras agrícolas proporciona materia orgánica y nutrientes, lo cual en consecuencia restablece la biodiversidad en los agroecosistemas, aumentando los niveles de macrofauna, de microfauna, y de la flora edáfica (Pimentel *et al.*, 1992). Esto es fundamental, ya que numerosos organismos pequeños como insectos, hongos, lombrices, etc., dominan la estructura y función de los ecosistemas naturales y por lo tanto de los agroecosistemas. Estos promueven una variedad de procesos de renovación y servicios ecológicos en los agroecosistemas, que cuando se pierden, los costos pueden ser significativos (Altieri y Nicholls, 2000).

OBJETIVOS

- I. Caracterizar la dinámica poblacional de la lombriz composteadora (*Eisenia fetida* Savigny) durante el proceso de lombricompostaje, en estiércoles previamente precomposteados de ganado bovino, ovino y de conejo.
- II. Evaluar la calidad física, química y microbiológica de las lombricompostas obtenidas.
- III. Evaluar la calidad y madurez de las lombricompostas con bioensayos de germinación de semillas de trigo y rábano.

HIPÓTESIS

Estiércoles con mayor contenido de nutrimentos, favorecen un más rápido crecimiento poblacional de lombrices composteadoras que aquellos que presentan menor contenido nutrimentales, y generan mayores características físicas, químicas y microbiológicas en las lombricompostas obtenidas, lo que favorece la germinación de semillas de trigo y rábano.

REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Agroecología, fertilidad y manejo del suelo.

Agroecología.

Muchos científicos agrícolas consideran que la agricultura moderna enfrenta una crisis mundial. La importación de tecnologías de alto insumo para incrementar la producción agrícola no ha solucionado los problemas de pobreza y hambre, y en cambio ha causado numerosos problemas ambientales. Entre los problemas causados por la intensificación de la producción agrícola se encuentran la erosión, la pérdida de la fertilidad del suelo, salinización y la pérdida de agrobiodiversidad, etc. (Altieri y Nicholls, 2000).

La preocupación actual es llegar a la sostenibilidad agrícola, definida como la práctica que incluye el manejo exitoso de los recursos agrícolas para satisfacer las necesidades humanas, mientras mantiene o mejora la calidad del ambiente y conserva los recursos naturales (FAO, 1989) (citado por Scholes *et al.*, 1994).

El enfoque que permite comprender estos tópicos (interacción entre agricultura y ambiente global) necesarios para alcanzar la sostenibilidad agrícola, se le ha denominado “agroecología”. Lo importante de esta disciplina es que provee las bases ecológicas para la conservación de la biodiversidad en la agricultura. Ya que cuando la biodiversidad se restablece en los agroecosistemas, emergen una cantidad de interacciones y sinergias complejas entre suelos, plantas y animales, que proveen a los agroecosistemas la capacidad de mantenerse o retornar a un estado innato de estabilidad natural. La idea es que las interacciones ecológicas y las sinergias entre los componentes biológicos proporcionen los mecanismos para que los sistemas agroecológicos subsidien su propia fertilidad del suelo, productividad y protección de cultivos y dependan menos de los agroquímicos y los insumos energéticos. De aquí va a derivar el rendimiento sostenible del agroecosistema a largo plazo (Altieri, 1995; Altieri y Nicholls, 2000).

Se debe considerar al lombricompostaje como parte de esta área de estudio, ya que puede ser una estrategia agroecológica que mejore la fertilidad del suelo, que disminuya la erosión y que conserve la humedad.

Manejo sustentable del suelo.

El suelo es esencial para la producción de los cultivos. Ningún recurso es más importante para alcanzar la sostenibilidad agrícola que el suelo, el cual contiene los nutrientes y el agua esencial para el crecimiento vegetal. Consecuentemente, la manera en la cual los suelos son manejados, tiene un impacto tremendo sobre la productividad y la sostenibilidad.

Los sistemas de manejo sostenible del suelo pueden definirse como aquellos que:

1. producen suficiente comida, combustible, y fibras para satisfacer las necesidades de la población;
2. al término de cualquier ciclo del sistema, ya sea productivo, estos son capaces de producir con la misma eficiencia en el siguiente ciclo;
3. no liberan al ambiente productos que sean dañinos para el ser humano y otros seres vivos; y que tampoco no puedan ser fácilmente eliminados (Greenland, 1994).

La producción agrícola sostenible puede ser alcanzada de varias maneras, pero al final esta va a depender de la disponibilidad y eficiencia en el uso de los recursos esenciales del suelo (Swift *et al.*, 1994).

El mal manejo de este recurso ha originado problemas de degradación, contaminación, desertificación, etc., que han dificultado la obtención de la sostenibilidad en los agrosistemas. La FAO (1980) (citado por Guzmán y de Molina, 2000) agrupa en seis categorías los procesos del deterioro del suelo: erosión hídrica, erosión eólica, exceso de sales (salinización), degradación química, física y biológica.

La disminución de la fertilidad del suelo no solamente se debe a la pérdida de nutrientes exportados como cosechas, sino también a que:

1. la erosión del suelo conduce a la pérdida de partículas finas ricas en materia orgánica y nutrientes;
2. sobremineralización de la materia orgánica del suelo y residuos vegetales debido al sobrecalentamiento del suelo raso o llano;
3. lixiviación de nutrientes y falta de sincronía entre la liberación de nutrientes y la demanda vegetal;
4. deterioro de la estructura del suelo debido a la disminución de la actividad biológica.

Relacionado muy de cerca con la degradación del suelo se encuentra el descenso en la calidad biológica de este; ya que el contenido de materia orgánica en el suelo y la biomasa juegan importantes papeles en muchos de los procesos sustentadores de la vida del suelo.

Fertilidad del suelo.

Ya que la agricultura en sí es una de las más grandes fuentes de estrés y perturbación del ambiente, parecería que un importante criterio para la sostenibilidad agrícola son “los efectos mínimos sobre el ambiente”. Teniendo en mente este criterio (estabilidad en la cosecha, flexibilidad y ciclos cerrados), ¿cuáles son los atributos de la fertilidad del suelo importantes para una agricultura sostenible?

La fertilidad del suelo ha sido definida como “el estatus de un suelo con respecto a su capacidad para suplir elementos esenciales para el crecimiento vegetal sin incurrir en concentraciones tóxicas de cualquier elemento” (Foth y Ellis, 1988) (citado por Brussaard,

1994). En los suelos fértiles, las semillas y restantes órganos de reproducción vegetal germinan y brotan con facilidad, y en ellos se obtiene un desarrollo vigoroso de las plantas que se cultivan (Díaz y Lamo de Espinosa, 1998).

Los suelos fértiles aceptan toda clase de sistemas de cultivo (intensivo, hortícola, frutal, etc.). Estos suelos llegan a admitir un uso intensivo sin que en ellos se presenten síntomas significativos de agotamiento.

En el Cuadro 1 se resumen los criterios utilizados con mayor frecuencia en la caracterización tradicional de la fertilidad de los suelos agrícolas.

Greenland (1975) (citado por Scholes *et al.*, 1994) sugiere que hay 5 principios básicos del manejo del suelo que son esenciales para una agricultura sostenible:

- los nutrientes que son removidos por los cultivos deben ser devueltos al suelo,
- la condición física del suelo debe ser mantenida, lo que significa que el nivel de humus debe ser constante o debe aumentar,
- no debe haber desarrollo de malezas, plagas o enfermedades,
- no debe haber un aumento de la acidez del suelo o de elementos tóxicos,
- la erosión del suelo debe ser controlada de manera que sea igual o menor que la tasa de génesis del suelo.

Los componentes clave para la sostenibilidad de la fertilidad son la cubierta superficial de los suelos ya sea con mulch o abonos verdes para reducir la erosión, el mantenimiento de las propiedades químicas, físicas y biológicas a través de la materia orgánica o con la adición de estiércoles, compostas o lombricompostas y la presencia perenne de sistemas agroforestales y policultivos que proporcionen una biodiversidad agrícola (Brown *et al.*, 1994).

La producción máxima ocurrirá cuando el flujo de un nutriente esencial para la planta sea suficiente para satisfacer su potencial de desarrollo. La sostenibilidad será favorecida cuando los nutrientes que no sean utilizados sean retenidos en el sistema en una forma que permita que sean usados en la siguiente estación (Swift *et al.*, 1994).

Swift y Anderson (1992) (citado por Swift *et al.*, 1994) examinaron la hipótesis de que la integridad funcional y la eficiencia de los sistemas agrícolas era favorecida por la diversidad en cuanto a comunidad vegetal. Ellos concluyeron, que si bien esto era correcto, no era muy probable que se obtuviera mucha ganancia en cuanto a sustentabilidad una vez que las especies vegetales fueran más de cinco o seis especies. Así que los sistemas “intermedios”, como aquellos basados en policultivos con leguminosas o árboles frutales, eran favorecidos por esta hipótesis. Un importante argumento a favor de este planteamiento es que tales sistemas, con un alto y diverso input de materia orgánica al suelo, estimulan los procesos biológicos.

Cuadro 1. Criterios habitualmente utilizados en la caracterización de la fertilidad de los suelos agrícolas.

<p>1. Edáficos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aspectos biológicos del suelo. - Contenido en elementos minerales asimilables <p>2. De cultivo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aptitud para desarrollar determinados sistemas de cultivo. - Estabilidad frente a la degradación. <p>3. Económicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Productividad (cantidad y calidad). - Costes de producción. - Mantenimiento de las producciones. <p>4. Sociales.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reconocimiento del trabajo del agricultor. - Elemento patrimonial.
--

Fuente: Díaz y Lamo de Espinosa , 1998.

4.2 Importancia de la materia orgánica en los agroecosistemas.

Materia orgánica en los suelos.

Es probable que el factor que más influya en el mantenimiento de la eficiencia y de los ciclos de los nutrientes en los sistemas agrícolas sea el estado de la materia orgánica en el suelo (Swift *et al.*, 1994).

Cuando se habla de materia orgánica, se hace referencia a la totalidad de los compuestos de origen orgánico que se superponen al suelo mineral –medios naturales- o se incorporan a él –medios cultivados-. Y con el término humus (sustancias húmicas como: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, himatomelánicos y huminas) se hace referencia a la fracción humificada, que incluye los productos de descomposición avanzada de los residuos orgánicos, transformados por vía biológica, a otros productos procedentes de procesos físico-químicos y los sintetizados por los microorganismos. La cantidad de materia orgánica en el suelo va a ser importante en el mantenimiento de una población activa de organismos edáficos que promuevan la mineralización de esta materia y la descomposición de agroquímicos, que minimicen el desarrollo de las plagas, y que también promuevan la absorción de nutrientes por las raíces. De aquí, que la cantidad de materia puede ser considerada como un indicador de la sostenibilidad del manejo del suelo (Greenland *et al.*, 1994).

La fuente original de la materia orgánica en el suelo, serán los restos de plantas y animales, en diferentes estados de descomposición, así como la biomasa microbiana. Estos restos, que la bioquímica define como “polímeros de compuestos orgánicos” y que podemos denominar “materia orgánica fresca” bajo la acción de factores edáficos, climáticos y biológicos, serán sometidos a un constante proceso de transformación. Esta transformación por lo regular sigue el camino descrito por la Figura 1; aquí los

microorganismos poseen un papel importante en la mineralización de la materia orgánica (Díaz y Lamo de Espinosa, 1998; Labrador, 1996).

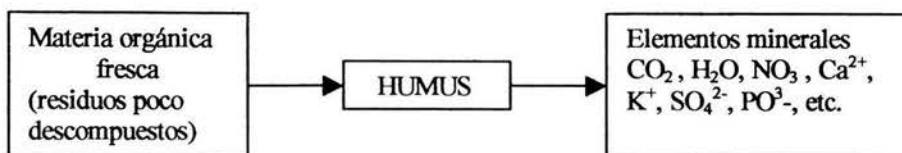


Figura 1. Evolución de la materia orgánica. (Fuente: Díaz y Lamo de Espinosa, 1998).

Constituyentes de la materia orgánica en el suelo.

La fracción orgánica del suelo, podemos dividirla en dos grupos:

1. “Materia orgánica fresca” o “materia orgánica lábil”, esta formada por restos de animales, plantas y microorganismos, transformados de forma incompleta. Son la primera fuente de humus y no forman parte integral del suelo.
2. “Materia orgánica transformada” o “materia orgánica estable”, que incluye dos subgrupos, (a) uno constituido por productos resultantes de la descomposición avanzada de residuos orgánicos y síntesis microbiana y otro (b) que podemos considerar como sustancias exclusivamente húmicas, que forman parte integral del suelo y que no pueden ser separados por métodos mecánicos.

Se estima que la composición de la materia orgánica en el suelo está definida por: un 10 % de carbohidratos; un 10 % de compuestos nitrogenados –incluyendo proteínas, péptidos, aminoácidos, aminoazúcares, purinas, pirimidinas, y otros compuestos-; un 15 % de grasas, ceras, resinas, etc., y un 65 % de sustancias húmicas (Labrador, 1996).

La materia orgánica en los agroecosistemas.

En los sistemas agrícolas no existe la estabilidad que se presenta en los ecosistemas naturales como los bosques o las praderas, donde la vegetación es permanente y cae periódicamente al suelo y se muestra un equilibrio entre lo aportado (descomposición de hojas y raíces) y lo mineralizado y extraído (absorción de nutrientes). En estos el aporte de materia orgánica es discontinuo y va a depender del ser humano; el estiércol, los residuos de cosechas, la paja incorporada, los abonos verdes y los diversos tipos de compostas, sustituyen a la hojarasca, siendo la descomposición activada por el enterramiento, el laboreo, etc. Los contenidos de materia orgánica suelen ser mínimos en los suelos sometidos a un fuerte laboreo y en los sistemas de cultivo que dejan escasos residuos. Para muchos agrónomos las prácticas más importantes para mantener los niveles de materia orgánica en los suelos, son las de no laboreo (labranza cero) o de laboreo mínimo y las que dejan los residuos de las cosechas sobre la superficie del suelo (Díaz y Lamo, 1998).

El Cuadro 2 resume las acciones más destacadas de la materia orgánica en los suelos cultivados.

Cuadro 2. Efectos más destacados de la materia orgánica en los suelos de cultivo.

Parámetros edáficos	Efectos de la materia orgánica humificada
Físicos	Aumento de la capacidad calorífica. Suelos más calientes en primavera. Reducción de las oscilaciones térmicas. Agregación de partículas elementales. Aligera suelos arcillosos. Aumenta la estabilidad estructural. Aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa. Facilita el drenaje y las labores. Reduce la erosión. Aumenta la capacidad de retención hídrica. Reduce la evaporación.
Químicos	Aumento del poder tampón. Regula el pH. Aumenta la capacidad de intercambio catiónico. Mantiene los cationes en forma cambiante. Forma quelatos. Mantiene las reservas de nitrógeno.
Biológicos	Favorece la respiración radicular. Favorece la germinación de las semillas. Favorece el estado sanitario de órganos subterráneos. Regula la actividad microbiana. Es fuente de energía para organismos heterótrofos. El CO ₂ desprendido favorece la solubilización mineral. Contrarresta el efecto de algunas toxinas. Modifica la actividad enzimática. Activa la rizogénesis. Mejora la nutrición mineral de los cultivos.

Fuente: Labrador, 1996.

4.3 Importancia de la biodiversidad edáfica.

En la mayoría de los ecosistemas terrestres, la mayor parte de la biodiversidad presente sucede debajo de la superficie del suelo, no arriba. Esto se da especialmente en el caso de los sistemas agrícolas (Wardle *et al.* 1999). En estos sistemas el suelo es el hábitat de una diversa comunidad de microorganismos y animales invertebrados, los cuales tienen un papel específico e importante en la determinación de la productividad primaria de los ecosistemas que habitan, en las propiedades físicas y químicas de los suelos y en el transporte de materiales orgánicos e inorgánicos entre los horizontes edáficos (Anderson, 1989). También pueden minimizar la degradación del suelo, controlando los procesos que disminuyen la erosión y que mejoran la calidad de este (Lal, 1989).

Las funciones de esta biota pueden ser resumidas en cinco categorías:

1. Facilitan la adquisición vegetal de nutrientes a través de la acción de micorrizas y organismos fijadores de nitrógeno.
2. Regulan la retención y flujo de nutrientes en el sistema a través de los procesos de descomposición, mineralización e inmovilización.

3. Intervienen en la síntesis y fragmentación de la materia orgánica del suelo (humus).
4. Influyen en la disponibilidad de agua para la vegetación por medio de la modificación de la estructura del suelo.
5. Modifican la salud de las plantas a través del parasitismo y patogénesis (Swift *et al.*, 1994).

Las áreas clave en las cuales la biota edáfica influye sobre la sostenibilidad de los agroecosistemas, incluyen la circulación interna de los nutrientes y la alteración de la estructura del suelo, que afecta a los agregados, la porosidad y la formación y distribución de la materia orgánica.

Los campesinos que practican una agricultura de bajos insumos (low-input), deben enfocar sus esfuerzos sobre el manejo adecuado de la biota del suelo, para obtener sistemas agrícolas sostenibles de largo plazo (Hendrix *et al.* 1990).

Grupos funcionales y la influencia de la biota del suelo sobre los procesos edáficos.

En los ecosistemas naturales la materia orgánica en descomposición es una fuente principal de nutrientes para el crecimiento de las plantas. Aquí, la biota del suelo puede actuar como reguladora de la disponibilidad de nutrientes para los productores primarios (Hendrix *et al.*, 1990). El Cuadro 3 muestra las diferentes influencias de la biota del suelo sobre los procesos edáficos.

Cuadro 3. Influencia de la biota del suelo sobre los procesos edáficos en los ecosistemas.

	<i>Circulación de nutrientes</i>	<i>Estructura del suelo</i>
Microflora	Catabolizan la materia orgánica. Mineralizan e inmovilizan los nutrientes.	Producen componentes orgánicos que unen a los agregados. Las hifas unen las partículas del suelo en agregados.
Microfauna	Regulan las poblaciones de bacterias y hongos. Alteran la transformación de los nutrientes.	Pueden afectar la estructura de los agregados a través de las interacciones con la microflora.
Mesofauna	Regulan las poblaciones de hongos y de microfauna Alteran la transformación de nutrientes. Fragmentan los residuos vegetales.	Producen pellets fecales. Crean bioporos. Promueven la humificación.
Macrofauna	Fragmenta los residuos vegetales. Estimula la actividad microbiana.	Mezcla las partículas minerales y orgánicas. Redistribuye la materia orgánica y a los microorganismos. Crea bioporos. Promueve la humificación. Produce pellets fecales.

Fuente: Hendrix *et al.*, 1990.

La *microflora* del suelo (hongos y bacterias), son los organismos dominantes, en cantidad y biomasa, en los ecosistemas terrestres. La microflora es la descomponedora primaria que ataca a los materiales orgánicos complejos y los convierte en simples moléculas y en nueva biomasa microbial. Los microbios involucrados en el ciclo del N, pueden afectar directamente la circulación de nutrientes a través de los procesos de fijación del N y la denitrificación; esto es importante comprender si se quiere usar más eficientemente el N como fertilizante (Brookes, *et al.*, 1992).

La *microfauna* del suelo consiste principalmente de protozoarios, nematodos, ácaros y colémbolos; también pueden ser abundantes los rotíferos y los tardígrados. Sus actividades alimenticias pueden regular las densidades poblacionales y la actividad de la microflora. Los protozoarios son importantes depredadores y ayudan a regular el tamaño de las poblaciones de bacterias. Los nematodos de vida libre son depredadores voraces de bacterias, hongos y protozoarios, y son organismos comunes de la rizosfera. Son importantes como regulares indirectos de la descomposición y de la liberación de nutrientes en el suelo (Pankhurst, 1994).

Juntos, los hongos, las bacterias, las amibas y los nematodos bacterívoros contribuyen en gran parte a la mineralización del nitrógeno (Brussaard, 1994).

La *mesofauna* del suelo está compuesta de ácaros, colémbolos y pequeños insectos. Aunque la mesofauna puede atacar y desintegrar la materia orgánica, se considera más importante en la regulación de las poblaciones de bacterias y en el reciclamiento de los excrementos de la macrofauna. También la mesofauna ha sido considerada como un bioindicador sensible de la alteración del suelo, ya que las poblaciones de estos organismos tienden a incrementar en tamaño y abundancia, en suelos sujetos a prácticas de conservación (Hendrix *et al.*, 1986; Koehler, 1992).

La *macrofauna* y *megafauna* incluye animales como: los anfípodos, isópodos, ciempiés, milpiés, insectos adultos y larvas, lombrices de tierra, y moluscos (caracoles y babosas). Estos animales son los principales agentes de desintegración y redistribución de los residuos vegetales en el suelo (Anderson, 1989), de inoculación del mantillo vegetal con poblaciones de microorganismos descomponedores o de estimuladores de las poblaciones de descomponedores (Rees *et al.*, 2001). Sus actividades mejoran la descomposición a través de la estimulación y el aumento del área superficial de los sustratos para la actividad microbiana (Hendrix *et al.*, 1990). También intervienen en la dispersión de los bancos de semillas del suelo, enterrándolas, mezclándolas o consumiéndolas (Miles, 1992). Las especies saprofitas ingieren grandes cantidades de material orgánico o mineral. El material que no es digerido es evacuado como excrementos, los cuales poseen unas condiciones microambientales específicas que pueden influir en los procesos tanto biológicos como físico-químicos del suelo; ya que en algunos ecosistemas las capas superiores del perfil edáfico pueden consistir exclusivamente de excrementos frescos y maduros (Martin y Marinissen, 1993).

Las raíces también pueden ser consideradas como equivalentes funcionales de los macro-invertebrados como resultado de su habilidad para moverse (por medio del

crecimiento de nuevas extremidades) y a su limitada habilidad para usar los nutrientes del suelo (Lavelle *et al.*, 1995).

A esta biodiversidad se le ha utilizado como indicador de la salud del suelo. Como bioindicadora de la productividad del suelo (medidas positivas y negativas del crecimiento vegetal), como bioindicadora de la contaminación del suelo, y como bioindicadora de la estabilidad y sostenibilidad del suelo (indicadores que reflejan la conservación del recurso suelo a largo plazo) (Pankhurst, 1994).

Efectos de la agricultura sobre la biota del suelo.

Por lo regular la agricultura convencional posee el potencial para alterar en forma negativa los componentes de la biota del suelo. Si el objetivo es llegar a una sostenibilidad agrícola, esta va a depender de la capacidad de los organismos del suelo para proporcionar los recursos adecuados y necesarios para el crecimiento vegetal. Por esto es importante conocer como las prácticas agrícolas y la intensificación impactan sobre la biota del suelo (Wardle *et al.*, 1999; Edwards, 1977)

Entre los efectos más importantes de la agricultura sobre la biota del suelo se encuentran:

1. Textura y compactación del suelo. La textura del suelo puede imponer restricciones físicas sobre la habilidad de la fauna para alimentarse de microbios; por lo tanto, la textura juega un papel en la mineralización de carbono microbial y nitrógeno. La mineralización de carbono y nitrógeno es más rápida en suelo con textura gruesa que en suelos con textura fina (Hassink *et al.*, 1997).

La mesofauna está adversamente afectada por la compactación del suelo. La compactación producida por la maquinaria agrícola reduce la porosidad del suelo, ocasionando una distribución discontinua de poros llenos de aire y de agua, imposibilitando el movimiento de los organismos (Lavelle *et al.* 1995). Por lo tanto hay una disminución en la biomasa microbial y en la densidad de ácaros depredadores (Neher y Barbercheck, 1999).

2. Cultivación. Una de las principales perturbaciones asociadas con el laboreo intensivo son los efectos que produce sobre las redes tróficas del suelo; ya que la labranza convencional afecta en mayor grado a la macrofauna que a la micro y mesofauna (Hendrix *et al.*, 1986).

La labranza de conservación o la labranza cero generan suelos biológicamente más complejos que resultan en concentraciones más grandes de microartrópodos que los suelos manejados con labranza convencional (Perdue y Crossley, 1989; Wilkinson, 1977). La labranza de conservación deja la mayoría de los residuos de las cosechas sobre la superficie del suelo, y resulta en cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo (Blevins *et al.*, 1983). Los residuos en la superficie retienen la humedad, amortiguan las fluctuaciones de la temperatura, y proporcionan un substrato continuo el cual promueve el crecimiento de hongos (Neher y Barbercheck, 1999). Hay considerables diferencias biológicas, químicas

y físicas entre la labranza convencional y la labranza cero; por ejemplo las características bióticas y abióticas cambian significativamente, con cantidades más marcadas de C orgánico, N y P, en los 5 cm superiores del perfil edáfico que se encuentra debajo del mantillo en suelos manejados con labranza cero (Hendrix *et al.* 1986; Coleman *et al.* 1989).

Edwards (1977) estudio los efectos de los sistemas agrícolas de roza, tumba y quema sobre la fauna edáfica durante 4 años. Esta fauna era colectada después de la quema de los rastrojos a través de muestras de suelo. Edwards concluyó que la quema no tenía un efecto significativo directo sobre las poblaciones de invertebrados que vivían en el suelo, aunque la eliminación de la materia orgánica de la superficie podría tener efectos indirectos. La quema puede afectar a la fauna que esta muy asociada con los rastrojos, como son los colémbolos, los ácaros, arañas y milpiés; pero las poblaciones se pueden recuperar al siguiente año, así que no existen efectos ecológicos dañinos a largo plazo.

3. Abonado. Este puede influir directamente e indirectamente en la abundancia poblacional o composición de las comunidades de mesofauna en el suelo.

En general la adición de abonos a las tierras agrícolas aumenta la actividad y biomasa biológica de los suelos (Pimentel *et al.*, 1992). López-Cezati (1979) (citado por Trinidad, 1999) aplicó anualmente 20 t de gallinaza a andisoles sometidos al cultivo de maíz durante 10 años y demostró el aumento de hongos, bacterias y actinomicetos por gramo de suelo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la aplicación anual de 10 toneladas de gallinaza durante 10 años sobre la población microbiana del suelo.

<i>Gallinaza</i> $T\ ha^{-1}$	<i>Hongos</i> $10^5\ g^{-1}$	<i>Actinomicetos</i> $10^6\ g^{-1}$	<i>Bacterias</i> $10^7\ g^{-1}$
0	2.4	3.1	2.2
20	3.2	4.6	3.8

Fuente: Trinidad, 1999.

Manejo de la biota del suelo en agroecosistemas sostenibles.

La premisa es que, como en los ecosistemas naturales, las actividades de la biota del suelo puedan ser importantes en el reciclado de nutrientes y en el mantenimiento de las condiciones adecuadas del suelo en los agroecosistemas, contribuyendo a la sustentabilidad agrícola.

En teoría, se conoce lo suficiente acerca de la biota del suelo como para manejar algunas de sus actividades y dirigir las hacia el aumento de la producción de cultivos o para mejorar la fertilidad del suelo. Las posibilidades de manejo incluyen la manipulación directa de grupos de organismos, y la manipulación indirecta de los recursos alimenticios o las condiciones del hábitat (Hendrix *et al.*, 1990).

Métodos directos. Los métodos directos intentan alterar la abundancia o actividad de grupos específicos de organismos; por ejemplo la inoculación de semillas y raíces con

rizobia, micorrizas, y tricotermos, son ejemplos de manipulación directa de la microflora para mejorar el desarrollo vegetal (Lynch, 1987).

Puede ser posible manejar la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través de la manipulación de las redes tróficas de detritus. Por ejemplo, la alteración del número de ácaros depredadores con el propósito de aumentar o disminuir la abundancia de sus presas fungívoras (ácaros, colémbolos, o nematodos), podría retrasar o acelerar la descomposición fungal de los residuos vegetales (Hendrix *et al.* 1990).

Métodos indirectos. Estos pueden ser usados para manejar la biota del suelo, manipulando los factores que controlan la actividad biótica (estructura del hábitat, microclimas, nutrientes, y recursos energéticos) en lugar de los organismos. La mayoría de las prácticas agrícolas alteran estos factores. Algunas manipulaciones físicas y químicas alteran las condiciones del hábitat y pueden ser útiles para estimular o suprimir la actividad biótica, por ejemplo: la labranza de conservación (con una incorporación superficial de los residuos) crea un ambiente más estable y promueve el desarrollo de comunidades más diversas de organismos descomponedores. Estas condiciones en sistemas de labranza cero favorecen más la aparición de hongos que de bacterias, mientras que en sistemas con labranza convencional, las bacterias descomponedoras predominan (Hendrix *et al.* 1990).

4.4 Biología de la lombriz de tierra

Características generales: Clase Oligoqueta.

La clase Oligoquetos comprende más de 3000 especies de lombrices terrestres, dulceacuícolas, y secundariamente, litorales marinas o parásitas. Su tamaño varía desde las especies acuáticas que no pasan de 0.5 mm de longitud, a lombrices terrestres de hasta 2 metros de longitud y 40 mm de diámetro. Estos anélidos presentan segmentación bien marcada, tanto interna como externa, y poseen quetas alineadas metaméricamente. Son hermafroditas, presentan un clitelo en la madurez sexual y los huevos quedan depositados en un capullo; no hay larvas libres en su desarrollo (Marshall y Williams, 1980).

Sistemática

Las lombrices de tierra son animales invertebrados que se clasifican dentro del Filum *Anelida*, y que pertenecen a la Clase *Oligochaeta* y están relacionadas a los poliquetos (gusanos con quetas) y a los hirudíneos (sanguijuelas).

Jamieson (1988) (citado en Edwards y Bohlen, 1996) revisó toda la filogenia y clasificación superior de los oligoquetos, basándose en un análisis cladístico. Dentro de esta clasificación, *Eisenia fetida* Savigny pertenece al orden *Opisthopora*, suborden *Crassicliteliata*, súperfamilia *Lumbricoidea*, familia *Lumbricidae*.

Los caracteres utilizados para definir a los géneros de la familia *Lumbricidae* son en la mayoría estructuras internas, tales como el número y distribución de los órganos de sus sistemas reproductivos, incluyendo los sacos testiculares, espermatecas y vesículas seminales, y también la posición de la molleja. Externamente, las posiciones de los poros

masculinos, el primer poro dorsal y los de las espermatecas. Otros caracteres para describir completamente a los géneros son la cefalización (la manera en que el prostomio está unido al peristomio), la posición de los poros femeninos, la presencia o ausencia de pigmento y la posición segmental del clitelio. El número de especies dentro de la familia *Lumbricidae* es pequeño comparado con las otras familias y las diferencias de los caracteres diagnósticos entre géneros y especies no son grandes.

Filogenéticamente las lombrices de tierra son un grupo muy antiguo. Quizás sean los habitantes más viejos del suelo; se han encontrado fósiles en sedimentos del pre-Cámbrico y del Ordovícico (Makeschin, 1997). Posiblemente los poliquetos son ancestros de los oligoquetos, o ambos pueden haber derivado de un ancestro acuático común. Los primeros oligoquetos probablemente vivieron en el fango o lodo en lugar del agua (como presumiblemente lo hicieron sus ancestros poliquetos), transitoriamente se convirtieron en terrestres cuando periódicamente el fango se secaba. Entonces comenzaron a separarse en dos grupos, uno puramente terrestre, y el otro acuático (en agua dulce); así que algunas familias acuáticas, tales como *Tubificidae* probablemente nunca han pasado por una fase terrestre en su desarrollo (Edwards y Bohlen, 1996).

Biología

Las lombrices de tierra presentan simetría bilateral y su cuerpo está dividido en varios anillos que se corresponde exactamente con las divisiones internas, constituyendo segmentos o metámeros. El extremo anterior tiene un lóbulo redondeado, llamado prostomio, e inmediatamente detrás y por debajo se abre la boca, rodeada por el borde anterior del peristomio o primer segmento somático. El segmento anterior carece de ojos, tentáculos o palpos.

En el último segmento del cuerpo, el segmento anal o pigidio, existe en medio un pequeño orificio que es la abertura anal.

Las sedas o quetas faltan pocas veces, estas normalmente se localizan en cuatro grupos, o haces, en cada segmento. Las quetas están encajadas en una estructura del saco. Estas ayudan a la locomoción.

En la madurez sexual todos los oligoquetos poseen un epitelio glandular especial, localizado sobre uno o más segmentos. Se trata del clitelio, que segrega el capullo. Su localización es variable, pero siempre se encuentra en la mitad anterior del cuerpo. (Marshall y Williams, 1980).

Alimentación.

Las lombrices de tierra ingieren detritus vegetal en diferentes estados de descomposición tanto en la superficie del suelo, o dentro del suelo mineral. Los intestinos de las especies que se alimentan en la superficie contienen un gran proporción de fragmentos de hojarasca y células de algas; mientras las especies geófagas ingieren principalmente humus, raíces finas, y semillas. Junto con el humus también ingieren microorganismos y pequeños animales edáficos como protozoarios y nemátodos (Makeschin, 1997; Edwards y Bohlen, 1996). Algunas especies como *Lumbricus terrestris* depende principalmente de desechos orgánicos intactos, mientras que otras especies como *Eisenia fetida*, prefieren materia orgánica en avanzado estado de descomposición (Edwards

y Fletcher, 1989). Las lombrices prefieren materiales con baja proporción C/N, tales como el trébol, a material vegetal con una alta proporción de C/N (Werner, 1990).

Con pequeñas diferencias, todas las lombrices de tierra comparten un sistema digestivo común (Figura 2).

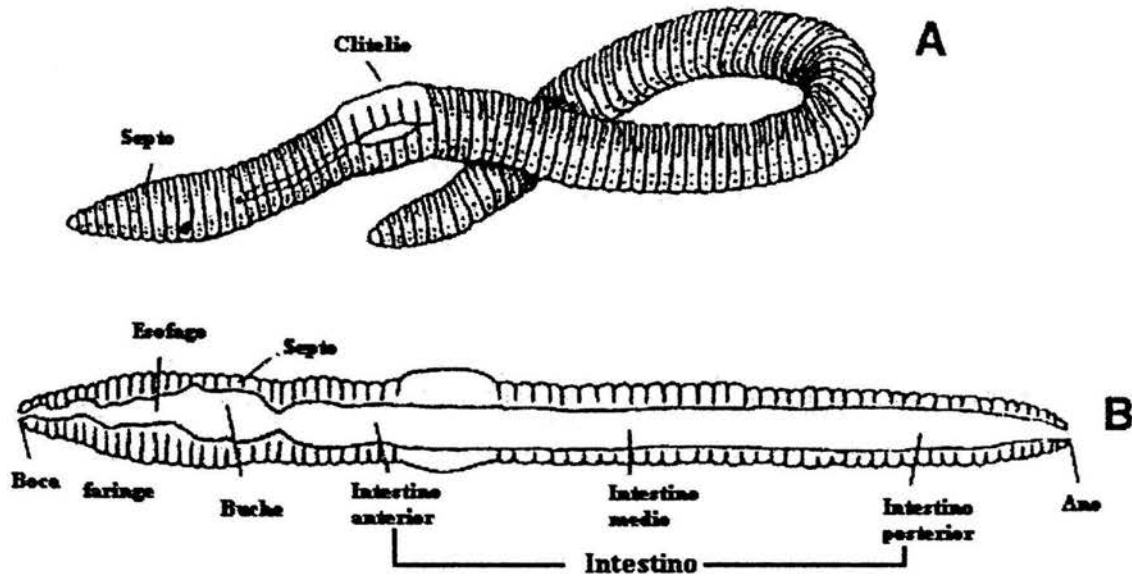


Figura 2. Morfología externa (A) e interna (B) de la lombriz de tierra. (Fuente: Makeschin, 1997).

Sistema digestivo.

Los sistemas digestivos de las lombrices de tierra son relativamente simples; consisten de una cámara bucal, una faringe, esófago, buche, molleja e intestinos. La cavidad bucal tiene una musculatura la cual le permite expandirse para que las estructuras sensoriales detecten el alimento. Generalmente la faringe actúa como una bomba, ejerciendo una succión para tomar el alimento, y pasarlo al esófago, el cual tiene glándulas calcíferas que secretan calcio. Del esófago sigue el buche, el cual es grande y prominente en los Lumbricidos, y termina en una molleja. La molleja es musculosa y se utiliza para la trituración de las partículas alimenticias. Detrás de la molleja, yace el intestino, el cual es un simple tubo cilíndrico, con pliegues de su pared que forman el tiflosolio, el cual aumenta el área de absorción del alimento. Hay cuatro regiones bien definidas del intestino, una parte anterior contráctil que secreta mucus y proteínas, seguido de una parte media, la cual está ciliada y contiene células glandulares, y después por un intestino posterior revestido de una membrana peritrófica (que cubre a los turrículos cuando estos son excretados por la lombriz) y la cual termina en el ano (Marshall y Williams, 1980; Edwards y Bohlen, 1996).

En los lumbricidos, el alimento se adhiere al mucus que es secretado por el epitelio bucal. Los movimientos de la pared corporal durante la locomoción ayudan al paso del alimento por el intestino. El tiempo que toma el alimento para pasar a través del intestino varía de 3 a 4 horas en *E. fetida*, y de 12-20 h en *L. terrestris* (Edwards y Fletcher, 1989).

Un aspecto característico del esófago de las lombrices terrestres es la presencia de glándulas calcíferas, que están muy irrigadas por vasos sanguíneos. Estas glándulas secretan concreciones de carbonato cálcico en la luz del conducto digestivo, recorriéndolo sin sufrir cambios sensibles, hasta salir por el ano. Se han propuesto varias teorías para explicar esta función. La más aceptada argumenta que estas estructuras controlan el equilibrio ácido-base del cuerpo. Fijan cierto porcentaje del CO₂ metabólico producido por el cuerpo, en forma de carbonato cálcico ayudando así a establecer el pH celómico. El pH del intestino es estable, variando sólo entre 6.3 y 7.3, a todo lo largo de éste (Marshall y Williams, 1980).

Enzimas digestivas.

Entre las enzimas secretadas por el intestino de los Oligoquetos, están la proteasa, lipasa, amilasa, liquenasa, celulasa y quitinasa (Marshall y Williams, 1980).

Microorganismos como alimento.

Una amplia variedad de microorganismos incluyendo bacterias, algas, protozoarios, actinomicetos, hongos y aún nemátodos, se encuentran a lo largo del intestino de las lombrices de tierra. Las especies de microbios en el intestino son muy similares a aquellas que se encuentran en el suelo o en la materia orgánica donde las lombrices se alimentan. Esto es una evidencia de que las lombrices de tierra dependen de los microorganismos para alimentarse; si los microorganismos fueran usados para digerir el alimento, las especies encontradas en el intestino probablemente serían diferentes de aquellas especies en el suelo circundante (Edwards y Fletcher, 1989; Lavelle *et al.* 1995).

Respiración.

Las lombrices de tierra no tienen órganos especializados para la respiración. El oxígeno y el CO₂ se difunden a través de los tejidos de la cutícula y la epidermis hacia la sangre, la cual contiene hemoglobina, que es un pigmento respiratorio. Bajo la epidermis existe una red capilar que se extiende en capilares ramificados de vasos sanguíneos (Edwards y Bohlen, 1996). En las especies terrestres, la superficie debe mantenerse húmeda para que se disuelva el oxígeno y este pase por difusión a la epidermis; y esta imprescindible continuidad de esta humedad se logra a través de excreciones producidas por glándulas mucoides y por el líquido celómico que sale por poros dorsales del cuerpo (Marshall y Williams, 1980).

Reproducción.

Las lombrices de tierra son hermafroditas (y muchas especies pueden desarrollarse partenogénicamente). El sistema reproductor se encuentra solo en determinados segmentos; por ejemplo en *Lumbricus*, los testículos que son pares y que se encuentran encerrados en una bolsa testicular, se ubican en los segmentos 10 y 11,. Unas expansiones de esta bolsa sirven de sacos espermáticos donde maduran los gametos expulsados por los testículos. De cada bolsa testicular parte un par de espermiductos que se dirigen hacia los gonóporos masculinos situados en la cara ventral del segmento 15. Los ovarios están situados en el segmento 13. En la reproducción desempeña un papel importante el clitelo. Los gonóporos masculinos están conectados con el clitelo por dos surcos situados en la cara ventral y que secretan abundante mucus.

En la cópula, dos individuos entran en contacto por su cara ventral con las cabezas dirigidas en sentido opuesto (Figura 3). Entonces las dos lombrices expulsan los espermatozoides, donde son recibidos y almacenados en las espermatecas, después las lombrices se separan. Seguidamente, el clitelo de cada gusano secreta una vaina de mucus que es impelida hacia delante por los movimientos peristálticos de la pared del cuerpo. Cuando esta vaina mucosa pasa por el segmento 14, numerosos óvulos salen del gonópodo femenino y son englobados por el mucus, después los espermatozoides de la otra lombriz se depositan en ella. La fecundación se realiza, dentro de la vaina de mucus, y cuando está se desliza por el extremo anterior del animal los extremos abiertos se cierran herméticamente y así se forma el capullo donde quedan depositados varios huevos de los que saldrán varias lombrices juveniles con un desarrollo directo sin pasar por un estadio larvario (Marshall y Williams, 1980; Weisz, 1974).

Ciclos de vida.

Las lombrices de tierra se reproducen continuamente o semi-continuamente, produciendo huevos casi todo el año. Estos huevos están contenidos en capullos, los cuales difieren en forma y tamaño dependiendo la especie. Generalmente, las lombrices depositan sus capullos cerca de la superficie si esta se encuentra húmeda, pero cuando esta se encuentra seca, lo harán en capas más profundas del suelo. Pueden producir capullos todo el año, pero casi la mayoría de las especies de lombrices producen capullos cuando los factores ambientales tales como la temperatura, humedad del suelo, alimento, etc., son los adecuados. Debajo de los 3 °C no se producen capullos. En cuanto a la falta de humedad, los lumbricidos que pertenecen al género de *Eisenia* y algunas especies de *Allolobophora* pueden presentar una diapausa facultativa, durante las estaciones secas y así disminuir la producción de capullos (Edwards y Bohlen, 1996).

El número de capullos producidos en una determinada época del año difiere mucho con la especie y el clima. Edwards (1988) reportó que *Dendrobaena veneta* podría producir 84 capullos por año; *Eudrilus eugeniae*, 188; *Eisenia fetida*, 198; y *Perionyx excavatus*, 1014.

Satchell (1971) señala que hay una correlación directa entre el número de capullos producidos por una especie y la exposición adversa de esta especie a factores ambientales tales como la desecación, los extremos de temperatura y la depredación. En otras palabras, aquellas especies que están regularmente expuestas a peligros ambientales, normalmente tienden a producir más capullos, lo que les permite sobrevivir a estas condiciones. Por esto, aquellas especies que viven en, o se mueven en las capas profundas del suelo y que están protegidas, como *L. terrestris*, producen pocos capullos, mientras que aquellas especies que viven cerca de la superficie, como *L. rubellus* y *E. fetida*, las cuales están más expuestas, producen muchos más capullos. Ya que los capullos pueden resistir la desecación y el frío, ellos permiten que las poblaciones de lombrices sobrevivan a las condiciones adversas.

El tiempo que toman los capullos para eclosionar varía considerablemente entre las especies. Los capullos de *Eisenia fetida* tardan en eclosionar de 32 a 73 días (Edwards, 1988); claramente, la producción y tiempo de maduración de los capullos varía entre las especies, la densidad poblacional, la edad, el tipo de alimento disponible, la humedad y la temperatura (Figura 3).

El período de vida de los lumbricidos maduros en el campo, es probable que no sea más de unos pocos meses, debido a que están expuestos a muchos peligros, sin embargo su potencial de longevidad es de 4-8 años. En condiciones de cultivo, los individuos de *E. fetida* han vivido por 4½ años, y *L. terrestris* por 6 años, aunque en el campo es poco probable que se alcancen tales edades. Se deben esperar tiempos largos para que maduren las lombrices si las condiciones en el cultivo son pobres o no son las adecuadas.

Edwards (1988) reporto que de las especies de lombrices que se cultivan, solo *Eisenia fetida* produce más de una lombriz por capullo, promediando 3.3 crías por capullo.

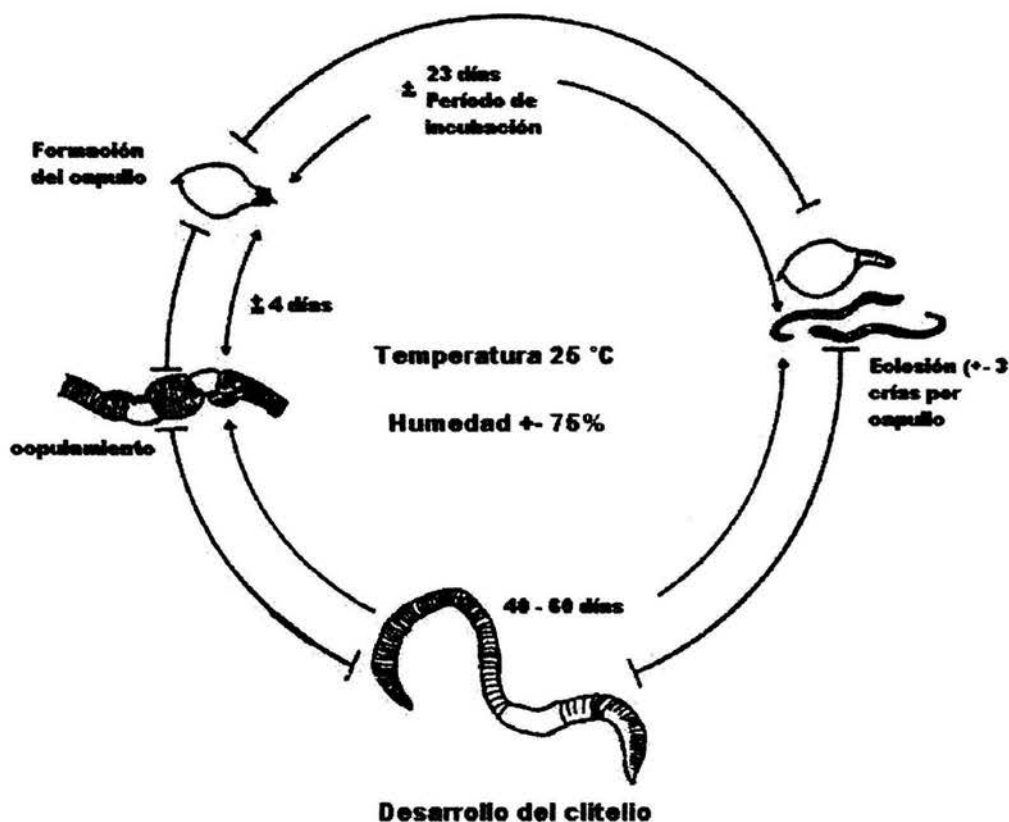


Figura 3. El ciclo de vida de la especie epigea *Eisenia fetida*. (Fuente: Reinecke *et al.*, 1992)

Ecología.

Las lombrices de tierra se encuentran en la mayoría de los suelos de ecosistemas tropicales y templados, excepto en regiones áridas y semi-áridas, en áreas con hielo y nieve, cadenas montañosas y en zonas con una falta total de suelo y vegetación. Tales condiciones ambientales son barreras naturales, así como el océano, debido a que la mayoría de las especies de lombrices no pueden tolerar el agua salada (Edwards y Bohlen, 1996).

En general, se pueden encontrar lombrices, donde el agua de lluvia mantenga húmedos los suelos de tres a cuatro meses al año. Sin embargo, dadas las extensas modificaciones de los suelos y las tremendas alteraciones de la vegetación causadas por la actividad del hombre, las lombrices pueden estar ausentes en áreas donde uno podría

esperar encontrarlas, o presentarse donde uno no esperaría, como por ejemplo en los suelos irrigados de las regiones desérticas. Además numerosas especies han alcanzado una distribución cosmopolita a través del transporte humano de suelos y plantas. Estas lombrices llamadas “peregrinas” pueden remplazar a la fauna endémica de lombrices de una región (James, 1996).

Las especies “peregrinas” de la familia Lumbricidae (entre las que se incluye *Eisenia*) están ampliamente distribuidas en el mundo, particularmente en la zona templada del hemisferio sur. Ellas se encuentran en México, Centroamérica, Sudamérica, el sur de África, India, Australia y Hawai, así como en muchas islas del océano Atlántico e Indico. Estas especies tienen la habilidad para vivir en ambientes que están constantemente perturbados por las actividades culturales y agrícolas del hombre. El término hemerofílico ha sido designado para aquellas lombrices que pueden tolerar la presencia y actividades humanas, y hemerofóbico para aquellas que no pueden (Edwards y Bohlen, 1996; Doube y Schmidt, 1997). Los caracteres especiales de las lombrices “peregrinas” incluyen: potencial para el hermafroditismo, la adopción de una herencia poliploide, tolerancia a la variabilidad en el ambiente, especificidad de hábitat, oportunismo en la elección del alimento, habilidad para soportar el estrés químico, asociación a suelos agrícolas y plasticidad ecológica (Edwards y Bohlen, 1996).

De acuerdo con la clasificación de Bouché, (1977) los lumbricidos pueden ser divididos en tres principales categorías ecológicas: epígeas, endógeas y anécicas. Hay especies transicionales, las epiendógeas.

El principio por el cual se clasifican a las lombrices está basado en su comportamiento, y en la profundidad del suelo donde pasan su mayor parte de vida y actividad (Figura 4).

Las lombrices de tierra son saprofitas. De acuerdo a sus estrategias alimenticias, se pueden diferenciar en: detritofagas y geófagas.

- *Eisenia fetida* Savigny (Werner, 1990), y la mayoría de las especies composteadoras son epígeas detritofagas, ya que se alimentan principalmente de pura materia orgánica en descomposición (Aranda *et al.*, 1999). Se caracterizan por su tamaño corporal pequeño, poseen una fuerte pigmentación y un débil sistema muscular. Estas lombrices son estratégicas-r, con un bajo potencial competitivo y una tasa reproductiva alta y rápida. Con esta estrategia, ellas están bien adaptadas a la superficie del suelo con sus rápidos cambios climáticos (Brown, 1994). Además estas especies muestran una gran afinidad por el N. También estas lombrices son componentes de los suelos tropicales. Con la pérdida de los bosques naturales, ellas colonizan las plantaciones agrícolas (Kale, 1998; Doube y Schmidt, 1997).

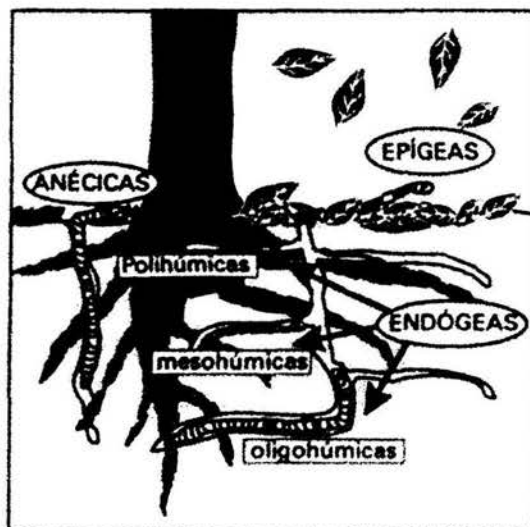


Figura 4. Clasificación ecológica de las lombrices de tierra. (Fuente: Capistrán *et al.* 1999).

El volumen de suelo y la microflora y fauna que son influenciados por las lombrices de tierra se llama “Drilosfera” (Figura 5) (Brown, 1994; Lavelle *et al.*, 1994). Estas participan en las funciones del suelo a través de la drilosfera. Y como resultado de sus procesos de digestión y creación de estructuras, la composición, estructura e importancia relativa de la drilosfera está determinada por el clima, parámetros edáficos y calidad de los inputs orgánicos (Lavelle *et al.*, 1998).

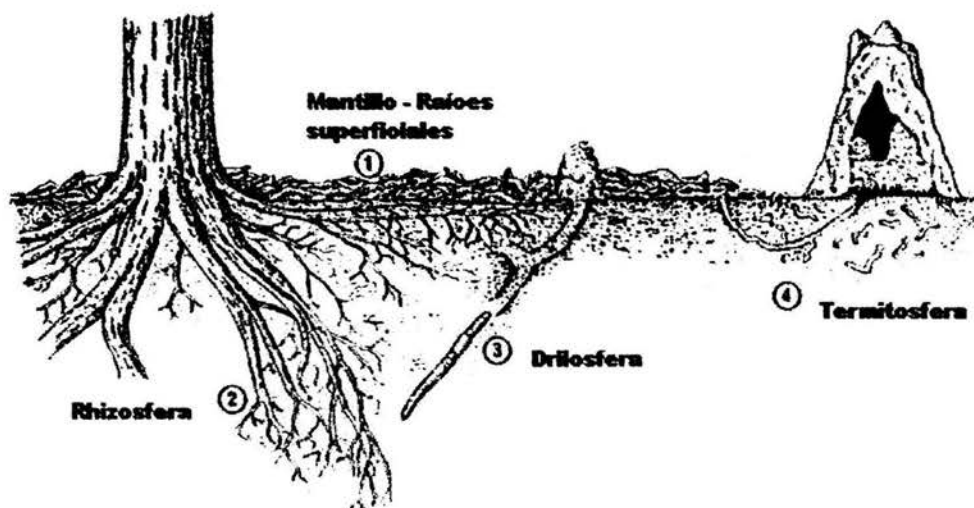


Figura 5. Los cuatro principales sistemas biológicos de regulación, entre ellos la “drilosfera”. (Fuente: Lavelle *et al.*, 1992).

Se encuentra más abundancia y biomasa de lombrices en los pastizales, donde existe un buen suministro de alimento y agua. La baja presencia de lombrices en los suelos resulta de una alta acidez, baja calidad de la hojarasca, y una limitada disponibilidad de suelo. (Makeschin, 1997).

Principales factores que afectan la abundancia de las lombrices en los suelos.

Debido a su frágil cuerpo, su modo de vida, y a su limitada movilidad espacial, las lombrices de tierra son muy susceptibles a muchos factores bióticos y abióticos que afectan a sus condiciones de vida y actividad en el suelo. Entre los factores que afectan a las poblaciones de lombrices se encuentran (Agronomy Technical Note No. 11, 2001):

Alimento.

Hay poca duda de que las poblaciones de lombrices de tierra están limitadas por el alimento, esto se evidencia con el hecho de que las poblaciones aumentan después de la adición de abonos orgánicos (el abono y excremento de ganado tienen efectos positivos sobre las densidades y actividades de las poblaciones de lombrices) en hábitats perturbados con poca cantidad de materia orgánica (Doube y Schmidt, 1997). La principal fuente de materia orgánica de la cual las lombrices se alimentan es la hojarasca (litter), aunque las raíces muertas y la rhizodepositación también pueden ser importantes fuentes (Curry, 1998). Generalmente el contenido en N en el alimento es de gran importancia y puede ser un indicador útil de la calidad del alimento de la materia orgánica en diferentes ecosistemas tanto templados como tropicales.

Humedad.

Para que las lombrices sean muy activas, debe existir suficiente agua y oxígeno para la respiración. Hay condiciones óptimas en cuanto a humedad, cuando los poros de tamaño fino y mediano en el suelo están llenos de agua (Makeschin, 1997).

Temperatura del suelo.

Las lombrices de tierra son poiquiloterms, y las temperaturas óptimas para las especies de climas templados son entre 10° y 18 °C. La actividad de las lombrices disminuye debajo de los 5 °C. Generalmente, mientras más altas sean las temperaturas en el suelo, menor es la tolerancia de las especies de lombrices a las altas tensiones hídricas (Makeschin, 1997).

pH.

Los nervios segmentales localizados en la epidermis, actúan como quimiorreceptores y permiten a las lombrices reaccionar a los cambios de pH en la solución del suelo. Estas no se presentan en suelos muy ácidos (pH <4) y en suelos muy alcalinos (pH >8) y son más abundantes en suelos con pH entre 6.0 y 7.0 (Doube y Schmidt, 1997). Las especies endógeas reaccionan muy fuerte a los cambios de pH en la solución del suelo, mientras que los adultos que habitan en la superficie no muestran cualquier efecto. Los Lumbricidos están agrupados en tres categorías de acuerdo al pH (Figura 6). Bouché (1977) las distinguió como especies “acidófilas” (pH <6), “neutrófilas” (pH 6-7), y “basófilas” (pH >7). Las “basófilas” comprenden principalmente a las especies que habitan en los suelos agrícolas, mientras que las ácido-tolerantes viven en las capas orgánicas ácidas de los bosques y praderas.

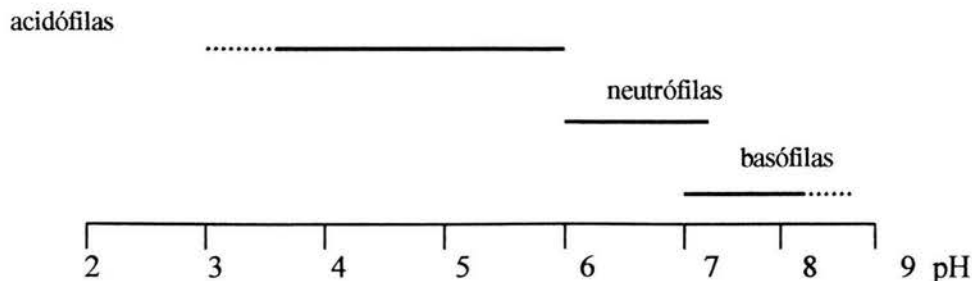


Figura 6. Clasificación de las lombrices de tierra en relación al pH del suelo. (Fuente: Bouché, 1977).

Competencia.

Las poblaciones de lombrices pueden ser influenciadas por cualquier animal cuyas actividades afecten sus condiciones de hábitat y suministro de alimento, por ejemplo las termitas pueden influenciar drásticamente la naturaleza y calidad de materia orgánica disponible para las lombrices en los suelos tropicales (Curry, 1998).

Se piensa que la competencia interespecífica tiene un importante papel en la determinación de la estructura de las comunidades de lombrices, porque a pesar de la relativa escasez de especies (1-16) en la mayoría de los ensambles de lombrices de tierra, existe una considerable separación de los nichos ecológicos, demostrando adaptaciones que permiten la coexistencia de especies potencialmente competitivas.

4.5 Abonos orgánicos y compostas.

A los abonos orgánicos pertenecen todas aquellas materias de origen vegetal o animal que se aplican al suelo como fertilizantes. Los abonos verdes, los residuos de las industrias vegetales, etc., se clasifican entre los abonos orgánicos de origen vegetal. El estiércol, la sangre animal, los residuos de lana, los desechos de las industrias pecuarias, etc., se clasifican entre los abonos orgánicos de origen animal. Además de los abonos orgánicos, existen los abonos órgano-minerales que son productos sólidos obtenidos por la mezcla de abonos minerales y orgánicos, y los mejoradores o enmiendas orgánicas que pueden ser sustancias húmicas (sólidas y líquidas), compostas y turbas (Romero Lima, 2000). La aplicación constante de ellos, con el tiempo, mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo y sanidad de los cultivos (Trinidad, 1999).

El valor de los abonos animales en especial el estiércol dependerá de su contenido en nutrientes para las plantas (elementos mayores y trazas) y su efectividad como agentes conservadores y constructores del suelo. El contenido de nutrientes es el criterio que más a menudo se usa en su valoración, sin embargo, el contenido de materia orgánica, dado su efecto sobre los microorganismos del suelo y su estructura, puede tener un valor (sobre algunos suelos) equivalente al contenido de nutrientes, ya que estos microorganismos necesitan la materia orgánica como fuente de energía para su vida.

En la relación suelo-planta el abono nos proporciona las siguientes ventajas (Núñez, 2000):

- Favorece el desarrollo y las actividades de las poblaciones de microorganismos en el suelo.
- Aumenta la desintegración de compuestos o sustancias en el suelo, efectuada por los microorganismos durante el proceso de transformación en minerales solubles, capaces de ser absorbidos por la planta.
- Provee de sustancias nutritivas a la planta.
- Mejora la bioestructura del suelo.
- Aumenta la capacidad de infiltración del agua reteniendo la humedad del suelo.
- Contribuye a que las plantas sean fuertes y toleren bien el ataque de plagas y enfermedades.

También trae otros beneficios adicionales (Capistrán *et al.*, 1999):

- Contribuye a controlar la erosión, que de otra forma lavaría las capas superficiales del suelo hacia los ríos y corrientes de agua.
- Puede complementar y a veces sustituir el uso de los fertilizantes químicos.
- Nos puede hacer ahorrar dinero al eliminar la necesidad de comprar agroquímicos.

Así que se puede decir que la única forma de mantener o mejorar el contenido de materia orgánica del suelo y por consiguiente el C orgánico fijado es mediante el uso de abonos orgánicos (Trinidad, 1999).

Estiércoles.

El estiércol está formado por una mezcla de la cama de los animales (paja, virutas de madera, turba o aserrín) y de deyecciones, que han sufrido fermentaciones (muy activas que elevan su temperatura hasta 60-80 °C) más o menos avanzadas en el establo y después en el estercolero. (Canovas *et al.*, 1993).

Los estiércoles de granja y los purines son, por desgracia, considerados por muchos agricultores como simples subproductos inevitables de su sistema de explotación agrícola que les ocasionan grandes problemas de almacenaje y de eliminación. Sin embargo, si los estiércoles y los purines se elaboran bien en compostas, se incorporan y se extienden uniformemente en las tierras agrícolas, pueden mejorar su fertilidad no sólo el año siguiente a su aplicación, sino también a largo plazo (Simpson, 1991).

Funciones de los estiércoles.

Los estiércoles desempeñan 2 funciones importantes: aportan nutrientes y aportan materia orgánica.

Los estiércoles como fuente de nutrientes. Los estiércoles de los distintos animales varían considerablemente en contenido de la cantidad de nutrientes. La concentración de nutrientes en los estiércoles es muy escasa si se compara con la de los abonos. Una tonelada del estiércol de granja aporta N, P y K en cantidades parecidas a sólo 50-100 kg de uno

cualquiera de los actuales abonos compuestos concentrados. No obstante, los estiércoles también aportan importantes cantidades de calcio, magnesio, azufre y oligoelementos, todos los cuales faltan en los actuales abonos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Otros elementos aportados por el estiércol de granja.

Elementos mayores	(kg/t)	Oligoelementos	(g/t)
<i>Calcio</i>	7 – 10	<i>Manganeso</i>	50 – 100
<i>Magnesio</i>	2 – 3	<i>Zinc</i>	20 – 40
<i>Azufre</i>	2 – 3	<i>Boro</i>	10 – 15
		<i>Cobre</i>	10 – 12
		<i>Cobalto</i>	0.8 – 1.2
		<i>Molibdeno</i>	0.4 – 0.7

Fuente: Simpson, 1991.

Una comparación de la composición de diferentes abonos animales orgánicos se muestra en el Cuadro 6.

Los estiércoles como fuente de materia orgánica. Cuando se incorporan al suelo, su materia orgánica es descompuesta y transformada por microorganismos. Fracciones de materia orgánica son convertidos en humus, materia orgánica muy compleja y de color negro o pardo oscuro en estado coloidal que queda en el suelo.

Composteo

El composteo es un método con el cual se pueden transformar residuos orgánicos a abonos orgánicos en tiempos relativamente cortos en comparación a los procesos naturales, de esta manera se reducen los problemas de espacio (por el área que ocupan los desperdicios), de manejo de desechos frescos y de contaminación ambiental. El cual genera un producto con valor económico y con propiedades nutritivas para el desarrollo de los cultivos (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1998). La composta aporta nutrientes para las plantas, modifica características físicas, químicas y biológicas del suelo. Además reduce el costo de la producción vegetal mediante el uso de compostas elaboradas con residuos generados en el área de cultivo y se minimiza la dependencia de insumos externos.

La producción de compostas es una actividad de gran importancia en el desarrollo de todo tipo de agricultura, pero especialmente en la orgánica.

El composteo puede clasificarse en varios tipos:

- Por el grado de aireación: aeróbico o anaeróbico,
- Por la temperatura: mesofílico y termofílico,
- Por el tipo de tecnología: mecanizada o no mecanizada y composteo en pilas (Machuca, 1994).

Cuadro 6. Composición de distintos abonos orgánicos.

<i>Determinación</i>	<i>Bovino</i>	<i>Ovino</i>	<i>Gallinaza</i>	<i>Conejo</i>
Humedad %	28-45	68.0	5-55	/
pH	7.5-8.6	7-8.5	7.0-7.8	7.0-7.5
Nitrógeno %	1.0-3.0	3.75	2.5-5.0	2.4
Fósforo %	0.2-1.0	1.87	1.0-3.5	1.4
Potasio %	1.0-4.0	1.25	1.5-4.0	0.6

Fuente: Pequeño Pérez, 1966; Romero Lima, 2000; Rabbit manure fertilizer values.

Materiales de composteo.

Prácticamente cualquier material vegetal o animal se descompondrá en una pila de composteo. El material verde fresco se descompone muy rápidamente, la paja y el material leñoso tardan más, el cuero y los huesos se descomponen muy lentamente y necesitan pasar por varias pilas para descomponerse por completo, en estos casos se recomienda triturar o moler estos materiales. La producción de compostas se facilita siempre que se elabore con una variedad de desechos (Cuadro 7). Se puede utilizar todo lo referente a residuos domésticos, podas de jardín, cultivos, ganado, agroindustria y basuras urbanas (Dalzell *et al.*, 1991) (citado por Ferrera-Cerrato *et al.*, 1998).

La transformación de la composta implica un conjunto muy complejo de procesos naturales, en donde los compuestos químicos que formaban parte de los organismos vivos (proteínas, carbohidratos, grasas), se fraccionan y se convierten en otras más simples (como cationes, sales minerales, ácidos húmicos).

Cuadro 7. Materiales útiles para el composteo

<i>Clasificación de materiales de composteo</i>	
Subproductos pecuarios	Estiércol, purín, camas de establos, forraje dañado, lana, etc.
Subproductos pecuarios	Basura, desperdicios domésticos, tierras cloacales, orina y excremento humano, aguas negras, fango, desperdicios de rastros, desperdicios sólidos y líquidos de factorías, etc.
Subproductos agrícolas	Paja, cáscaras, tallos, ramas, hierbas, hojas, malezas, bagazo de caña, residuos de té, algodón, vid, cacao, yute, seda pulpa de café, cáscara de coco, etc.
Subproductos silvícolas	Aserrín, etc.

Fuente: Ferrera-Cerrato R., *et al.* 1998.

En esta transformación participan numerosos grupos microbianos termofílicos y mesofílicos. También, la macrofauna puede intervenir en el proceso de fragmentación de la composta (Ferrera-Cerrato, *et al.*, 1998). Estos microorganismos son los que modifican la

materia orgánica de la composta; comen, trituran, mezclan y transforman esta materia (Figura 7) (Capistrán *et al.*, 1999).

En general la composición nutrimental de las compostas va a ser menor a la de los estiércoles. En compostas comerciales de México, el contenido nutrimental varía de 0.1 a 1.2 % de N, de 0.15 a 0.99 % de P_2O_5 y de 0.24 a 0.8 % de K_2O (Cruz, 1986) (citado por Romero Lima, 2000).

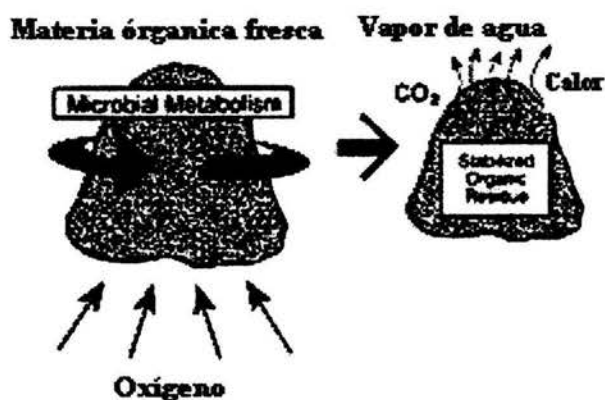


Figura 7. Transformación de la materia orgánica durante el composteo

Cuidados básicos de una composta.

Un sistema de composteo consiste de tres partes fundamentales:

- recepción de materiales y pretratamiento;
- el proceso de composteo; y
- el postratamiento de la composta.

El primero de estos es donde los materiales son recibidos, triturados y mezclados para dar un óptimo balance nutrimental, estructura y contenido de humedad. El postratamiento es para la eliminación de componentes no deseados o para la preparación de su venta comercial (Stentiford, 1996).

Para que el compostaje se realice eficientemente se requiere vigilar estos aspectos primordiales (Capistrán *et al.*, 1999):

- Agua: los microorganismos de una composta viven y se desarrollan siempre en un medio húmedo, por lo que si el agua escasea, el compostaje se detiene o se retrasa. Es necesario mantener el sustrato con más de 40 %, cuando el contenido de agua está por debajo del 30 %, las reacciones biológicas en una pila de composta se retardan. El contenido óptimo de humedad es de 50 a 60 % (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1998).
- Aire: el proceso de composteo debe realizarse de manera aeróbica, ya que los microorganismos que intervienen, respiran oxígeno y expelen bióxido de carbono. Si la cantidad de oxígeno se limita, el composteo se desarrolla lentamente.

- **Nutrientes:** casi cualquier materia orgánica fresca contiene la mayoría de los elementos minerales, pero de todos ellos es el nitrógeno el que debe encontrarse en una proporción adecuada y suficiente.
- **pH:** el pH determina las especies y el desarrollo de los organismos y microorganismos encargados del fraccionamiento del material orgánico. La descomposición de la materia orgánica se incrementa cuando los valores de pH se encuentran cercanos a la neutralidad, pH = 7 (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1998).
- **Temperatura:** la temperatura está muy relacionada con la maximización de la tasa de descomposición de la materia orgánica (a través de la optimización de la tasa de descomposición microbial). Esta maximización se realiza por medio de la eliminación deliberada de calor a través de la ventilación, esto con el fin de alcanzar un límite operacional de 60 °C. El ecosistema microbiano en la composta tiende a auto-limitarse vía acumulación excesiva de calor generado metabólicamente. A menos que se controle este calor, la composta puede llegar a 80 °C, en donde la tasa de descomposición es extremadamente baja. Esto va estar relacionado directamente con la operación y la eficiencia-costo del composteo de los desechos orgánicos (Finstein, 1984).
- **Relación C/N:** una de las principales propiedades que intervienen en la producción de compostas es la relación C:N. Se considera que un rango de 25:1 a 30:1 es ideal para el desarrollo del composteo. Sin embargo, los substratos orgánicos presentan amplia variación respecto a este parámetro. Mientras más alejadas estén las materias primas y del procesado de las ideales, más lento será el composteo y peor el producto. Para acelerar la transformación en substratos con relaciones superiores de 30:1, será necesario aplicar materiales cuya relación C:N sea más estrecha (<20:1), esto con el fin de mejorar la composición química de la pila y la estructura física de la pila, inducir el crecimiento de microorganismos y reducir la pérdida de nitrógeno.

El Cuadro 8 muestra las condiciones recomendables para agilizar el proceso de composteo.

Cuadro 8 . Condiciones recomendables para agilizar el proceso de composteo.

Factor	Rango recomendable	Rango preferible
Relación C:N	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Contenido de agua	40 – 65 %	50 – 60 %
Concentración de oxígeno	>5 %	>5 %
Diámetro de partícula	0.3 – 1.3 cm	variable
pH	5.5 – 9.0	6.5 – 8.0
Temperatura	40 – 65 ° C	55 – 60 ° C

Fuente: Ferrera-Cerrato R., *et al.* 1998.

Hay varios métodos de composteo, pero la clave de un composteo adecuado, es que el método que se elija sea sencillo y pueda llevarse a cabo con la mano de obra, la capacidad y los medios económicos disponibles.

Hay que tomar en cuenta:

- a) el tipo de desecho disponible, su facilidad de descomposición y la presencia de organismos patógenos,
- b) la cantidad de material que hay que elaborar,
- c) el costo permisible en términos de mano de obra, equipo, espacio y
- d) el uso que se va a dar a la composta.

La cantidad de material disponible determina el tamaño de la pila, a condición de que el aire penetre fácilmente en la masa. El tamaño no debe sobrepasar normalmente 1.5 m de altura y 2.4 m de ancho en sección transversal (Figura 8). La altura disminuye a medida que avanza el composteo.

Si la pila es muy alta, ésta será comprimida por su propio peso, reduciendo así el espacio entre huecos. Esto puede significar un período más extenso de composteo si se desarrollan condiciones anaeróbicas. Pilas grandes en climas calientes, presentan elevación de temperatura en exceso para la vida bacteriana. Si las pilas son muy bajas, se calientan rápidamente, no obteniéndose las temperaturas óptimas, además de que pierden humedad.

Para asegurar que el proceso de composteo se lleve a cabo en forma aeróbica, se necesita remover o voltear la pila. Los volteos van a depender directamente de la humedad que presenta la composta, a mayor cantidad de volteos se reduce el tiempo del proceso. Entre más frecuente sea el volteo, más rápido será el proceso y más corto el tiempo requerido para la descomposición del material (Machuca, 1994).

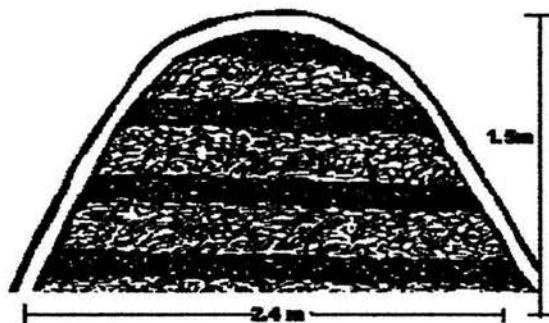


Figura 8. Dimensiones adecuadas de una pila de composteo.

Evaluación de la estabilidad de la composta.

La aplicación en el campo de materiales orgánicos insuficientemente estabilizados pueden influir negativamente en el desarrollo de los cultivos. Por ejemplo la utilización de estiércol fresco en la fertilización. También la aplicación de composta inmadura interfiere en el crecimiento vegetal debido a la inmovilización del nitrógeno cuando la tasa C/N causa la competencia entre las raíces y los microorganismos del suelo por el N disponible; a la toxicidad de los componentes nitrogenados cuando la tasa C/N es baja, etc. Otros factores que también inhiben el crecimiento vegetal, pueden ser: la deficiencia de oxígeno para las raíces, cuando cantidades excesivas de oxígeno son utilizados por los microorganismos que se encuentran metabolizando la materia orgánica (Barberis, 1996).

Los métodos que pueden ser utilizados para evaluar la estabilidad de la composta son los siguientes:

- determinación de sustancias húmicas.
- Proporción C/N.
- Contenido de polisacáridos fermentados (determinación de carbohidratos).
- Temperatura.
- Índice de mineralización de nitrógeno.
- Tasa de respiración

4.6 Lombricompostaje

En México el desarrollo de la lombricultura como una actividad productiva se inicia a partir de 1996, y la investigación a partir de 1980, su establecimiento ha sido lento y difícil, debido a que la transferencia de tecnología no se ha dado al lado de la investigación (Martínez, 2000). En el país existe un área de producción cercana a las diez hectáreas, de las cuales se calcula que generan un volumen de producción anual cercano a las 10 000 toneladas anuales debido a que el 90 % de estos proyectos se desarrollan en unidades familiares y en escalas que van desde una rejilla o una caja de madera hasta 100 m², un 7 % de la producción se desarrolla en proyectos que van de los 100 a los 1000 m² considerados como proyectos en mediana escala, la diferencia corresponde a los proyectos a escala comercial que abarcan más de 1000 m². en cuanto a la investigación, han participado instituciones como el CONACYT (financiando proyectos de investigación de taxonomía y de metodología para el análisis básico tanto de la lombricomposta y la carne de lombriz), el departamento de Biología de Suelos del Instituto de Ecología A.C., el Colegio de Postgraduados de Montecillos (a través del área de Microbiología del Instituto de Recursos Naturales), la Universidad Veracruzana, la Universidad de Guanajuato, la Universidad Autónoma Chapingo, el Colegio de la Frontera Sur, la UNAM, el IPN, entre otras. Mucha de esta investigación se genera a nivel de laboratorio o invernadero y se ha orientado en un 80 % a la producción de abono y hacia el manejo de desechos de la industria cafetalera, o bien a resultados en campo de la aplicación de dicho abono (Martínez, 1999).

Concepto.

El lombricompostaje puede definirse como la cría masiva, sistemática y controlada de lombrices. Esta técnica es una modificación de la producción de compostas, en el cual se utilizan lombrices composteras para acelerar la transformación y mineralización de residuos orgánicos, y que los conviertan en abono para las plantas (Capistrán *et al.*, 1999; Ferrera-Cerrato *et al.*, 1998; Aranda *et al.*, 1999).

El abono producido por este proceso es de gran calidad, completo, y de fácil manejo; es ideal para la fruticultura, floricultura, viveros, horticultura y agricultura en general (Bellapart, 1996).

Abono de lombriz.

¿Pero que es el abono de lombriz? Este no es sino el conjunto de las excretas, turrículos o heces fecales de las lombrices; el cual se caracteriza por ser un sustrato estabilizado de gran uniformidad y con una excelente estructura física, porosidad, aereación, drenaje y capacidad de retención de humedad, rico en nutrientes, hormonas, enzimas y poblaciones de microorganismos. Además de que está libre de semillas de malezas y es rico en componentes húmicos, creando un eficiente y valioso mejorador de suelos (Capistrán, 1999; Blanchart *et al.* 1999; Aranda *et al.*, 1999).

Análisis del compost de las lombrices revelan un enriquecimiento en minerales convertibles o asimilables; si los comparamos con la comida que han tomado las lombrices: contienen 2 veces más de calcio, 11 veces más de potasio, 3 veces más de magnesio. Los nitratos aumentan 5 veces y los fosfatos 7 veces más. La cantidad de enzimas es 5 veces superior a la que contiene el estiércol normal y la carga bacteriana es superior a la de un estiércol, pues la carga bacteriana en un estiércol normal es del orden de $10^5 - 10^6$ *microorganismos/gramo*, mientras que la carga bacteriana de un humus de lombriz es del orden de $10^{10} - 10^{12}$ *microorganismos/gramo*. En agricultura un buen, estercolado es de 25.000 a 50.000 kg de estiércol por ha, mientras que, utilizando compost de lombriz, bastan de 1.000 a 10.000 kg por ha, en términos de igual fertilidad (Bellapart, 1996). Esto influye en los ciclos de C, N y P.

El contenido de nutrientes va a estar en función del desecho que consume la lombriz, por ejemplo el contenido de N en la vermicomposta obtenida de paja de gramíneas será diferente al de residuos de leguminosas o estiércoles (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1998; Syers y Springett, 1984), por lo tanto puede ser un producto muy rico en nutrientes como puede no serlo, sin embargo lo que es importante es el contenido de microorganismos, esta característica le permite ser utilizado como mejorador de suelo, dando como resultado un incremento en la flora microbiana lo que favorece el control biológico microbiano. Por ejemplo Kale *et al.* (1992) demostraron que la aplicación de vermicomposta a campos de arroz de la variedad *Oryza sativa*, aumentaba significativamente las poblaciones de microorganismos fijadores de nitrógeno, de formadores de esporas, de actinomicetos y micorrizas simbióticas; además de que aumentaba la absorción de macronutrientes por los tallos de las plantas. Así mismo las tasas de nitrificación y denitrificación pueden ser más altas en los turrículos que en el suelo, indicando que la actividad microbiana es estimulada por el paso a través del intestino de la lombriz (Daniel y Anderson, 1992).

El Cuadro 9 muestra el contenido de nutrientes presentes en lombricompostas de diferentes sustratos.

Cuadro 9. Principales nutrientes de las plantas en lombricompostas de diferentes sustratos.

<i>Sustrato</i>	<i>N %</i>	<i>P %</i>	<i>K %</i>	<i>Ca %</i>	<i>Mg %</i>
Bovino (Méx)	1.5-2	0.67-0.72	1.23-1.22	1.0-3.8	1.10-1.70
Ovino (Cuba)	1.51	0.64	0.78	4.40	1.37
Conejaza (Cuba)	1.23	0.28	0.67	—	—

Fuente: Capistrán *et al.* 1999.

¿Qué especie de lombriz se debe utilizar?

Las principales características que debe reunir una lombriz para su utilización en el lombricompostaje son:

1. Ciclo biológico corto y rápido desarrollo. Esto permite obtener una densidad poblacional alta en menos tiempo.
2. Alta voracidad.
3. Tolerante a situaciones de estrés y manipulación.
4. Adaptabilidad. La lombriz que se utilice debe tener la capacidad de trabajar en condiciones que van de los 0 msnm hasta los 3000 metros de altura (Martínez, 2000).

Cinco especies de lombriz de tierra han sido identificadas para el procesamiento de los desperdicios orgánicos. Estas son: *Eisenia fetida*, *Dendrobaena veneta*, y *Lumbricus rubellus*, originarias de climas templados, y *Eudrilus eugeniae* y *Perionyx excavatus* de los tropicos (Kale, 1998; Edwards *et al.* 1984; Edwards y Bohlen, 1996). En el laboratorio se ha estudiado su crecimiento, mortalidad, supervivencia y reproducción, usando varios tipos de sustratos orgánicos. En cuanto a *Eisenia fetida* es la especie más usada en el composteo de los desperdicios orgánicos.

Hay muchas razones por las cuales se prefiere esta especie:

- Son ubicuas y muchos desechos orgánicos son colonizados naturalmente por esta especie.
- Tienen una tolerancia amplia de temperatura y pueden vivir en materiales orgánicos con diferente contenido de humedad.
- Son fáciles de manejar y se encuentran adaptadas a la vida en cautividad.
- Poseen un gran longevidad, próxima a los 16 años.
- Son muy prolíficas, acoplándose cada 7 días, en condiciones ambientales favorables. Esta especie toma de 7 a 8 semanas para alcanzar la madurez sexual, después de la cual puede producir de 2 a 5 capullos por semana ya sea mediante reproducción sexual o partenogenéticamente. Cada capullo puede producir de 1 a 7 crías, dando un potencial de producción de 15-20 juveniles por semana por lombriz adulta (Edwards *et al.* 1984).
- Poseen poca movilidad, tanto horizontalmente como verticalmente, se localizan entre 0 y 30 cm (Edwards, 1998; Ferruzi, 1994; Rivero, 1993).

Edwards (1988) estudió el ciclo de vida y las condiciones óptimas para el crecimiento y sobrevivencia de 4 especies de lombrices de tierra, entre las que se encontraban *E. fetida*, en estiércoles animales. Estas especies requirieron que los desechos fueran aeróbicos, tan pronto como estos sustratos se transformaban en anaeróbicos, ellas huían de estos. También fueron muy sensibles a sustratos con altos contenidos en amoníaco (por ejemplo: gallinaza) y morían en sustratos con altos contenidos en sales inorgánicas.

En el Cuadro 10 se muestran las condiciones óptimas para la reproducción de esta especie.

Cuadro 10. Condiciones óptimas para la cría de *Eisenia fetida* en desperdicios vegetales y animales.

<i>Condiciones</i>	<i>Requerimientos</i>
Temperatura	15-20° C (límites 4-30° C)
Contenido de humedad	80-90 % (límites 60-90%)
Requerimiento de oxígeno	aeróbico
Contenido de amoníaco en los desperdicios	bajo: < 0.5 mg/g
Contenido de sales en los desperdicios	bajo: < 0.5 %
pH	>5 y <9

Fuente: Edwards, 1998.

El éxito de un proyecto de lombricultura se basa en el manejo de los desechos que se van a utilizar. Todo desecho antes de ser entregado a las lombrices debe sufrir una etapa previa de maduración que se conoce como precomposteo para disminuir la temperatura ocasionada por la descomposición inicial y para acercar el pH a la neutralidad (Martínez, 2000; Ferrera-Cerrato, 1998), en esta etapa se deben considerar y atender los siguientes factores:

El sustrato.

Las lombrices son capaces de procesar desechos como lodos residuales, desperdicios de la industria cervecera, del procesamiento de la papa, de la industria del papel, de mercados y restaurantes, y estiércoles de ganado vacuno, ovino, de cerdos, gallinaza, de conejo y de caballo; así como residuos vegetales agrícolas, y del cultivo de setas comestibles (Edwards, 1998; Edwards y Bohlen, 1996; Rivero, 1993). También se puede utilizar paja de gramíneas, cachaza y pulpa de café (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1998; Aranda *et al.*, 1999).

Temperatura.

El desecho al ser entregado a la lombriz debe presentar una temperatura de 25 °C, que se logra con la estabilización de los desechos. En algunos casos y dependiendo de la disponibilidad de tiempo es necesario adicionar agua y aire, lo que da como resultado una mayor o menor temperatura. La temperatura óptima para *E. fetida* es de 25 °C, con una tolerancia de 0° a 35 °C. (Edwards, 1998). En la medida que se aleja de la temperatura óptima se reduce la ingestión de alimento y su función reproductora. Se señala que la máxima actividad sexual se logra cuando la temperatura del medio oscila alrededor de los 20 °C. (Hernández *et al.*, 1997; Capistrán *et al.*, 1999). En un estudio comparativo que incluía a las especies *E. fetida*, *P. excavatus* y *E. eugeniae*, Reinecke *et al.* (1992) estableció que *E. fetida* crecía bien a temperaturas de 25 °C a 37 °C, desarrollaban el clítelos a 25 °C después de 80 días y producían los capullos después de 86 días. En experimentos con estiércol de caballo en cajas petri, Kaplan *et al.* (1980) colocaron una lombriz por caja, para determinar el efecto de la temperatura sobre lombrices de la especie *Eisenia fetida*. En un rango de 20 a 29 °C, las lombrices sobrevivieron bastante bien y ganaron peso. A 33 °C, el 70 % de ellas murieron y las restantes perdieron peso.

Humedad.

Es el factor primordial ya que el 90 % de su cuerpo es agua. En aquellos lugares donde no hay agua no se puede desarrollar la lombricultura. La humedad recomendada debe oscilar entre 75 y 80 % (Capistrán *et al.*, 1999; Edwards y Bohlen, 1996). El exceso origina empapamiento y una oxigenación deficiente. Se debe regar con agua potable, sin presencia de pesticidas, herbicidas u otros agroquímicos. El pH de esta agua será neutro (Rivero, 1993).

Relación C/N.

De esta relación depende el tiempo de maduración y transformación del desecho antes de ser entregado a la lombriz, una relación alta da como resultado mayor tiempo en el proceso de descomposición. Hay que buscar una relación que favorezca la acción de los microorganismos, estos requieren de 30 partes de C por una de N, considerándose la relación óptima en 26 y 35 al inicio del proceso y finalmente debe quedar entre 20 y 10 (Martínez, 2000).

Acidez.

El grado de acidez para las lombrices composteras oscila entre 6 y 8, considerándose ideal el neutro. Un grado de acidez mayor o menor puede causar la muerte al animal. Un pH óptimo se alcanza en un tiempo corto, siempre y cuando el proceso de precomposteo se desarrolle satisfactoriamente. Kaplan *et al.* (1980) colocaron en muestras de lodos activados, con pH de 2 a 9, lombrices de la especie *Eisenia fetida* durante dos semanas; esto con el fin de determinar la influencia del pH sobre ellas. Todas las lombrices murieron a valores de $\text{pH} < 5$ o > 9 durante la primera semana. En los valores de 5 a 9, las lombrices aumentaron su biomasa; y el valor óptimo para el aumento de su peso fue de alrededor de 7.0.

Aireación.

La fermentación de los desechos que serán proporcionados a las lombrices debe ser aeróbica, de lo contrario se puede ocasionar daño a la lombriz.

Durante la fase de precomposteo se va a checar que el sustrato-alimento no presente ningún cuerpo extraño, ya sea vidrio, piedras, cuerdas de nylon, arena, etc. El sustrato se formará en una pila de fermentación, la cual permita una manipulación cómoda y una fácil penetración del agua en su interior. Se puede cubrir con plástico la pila, esto con el fin de incrementar la temperatura periférica, acelerando la maduración del alimento.

Construcción del hábitat o camas para el lombricompostaje.

En la construcción de las camas influyen aspectos como el tipo de desechos y la cantidad de los mismos (Figura. 9). Hay que tener cuidado y utilizar únicamente materiales orgánicos ya descompuestos, de forma que la temperatura interior de la mezcla sea constante, y que no exceda los 25 °C. Para corregir la acidez de un sustrato, cuyo pH aún no haya alcanzado el nivel óptimo, es suficiente añadir carbonato cálcico en polvo o en forma de gránulos. El sustrato convenientemente preparado, debe extenderse sobre toda la base del futuro lecho de las lombrices. Es conveniente remojar con agua potable toda la superficie del sustrato para que quede ligeramente humedecida (Ferruzzi, 1994).

Las camas se pueden construir bien sea de madera, ladrillos, mallas o pueden ser libres; las dimensiones van a variar dependiendo de la producción. Pueden ser de 0.50 m a 1 m de ancho, de 3 m a 20 m de largo y de 0.25 m a 0.50 m de profundidad. Estas se pueden cubrir con mallas, plástico o paja (Núñez, 2000; Rivero, 1993; Martínez, 1999).

Inoculación y aislamiento de lombrices.

El pie de cría es la cantidad de lombrices necesarias que permita efectuar la inoculación con la densidad poblacional suficiente para establecer el proceso. Se recomienda usar de 1000 a 1500 lombrices m^{-2} de cama con espesor de 35-40 cm y de preferencia que sea una sola especie. Antes de inocular las lombrices en las camas es conveniente probar la calidad, el pH y la temperatura del sustrato en el que se desarrollarán (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1998). Y así mismo realizar una prueba de supervivencia.

Prueba de pH. Es indispensable efectuar esta prueba cada vez que se recibe una nueva partida de material orgánico, esto con la finalidad de controlar su envejecimiento y su estado de descomposición. Para controlar el pH se puede utilizar papel de tornasol o un potenciómetro (pH metro) (Ferruzzi, 1994).

Prueba de supervivencia. Se llena una bandeja de 25 cm de ancho, por 30 cm de largo y 10 cm de alto, con el sustrato objeto de estudio y se añaden 20 lombrices. Estas se observan durante 24 h. Si las lombrices permanecen en el recipiente y no se sienten obligadas a emprender la huida, significa que la materia orgánica se encuentra acondicionada para su uso en la alimentación de ellas (Rivero, 1993).

Alimentación.

Independientemente de cual sea la sustancia orgánica que se desee utilizar para alimentar a las lombrices, esta debe de tener un contenido en celulosa no inferior a un 20 – 25 % en forma de paja triturada, papel o cartón. Normalmente, los estiércoles procedentes de explotaciones intensivas de pollos, gallinas y de aves en general, no son aconsejables debido a su fuerte acidez, ocasionada por la elevada temperatura de fermentación (90 °C) y el prolongado espacio de tiempo necesario (14, 15 y hasta 16 meses) para que ésta concluya y poder obtener un valor de pH 7.0 (Ferruzzi, 1994).

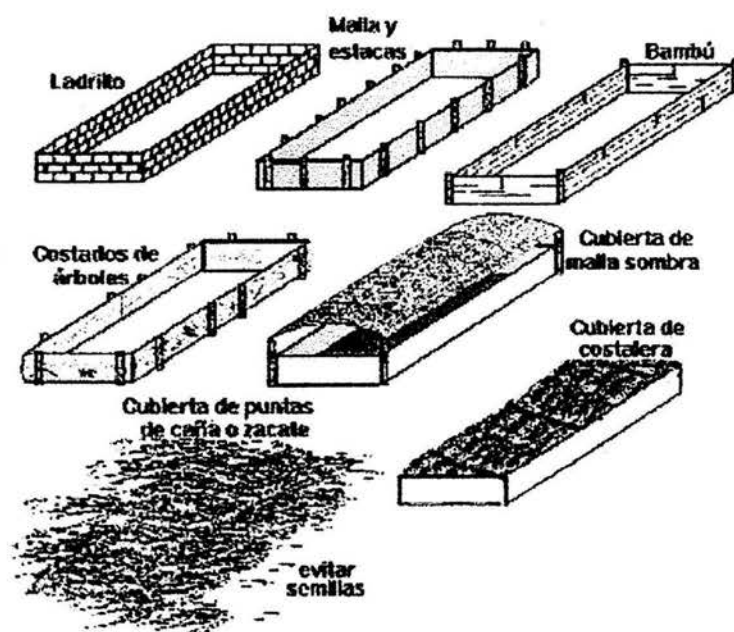


Figura 9. Diferentes técnicas para la construcción de lombricompostas. (Fuente: Capistrán *et al.*, 1999).

Edwards *et al.* (1984) estudiaron las poblaciones de microorganismos de varios desperdicios orgánicos con el fin de identificar la fuente de nutrientes para las lombrices. Estos desperdicios contenían grandes poblaciones de enterobacterias Gram. negativas, alrededor de 1×10^{10} células/gramo por peso seco y éstas eran importantes en la nutrición de las lombrices. Se encontró que los protozoarios y los hongos eran importantes componentes de la población microbiana, con números de 4×10^4 y 1×10^6 células/gramo de peso seco, respectivamente. También mostraron que ciertos hongos y protozoarios constituían una proporción significativa de la dieta de *E. fetida*. Es probable que esta especie requiera una población mixta de bacterias, hongos y protozoarios para mantener su crecimiento y reproducción normal.

Estiércol de ganado bovino. Estos son los desperdicios animales más adecuados para que se desarrollen las lombrices. Usualmente no contienen materiales que sean desfavorables para el crecimiento de las lombrices (Edwards y Bohlen, 1996). Sin embargo, Santamaría Romero y Ferrera-Cerrato (2002) encontraron que el estiércol bovino disminuía las densidades poblacionales de lombrices composteras hasta un 45 % después de la inoculación.

Estiércol ovino. Puede contener diferentes cantidades de nitrógeno, fósforo, potasio y diferentes micronutrientes necesarios para el crecimiento vegetal. Es fuente de materia orgánica para el mejoramiento de la estabilidad del suelo y el aumento de la retención de agua.

Estiércol de conejo. Constituye un alimento óptimo, si se usa en estado original o se recoge debajo de la jaula de los conejos, tiene que ser tratado y oxigenado antes de poder

ser suministrado. Debido a su peculiar estructura, se presenta como una masa compacta que carece casi totalmente de aire y de oxígeno, constituyendo un sustrato donde las lombrices, que necesitan estos dos elementos, no pueden sobrevivir (Ferruzzi, 1994).

Efecto de la lombricomposta sobre el crecimiento vegetal.

Varios investigadores han examinado la utilización de desperdicios procesados por las lombrices (lombricompostas), en la agricultura y la horticultura. Ya sean usadas como aditivos para el suelo o como componentes de un medio de crecimiento hortícola. La lombricomposta mejora el crecimiento y desarrollo vegetal, e incrementa la productividad de una amplia variedad de cultivos (Lavelle *et al.*, 1992). Este mejoramiento en la productividad y crecimiento ha sido atribuido a las características físicas y químicas de los materiales procesados. Las lombricompostas contienen nutrientes en formas que son fácilmente absorbidos por las plantas tales como nitratos, fósforo intercambiable, y potasio, calcio y magnesios solubles (Atiyeh *et al.*, 2000). Además la lombricomposta adiciona vitaminas, fitohormonas, etc. Tomati *et al.* (1988) encontraron sustancias parecidas a fitohormonas en las excretas de lombrices, estas contribuyeron a la promoción del enrizamiento, crecimiento radical y mejoramiento en el desarrollo de plantas, y también enzimas como las fosfatasa, nitrogenasa y ureasa. Estas tienen relación directa con la disponibilidad de nutrientes a las plantas.

Se han sugerido varios mecanismos por los cuales las lombrices pueden aumentar el crecimiento vegetal:

- A través de una incorporación mayor de material orgánico, el cual puede acelerar la mineralización;
- A través de un posible efecto directo de los productos metabólicos de las lombrices sobre el crecimiento vegetal (Graff y Makeschin, 1980);
- Por un mejoramiento en la aereación, relaciones hídricas, y penetrabilidad en suelos pobremente estructurados (Syers y Springett, 1984).

También hay evidencia de que la vermicomposta promueve el crecimiento de las plantas. Por ejemplo, Fosgate y Babb (1972) (citado por Edwards, 1998) criaron lombrices en estiércol de ganado vacuno y reportaron que la vermicomposta producida era de igual calidad que los sustratos o medios utilizados para la producción de flores en invernadero. Edwards y Burrow (1988) investigaron el crecimiento de varias plantas en diferentes desperdicios composteados por las lombrices, y observaron que las plantas germinaban más rápido y crecían mejor que los medios de producción comerciales. García (1996) (citado por Ferrera-Cerrato *et al.*, 1998) observó que la vermicomposta de pulpa de café mezclada con arena en relación 10:90 respectivamente, favoreció la germinación de semillas de cebolla, maíz y tomate; mientras que con 20% de vermicomposta y 80 % de arena, se favoreció la germinación de flor de nube y pepino. También Zhao Shi-Wei y Huang Fu-Zhen (1988) (citados por Kale *et al.*, 1992) mostraron en sus estudios que la aplicación de fertilizantes químicos junto con vermicomposta aumentaban la absorción de nutrientes y la producción neta de trigo y caña de azúcar.

4.7 Beneficios de la utilización de las lombrices de tierra en los agroecosistemas.

Hay la creencia, tanto en ecosistemas templados como tropicales, que las lombrices de tierra son el producto en lugar de la causa de una alta fertilidad. Esto es un mito, ya que está bien demostrado como la lombriz interviene en los procesos de producción de la estructura del suelo y el mantenimiento de la fertilidad (Lavelle *et al.*, 1992). Mucha gente considera que las lombrices de tierra son un indicador de la calidad del suelo, ya que responden y contribuyen a un suelo sano; también se ha reconocido su potencial para mejorar los suelos pobres, por ejemplo en Nueva Zelanda se han inoculado a gran escala para mejorar la productividad de los pastizales y en Holanda se han utilizado para madurar los suelos (Butt *et al.*, 1992).

Las lombrices de tierra ejercen una variedad de papeles en los agroecosistemas. Son importantes en los siguientes procesos (Agronomy Technical Note No. 11, 2001):

Pedogénesis. En suelos forestales no perturbados, y en un menor grado los suelos agrícolas, las lombrices contribuyen a la diferenciación del perfil edáfico, a través de la modificación de las propiedades fisicoquímicas del suelo (transformación y desplazamiento del suelo, mejoramiento de la aeración y porosidad, drenaje, etc.) (Petal *et al.* 1977; Agronomy Technical Note No. 11, 2001; Martínez, 1999; Lavelle *et al.*, 1992) y de la expansión de la zona biológicamente activa, a través de la desintegración, descomposición e incorporación de materia orgánica (Werner, 1990; Mackay y Kladvko, 1985; Kladvko *et al.*, 1986).

Estas propiedades están principalmente influenciadas a través del desarrollo de galerías y la depositación de heces fecales (casting). Las capas superficiales de algunos suelos de Europa y de las sabanas africanas consisten enteramente de excretas de lombrices de tierra (Daniel y Anderson, 1992).

IZT.

En capas de suelo muy densas con altas compactaciones producidas por la maquinaria agrícola, las lombrices de tierra excavan y perforan el suelo por medio de su boca musculosa que fragmenta partícula por partícula. El suelo ingerido es depositado en la forma de heces fecales (casts) (Joschko *et al.* 1989). Las especies que pertenecen al grupo ecológico de las endógeas son capaces de revertir la compactación a través de la alimentación.

La mezcla y transporte de suelo por las lombrices esta limitado solo a las partículas minerales finas debido al anchura de la boca e intestino. El resultado de estas actividades es la formación de un horizonte A homogéneo, de color oscuro, rico en tierra fina (Bolton y Phillipson, 1976). La reestructuración del suelo después de su paso por el intestino de las lombrices constituye un tipo de “regeneración” o “rejuvenecimiento” del suelo. Por esto las lombrices de tierra a través de la ingestión del suelo tienen un gran impacto sobre la estructura (Barois *et al.*, 1993).

Incorporación de materia orgánica. Las lombrices de tierra juegan un papel clave en la fragmentación mecánica de la hojarasca y la incorporación de materia orgánica en el suelo mineral. En suelos de bosques no perturbados, las lombrices de tierra son a menudo los principales descomponedores primarios de la hojarasca o mantillo (litter). Cerca de 3000-



U.N.A.M. FES
IZTACALA

5000 kg de hojarasca por ha^{-1} es mezclado en el suelo mineral en forma de humus. Sus excretas a menudo contienen mucha más materia orgánica y nutrientes que el suelo que los rodea, esto debido a que seleccionan los componentes orgánicos y minerales que ingieren, por lo regular prefieren la ingestión de residuos vegetales y minerales arcillosos (Lavelle *et al.*, 1998).

En suelos agrícolas, las actividades de las lombrices de tierra están reducidas debido a que los residuos de las cosechas ya están mezclados con los horizontes minerales del suelo a través del arado y el cultivo. Sin embargo, las endógeas pueden contribuir significativamente a la descomposición y homogenización de los residuos vegetales. MacKay y Kladvko (1985) estudiaron la descomposición de los residuos de maíz y soya por las lombrices de tierra en suelos agrícolas. En presencia de lombrices los rastrojos de soya se degradaron mucho más rápido (66 %) que los residuos de maíz (48 %) después de 45 días. La fragmentación de los restos de residuos en partículas finas aumentó, indicando una descomposición acelerada después de la alimentación de las lombrices.

Las lombrices también contribuyen a la humificación de la materia orgánica, los turrículos contienen más ácidos fúlvicos (AF) o ácidos húmicos (AH) que la superficie del suelo correspondiente. Las explicaciones posibles de la humificación son que las lombrices reingieren turrículos viejos, o que asimilan selectivamente las sustancias solubles mientras que evacuan los componentes ligno-proteicos en sus heces. La relación AH:AF en los suelos es de <1 , pero en los turrículos promedia 1.29, esto indica que la humificación está más avanzada en las heces fecales (Mulongoy y Bedoret, 1989).

Efectos benéficos de los turrículos. Los turrículos y las paredes de las galerías de las lombrices de tierra, exhiben una gran concentración de bioelementos disponibles para las plantas que el suelo circundante (Edwards y Lofty, 1980). Estos turrículos depositados en la superficie o en la profundidad de las capas del suelo enriquecen el suelo mineral con bioelementos, especialmente con carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y cationes básicos (Zhang y Schrader, 1993; Agronomy Technical Note No. 11, 2001). Como los turrículos conservan su estructura y porosidad, se asegura una liberación lenta y regulada de los nutrientes, sin pérdidas por erosión, lavado o lixiviado (Capistrán *et al.*, 1999). En los turrículos de las lombrices, el NH_4^+ -N representa una forma temporal de N mineral que es rápidamente transformado a NO_5^{2-} por nitrificación, el cual ocurre en pocos días. Por esto las lombrices pueden incrementar a corto plazo, la disponibilidad de N y P mineral que se deriva del mantillo del suelo (Martin y Marinissen, 1993).

Esta deposición de turrículos afecta la agregación del suelo. En agroecosistemas africanos donde existe una gran actividad de lombrices de tierra, se presenta una estructura de macroagregados en los 20 cm superiores del suelo (50 % del suelo es agregados de $>2\text{mm}$, y 20 % del suelo como agregados $<400\ \mu\text{m}$) (Blanchart, 1992). Estos estudios han demostrado que después de 14 meses de experimentación, los suelos con un tratamiento sin lombrices tienen un pequeño porcentaje de agregados $>2\ \text{mm}$ (5 %) que los suelos con lombrices (45 %) (Blanchart *et al.* 1999). Esto es debido a que los turrículos de las lombrices son más estables que los agregados compuestos de arcilla y materia orgánica (Bugg, 1994; Lavelle *et al.*, 1992).

También los turrículos de las lombrices tienen valores de pH más altos que sus suelos correspondientes. Estos valores altos pueden ser benéficos en suelos ácidos donde el pH bajo puede inhibir la nitrificación (Mulongoy y Bedoret, 1989).

Efectos físicos sobre las cantidades de nutrientes. Cuando las lombrices se alimentan, los residuos vegetales y los excrementos de animales se fragmentan y se mezclan con el suelo durante su paso por el intestino, y después se incorporan en el perfil edáfico. Esto es un importante paso en el circulamiento de la materia orgánica, en la redistribución de nutrientes y en la reducción de la pérdida de estos en la superficie (Syers y Springett, 1984). En suelos sin lombrices, la mayoría de los nutrientes están inmovilizados en la capa de estiércol y material vegetal muerto que se acumula en la superficie del suelo, por lo tanto la descomposición es muy lenta en la ausencia de Lumbricidos y hay una rotura en el “ciclo de la fertilidad”. Tradicionalmente se ha considerado que la microflora edáfica era responsable de la mineralización de los nutrientes, mientras que los macroorganismos del suelo únicamente poseían un papel secundario, sin embargo se está acumulando evidencia de que la fauna de herbívoros edáficos pueden ser responsables de una fracción significativa de la mineralización atribuida a la microflora. Estudios de laboratorio han mostrado que las lombrices endógeas estimulan la mineralización de la materia orgánica durante la digestión (Villénave *et al.*, 1999). Ruz-Perez y *et al.* (1992) examinaron la influencia que ejercían las especies *Eisenia fetida* y *Lumbricus rubellus* sobre los procesos de descomposición y liberación de nutrientes (N) de los rastrojos de trébol y centeno en dos sistemas edáficos. Ellos concluyeron que el metabolismo del suelo y la mineralización del N aumentaban con la actividad de estas especies; las concentraciones del N en suelos con lombrices eran casi 50 % más altas, así mismo la biomasa microbial disminuía en presencia de las lombrices. Por lo tanto los suelos con poblaciones activas de lombrices pueden tener altas tasas de mineralización de N, ya que los turrículos tienen grandes contenidos del mineral N, comparado con el suelo no ingerido y además pueden persistir varios días después de la depositación (Villénave *et al.*, 1999).

Sharpley *et al.* (1979) encontró que las cantidades de P y NH_4 y $\text{NO}_3\text{-N}$ transportados por las escorrentías en la superficie del suelo, eran entre 4 y 8 veces más grandes cuando se eliminaban a las lombrices.

Penetrabilidad del suelo. La compactación puede impedir el desarrollo de las raíces en algunos suelos. Si la disponibilidad de agua y nutrientes son factores limitantes, la excavación de galerías por las lombrices permite que un gran volumen de suelo sea explotado por las raíces, estas penetran en las galerías y se pueden desarrollar aún en suelos sólidos (Syers y Springett, 1984), además de que las raíces pueden absorber los nutrientes disponibles en los turrículos que se encuentran en los túneles (Kladivko, 1993). Edwards y Lofty (1980) demostraron que la zona de máximo crecimiento radicular de cebada sembrada directamente coincidía con la zona de máxima actividad de las lombrices y la liberación de N almacenado por los tejidos de las lombrices también favorecía este crecimiento.

Infiltración. Una principal función del laboreo de la tierra es disminuir la densidad del suelo e incrementar su porosidad. Pero esta solo aumenta la microporosidad, mientras que los macroporos los cuales tienen un importante papel en la conducción del agua en el suelo,

son destruidos por la labranza. Por ejemplo, el 67 % en la disminución de la tasa de infiltración en suelos tropicales cultivados, era atribuido a la destrucción de galerías de lombrices (Werner, 1990). Aina (1984) demostró que las tasas de infiltración del agua aumentaban en los suelos agrícolas cuando a estos se les adicionaba mulch en el otoño, ya que el mulch incrementaba las actividades de las lombrices y por lo tanto de los macroporos. En agroecosistemas tropicales, las lombrices endógeas como *Pontoscolex corethrurus* beneficia la retención del agua y la infiltración en el suelo (Blanchart *et al.* 1999).

Lee y Foster (1991) (citados por Bugg, 1994) sugirieron que las galerías eran importantes para la infiltración del agua únicamente cuando la irrigación o la lluvia excedían la capacidad del suelo para la absorción capilar. Por otra parte, las especies anécicas (aquellas que cavan túneles verticales, profundos y permanentes) podrían bloquear las entradas de las galerías con suelo o material vegetal. En este caso las galerías de las lombrices serían menos efectivas en promover la infiltración del agua. También hay la preocupación de que las lombrices fomenten el “flujo preferencial” de los herbicidas y otros contaminantes a través de las galerías y alcancen los mantos freáticos (Agronomy Technical Note No. 11, 2001).

Diseminación de microorganismos, esporas, polen, y semillas. Las lombrices de tierra, especialmente las especies que se alimentan en la superficie como *A. caliginosa* y *A. chlrotica* diseminan horizontalmente y verticalmente microorganismos, cestodos, nematodos, esporas, polen, y semillas, mientras especies como *L. terrestris* y *Allolobophora longa* que permanecen en sus galerías son menos importantes en la dispersión (Edwards y Fletcher, 1989); esto es evidenciado por los estudios que demuestran las grandes cantidades de microorganismos en los turrículos fecales de las lombrices.

Otros patógenos, inofensivos para las lombrices, tal como los huevos de nematodos de *Ascaris* sp., también son transportados por la superficie del suelo. Las lombrices de tierra son hospederos intermedios de algunas tenias y nematodos, y pueden aumentar las tasas de infección de los animales domésticos. Durante la ingestión del suelo y la subsecuente dispersión vertical de heces fecales, ocurre la dispersión de nematodos (Makeschin, 1997). También pueden dispersar esporas de hongos perjudiciales como *Pythium* y *Fusarium* (Edwards y Fletcher, 1989), ya que muchas de estas esporas pierden poca viabilidad al pasar a través de su intestino. Sin embargo, las lombrices que se alimentan en la superficie, digieren esporas de hongos dañinos para los manzanos en suelos agroforestales y reduce la reinfección en la primavera (Makeschin, 1997); y Yeates (1981) reporto una disminución del 37-66% en las poblaciones de nematodos en el suelos, cuando eran introducidas lombrices de tierra. Es probable que las lombrices se alimentaran de nematodos, pero quizás estos cambios podrían ser debidos a la diseminación de parte de las lombrices, de esporas de hongos perjudiciales para los nematodos.

Un beneficio de las lombrices de tierra es la distribución de micorrizas durante las primeras etapas del crecimiento vegetal. Harinikunar y Bagyaraj (1994) encontraron propágulos de micorrizas vesiculares-arbusculares en turrículos fecales de *L. terrestris* demostrando así su propagación. El transporte de microorganismos así como de semillas ocurre en el intestino y sobre la piel. Las lombrices pueden tener un importante papel en el

transporte vertical de semillas de especies de plantas raras a la superficie del suelo, resultando en un incremento en la diversidad vegetal.

Restauración de suelos. Los suelos que han sido restaurados después de la extracción de carbón, carecen de una agregación estable, tienen niveles bajos de materia orgánica, y contenidos bajos en carbohidratos. Scullion y Malik (2001) y Stewart *et al* (1988) mostraron que las lombrices de tierra aumentaban y estabilizaban la agregación y afectaban positivamente la composición de la materia orgánica en los suelos restaurados.

Entre los requisitos que se necesitan para el restablecimiento de las lombrices en los suelos severamente degradados, está el mejoramiento de las condiciones adversas como el pH bajo, estabilizar el ambiente fisicoquímico y el suministro constante de alimento. El encalamiento y las enmiendas de materia orgánica pueden contrarrestar los efectos de la acidez y la toxicidad de metales pesados, y también facilitan los estados iniciales del establecimiento de las lombrices, pero el desarrollo de la comunidad a largo plazo depende mucho de la naturaleza y extensión de la vegetación y del suministro del mantillo (Curry, 1998).

Como alimento. Existen criaderos de lombrices con el objetivo de destinarlas a la alimentación animal. Estas presentan un alto contenido nutrimental y proteínico ya que contienen de 60 a 70% de proteínas (especialmente ricas en lisina), 7 a 10 % de grasas, 8 a 20 % de carbohidratos, 2 a 3 % de minerales, vitaminas y una buena cantidad de ácidos grasos (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1998).

Cuando realizamos un manejo agrícola del suelo, también estamos manejando el hábitat en el cual las lombrices de tierra y otros organismos viven. Entre las principales prácticas agrícolas que afectan a las lombrices se encuentran:

Cultivación del suelo. Labranza.

Dependiendo de la técnica que se use para cultivar la tierra, los efectos sobre las especies de lombrices (especialmente las superficiales) serán en mayor o menor grado.

La labranza reduce considerablemente las poblaciones de lombrices de tierra, especialmente cuando el cultivo es seguido por períodos secos o fríos (House y Parmalee, 1985). Zicsi (1969) (citado en Makeschin, 1997) reportó que la labranza antes o durante los períodos secos conduce a una alta mortalidad, especialmente de las especies anécicas. Estas lombrices pueden ser fácilmente atacadas por depredadores tales como escarabajos, y especialmente aves.

Los sistemas de producción agrícola que fomentan la labranza de conservación o la siembra directa, aumentan los niveles poblacionales de lombrices de tierra e inclusive más cuando está reducida el laboreo de la tierra va asociada con una rotación de cultivos que incluya heno o paja, o cuando se usan cultivos de cobertura (Makeschin, 1997; Lal, 1989; Bugg, 1994). Ellis *et al.* (1977) (citado en Syers y Springett, 1984) encontró que en campos donde se sembraban cereales directamente, había poblaciones más grandes de lombrices de tierra que en campos con labranza; también Lal y Oluwole (1983) reportaron que había de 2

a 5 veces más actividad de lombrices en suelos con labranza cero que en suelos con laboreo.

Respecto a los sistemas de roza, tumba y quema; los efectos del fuego utilizado en estos, depende de la duración e intensidad del mismo. El fuego disminuye las poblaciones de lombrices, ya que la vegetación es eliminada, sin embargo la recuperación de las poblaciones va a depender del uso del suelo, y de las prácticas de siembra y cultivo que se realizarán después (Lal, 1989).

Rotación y cultivos.

Hay una fuerte correlación entre el número de lombrices y la cantidad y calidad de residuos vegetales regresados al suelo (Cuadro 11), generalmente, los cereales como el trigo (especialmente si se dejan los rastrojos en el suelo), fomentan más el establecimiento de las lombrices que los cultivos que dejan menos residuos como la soya.

A pesar de su alta producción de residuos, el maíz mantiene poblaciones más grandes de lombrices cuando se encuentra en rotación con soya, ya sea con labranza de conservación o convencional, las lombrices parece que prefieren las leguminosas.

La rotación de cultivos con pastura o heno incrementan mucho los números de lombrices. La alfalfa y el trébol en rotación también beneficia a las lombrices debido a la ausencia de laboreo y al alto contenido de proteína en sus residuos. Las rotaciones con alfalfa y pastura contienen mas lombrices (Agronomy Technical Note No. 11, 2001).

Cuadro 11. Poblaciones de lombrices de tierra afectadas por el tipo de cultivo y laboreo.

<i>Cultivo</i>	<i>Manejo</i>	<i>Lombrices/m²</i>
Maíz continuo	labranza convencional	10
Maíz continuo	labranza cero	20
Soya continua	labranza convencional	60
Soya continua	labranza cero	140
Pastura-heno	labranza cero	400
Pastura diaria	abonos	340
Pastura diaria	abonado intensivo	1300

Fuente: Agronomy Technical Note No. 11, 2001.

Compactación del suelo.

El peso de la maquinaria agrícola se ha incrementado en las últimas décadas. Se reportan pesos de hasta 30 toneladas, lo cual ha producido una seria compactación de las capas profundas y superficiales del suelo, conduciendo a una significativa pérdida de poros grandes, llenos de aire. Esto ha ocasionado una reducción en el intercambio gaseoso, un aumento en el porcentaje de poros finos y la formación de zonas anaeróbicas. Por esto las poblaciones de lombrices en suelos compactados se reducen (Makeschin, 1997). Pizl (1992) reportó una disminución significativa de lombrices en suelos dedicados a la horticultura cuando se empleaba maquinaria agrícola pesada, esto principalmente se debía a una fuerte mortandad en las formas juveniles.

Agroquímicos.

El uso regular de fertilizantes ácidos como el sulfato de amonio, disminuyen las poblaciones de lombrices y mantienen al suelo con un pH el cual no permite la recolonización de éstas. Varios agroquímicos tienen efectos nocivos sobre las lombrices. En general los nematocidas y los carbamatos son muy tóxicos, así como algunos funguicidas sistémicos (Syers y Springett, 1984).

Los herbicidas muestran pocos efectos tóxicos; ya que en los sistemas de labranza mínima, donde se usan grandes cantidades para controlar las malezas, se pueden presentar grandes cantidades de lombrices de tierra (Makeschin, 1997; Edwards y Brown, 1982). Los fertilizantes inorgánicos nitrogenados promueven el aumento de las poblaciones de lombrices, ya que provocan una gran producción vegetal (Kladivko, 1993).

Irrigación con aguas residuales.

En estudios llevados a cabo por Dindal *et al.* (1977), se demostró que la irrigación de campos agrícolas con aguas negras estimulaba una respuesta positiva en *Dendrobaena octaedra*, *D. rubida*, *Lumbricus terrestris*, *L. rubellus* y *Allolobophora turgida*. Esta respuesta podría deberse a que la adición de fuentes nitrogenadas vía aguas residuales, causaba una reducción significativa en la proporción C/N y directamente o indirectamente, incrementaba el potencial de colonización de las lombrices.

Incrementando las poblaciones de lombrices de tierra en los agroecosistemas.

Hay muchas maneras creativas en las cuales un agricultor puede fomentar el aumento y recolonización de las poblaciones de lombrices en sus campos. Un primer paso es determinar que tipo ecológico de lombriz está presente, y que tan abundante es. Las especies endógeas son las comunes. Estas son útiles, pero una comunidad donde se encuentran diferentes especies incluyendo anécicas, sería más benéfica, especialmente en la incorporación de materia orgánica. La inoculación directa de las lombrices o sus capullos es otro método, pero podría ser mejor la transferencia de bloques de suelo (de un metro cúbico, por ejemplo) de un área con grandes poblaciones de lombrices en el suelo agrícola (Kladivko, 1993).

Otro método es colocar a un lado de la tierra agrícola donde se van a inocular las lombrices, una pequeña área que sea manejada exclusivamente como reservorio de lombrices. Si se necesita se le podría adicionar cal a esta área para acercarlo a un pH de 7. también se le podría adicionar abono y sembrar cultivos de cobertura los cuales podrían ser segados periódicamente para proporcionar un mulch que sirva de alimento. En esta área se establecerían las especies de lombriz seleccionadas y después serían utilizadas para inocular los campos (Kladivko, 1993). Este método es un proceso a largo plazo, el cual sería exitoso si junto con la inoculación de lombrices, hay un suministro adecuado de materia orgánica al suelo, y si también se minimizan las perturbaciones físicas y químicas. Lo que también sería ideal para este método es un manejo orgánico de cultivos perennes (Werner, 1990).

Aunque se han desarrollado una gran variedad de técnicas para inoculación de las lombrices en el campo, todas estas dependen de la colecta de lombrices en el campo. Esto

puede ser muy laborioso y algunas veces se necesita la ayuda de especialistas y de equipo costoso. Existe ya investigación para producir intensivamente otras especies que no sean *Eisenia fetida*. Butt y *et al.* (1992) han trabajado con *Lumbricus terrestris* bajo condiciones de laboratorio, reproduciéndola y registrando la viabilidad de los capullos, así como la aceptación de estas a alimentos sintéticos. Ellos concluyeron que es posible un cultivo intenso de *L. terrestris*.

Sin embargo, si la aplicación constante de vermicomposta mejora el suelo y proporciona las bases para el establecimiento de microorganismos de vida libre y simbióticos, su aplicación es más significativa que la introducción directa de lombrices en los campos (Kale *et al.*, 1992).

Ya que la producción agrícola está usualmente acompañada por una gran perturbación de los ecosistemas naturales, el campesino o agricultor debe contestar estas 3 cuestiones básicas para evaluar el papel de las lombrices en los sistemas agrícolas sostenibles de bajos insumos (low-input) (Hauser *et al.* 1997):

1. ¿La actividad de la lombriz de tierra realiza una contribución significativa a la sostenibilidad de los ecosistemas naturales?
2. ¿Cuáles son los factores clave que afectan su supervivencia y actividad?
3. ¿Pueden ser manipuladas las técnicas de manejo de tierra para mantener la actividad durante las fases de alteración, como las de cosecha de cultivos?

Por último hay que enfatizar que la actividad de las lombrices depende mucho de la presencia de una fuente de carbono. Cuando las lombrices se introducen a un agroecosistema, ellas dependen del carbono del suelo y de los subsecuentes inputs orgánicos para sus actividades. Cuando las fuentes de C no son lo suficientemente abundantes, la actividad de las lombrices se reduce. Se recomienda realizar un manejo simultaneo de los residuos de las cosechas con otras fuentes de C (Villenave *et al.*, 1999).

MATERIALES Y METODOS

Localización del área de trabajo.

El presente proyecto se realizó durante un período de seis meses y medio, en la granja experimental del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Esta se encuentra ubicada en el estado de México a 2 km de Texcoco. Se sitúa a los 19° 21' latitud norte y a los 98° 53' longitud oeste y a una altitud de 2250 msnm.

El clima de la región, según la clasificación climática de Köeppen, es templado subhúmedo, con lluvias en verano, una época seca en invierno con poca oscilación térmica; la precipitación media anual es de 636.5 mm y la temperatura media anual es de 15 °C, siendo mayo el mes más caliente y enero el mes más frío (citado en Porchas y Reyes, 1993).

Se evaluaron los siguientes sustratos: estiércol de ganado bovino y ovino, de aves (gallinaza) y de conejo. De los métodos para el cultivo de la lombriz, de estos se empleó el de camas controladas, lechos o módulos, donde se precompostearon los sustratos previamente.

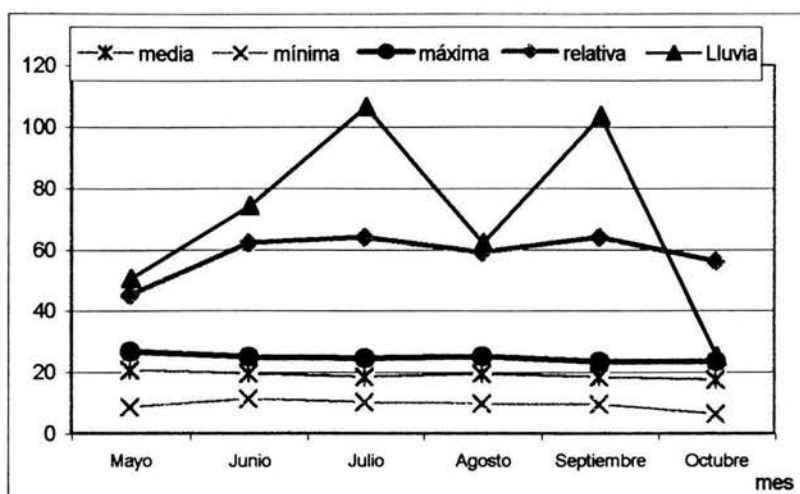
Condiciones climáticas durante el experimento.

En el Cuadro 12 y en la Gráfica 1 se muestran las condiciones climáticas que se presentaron durante la investigación. Según las características climáticas de la región, mayo fue el mes caliente, en lo que respecta al período de trabajo; esto obligo a realizar riegos más frecuentes a las precompostas; ya para junio se realizó lo mismo con las lombricompostas. Para evitar la pérdida de humedad se cubrieron los módulos experimentales con paja, ya que estas se encontraban al aire libre. Conforme fueron pasando los meses, fue disminuyendo levemente la temperatura media.

Cuadro 12 . Datos climatológicos de la granja experimental de la UACH, de mayo a octubre de 2001.

	<i>Temperatura</i> <i>media °C</i>	<i>Temperatura</i> <i>mínima °C</i>	<i>Temperatura</i> <i>Máxima °C</i>	<i>Humedad</i> <i>relativa %</i>	<i>Lluvia (mm)</i>
mayo	20.4	8.5	26.6	45	50.7
junio	19.4	11.2	24.9	62	74.2
julio	18.4	10.1	24.5	64	106.6
agosto	19.4	9.6	25.1	59	62.3
septiembre	18.3	9.4	23.4	64	103.6
octubre	17.4	6.3	23.4	56	25.2

A finales de junio comenzaron las lluvias, con lo que el riego solamente se aplico cuando fue realmente necesario. Hubo la necesidad de quitar las hierbas y pasto que creció sobre los bloques. Como se ve en la Gráfica 1, no hubo mucha variación climática en estos meses, y con respecto a la lluvia, hubo una oscilación más marcada siendo julio y septiembre los meses más lluviosos.



Gráfica 1. Perfil climatológico de la granja experimental de la UACH durante el período experimental.

Precomposteo.

Durante 2 meses se establecieron módulos de 1 m^3 , donde el estiércol o sustrato desmenuzado y mezclado con paja, se precomposteo. Esto con el fin de superar la fase termofílica del proceso de descomposición. Los estiércoles se obtuvieron de la granja experimental y del módulo cunicula. Se realizaron 3 repeticiones por sustrato. Los materiales utilizados se alternaron hasta formar pilas de un metro cúbico, para la gallinaza se alternaron 20 cm de paja y 10 a 15 cm de gallinaza, y para los sustratos bovino y ovino se alternaron 10 cm de paja y 10 cm de estiércol, para el sustrato conejo, las pilas se formaron solas debido a que el material contenía aserrín, entre estas capas se adicioneo agua. La paja se uso para mantener la relación C/N entre 15 y 25, esto para permitir una adecuada fermentación y reducir el nivel de nitrógeno del estiércol (Santamaría y Ferrera-Cerrato, 2002).

El objetivo de esta fase es que el alimento (precomposta) se estabilice en un pH de 7.5 a 8, y que tenga una humedad del 80 % y una temperatura de 20 a 25 °C. Es el estiércol bovino, el sustrato que más rápido se estabiliza, si se le dan los volteos y la humedad adecuados, toma de 10 a 15 días; y la conejaza toma de 20 a 25 días (Ferruzzi, 1994).

En estas precompostas se registraron la temperatura y el pH. Se volteó 4 veces el material, una vez cada 15 días. Este proceso se llevo a cabo al aire libre. Una vez precompostado el material, se utilizaron 80 kg de los sustratos para la elaboración de los tratamientos.

Inoculación y lombricomposteo de los sustratos

Antes de la inoculación, se llevo a cabo la prueba de sobrevivencia para saber si el sustrato estaba listo para la introducción de las lombrices. Esta prueba consistió en poner muestras de cada sustrato en platitos y después se inoculaban 10 lombrices adultas. Los platos se cubrieron con paja mojada y después se verificaba el comportamiento de las

lombrices y el número de individuos que sobrevivieron durante 24 h; si se encontraban todas las lombrices vivas, el material estaba listo para ser composteado (Figura 10). Se realizaron 3 repeticiones por sustrato.



Figura 10. Prueba de supervivencia de las lombrices.

También, antes del lombricomposteo, se tomaron muestras de cada uno de los sustratos orgánicos precomposteados (estiércol bovino, ovino y conejaza), para realizarle los siguientes análisis químicos:

- pH,
- conductibilidad eléctrica,
- contenido total de N, P, K, Mg y Ca.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones.

Los tratamientos fueron los siguientes:

1. T1- sustrato de estiércol bovino.
2. T2- sustrato de estiércol ovino.
3. T3- sustrato de estiércol de conejo (conejaza).
4. T4- sustrato de estiércol de aves (gallinaza).

Se consideró como unidad experimental un módulo de 1 m², separados por ladrillos (Figura 11). En cada módulo se colocó 80 kg del sustrato ya precomposteadado, y se le inocularon 250 lombrices adultas (lombrices que presentaban el clitelo visible) de la especie *Eisenia fetida* Savigny. Después se cubrieron con paja y se regaron periódicamente, manteniendo la humedad entre un 70 y 75 % durante el experimento, según lo recomendado por Kaplan *et al.* (1980). Todas las unidades se colocaron sobre plásticos al

nivel del suelo y al aire libre (Figura 11). No se colocó ningún tipo de protección (mallas, telas u otro material para proteger la parte superior de los bloques.

Para alimentarlas se adicionaron en cuatro ocasiones 10 kg en cada módulo del sustrato correspondiente a los 29, 56, 84 y 112 días. Este alimento se colocó en la parte superior del lecho y se estuvo regando periódicamente, evitando el encharcamiento alrededor de los bloques.



Figura 11. Módulos experimentales con los tratamientos de estiércol bovino, ovino y conejaza.

Evaluación de la población de lombrices.

Durante 140 días (aproximadamente cuatro meses y medio), se realizó el conteo poblacional de las lombrices. Cada 15 días se tomaron muestras del crecimiento de las poblaciones de lombrices (10 muestras). Se contó el número de individuos adultos (clitelados), de individuos juveniles (sin clitelo) y el de capullos. Para el muestreo se utilizó un tubo de polivinilo (PVC) con un diámetro de 10.5 cm, una altura de 12 cm y un volumen de 1040 mL. El tubo se introducía en cada unidad experimental y se extraía su contenido, el cual se colocaba en una charola y con ayuda de una brocha se contaba el número de lombrices adultas, juveniles y capullos. Las lombrices que fueron cortadas por los bordes del cilindro se tomaron también como unidad. Una vez finalizado el conteo, se reincorporaba la muestra al bloque.

Al término de los 140 días, se evaluaron las características de cada humus (humedad, densidad aparente, grado de finura, materia orgánica, N, P, K, pH). Para esta evaluación se utilizó 1 kilogramo de muestra secada al aire de cada repetición de cada tratamiento.

Los análisis químicos fueron realizados en el Laboratorio Central Universitario de la UACH y el biológico en el laboratorio de microbiología del Colegio de Postgraduados, usando la siguiente metodología: pH (relación 1:2) en agua, medido con potenciómetro;

conductividad eléctrica (CE) relación 1:5, se obtuvo a través del extracto vía pasta de saturación y determinado con puente de conductividad; materia orgánica (MO) se determinó por el método Walkley y Black; nitrógeno total (Nt) fue digerido con mezcla diácida y determinado por arrastre de vapor.

El fósforo total (Pt) fue digerido con una mezcla diácida y determinado por fotocolorimetría por reducción con molibdo-vanadato. El potasio total (Kt) fue determinado por espectrofotometría de emisión de flama; el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) fueron extraídos en acetato de amonio 1.0 N, pH 7, relación 1:5 y determinados por espectrofotometría de absorción atómica. Los análisis físicos de humedad, densidad aparente y grado de finura se realizaron en el laboratorio de agronomía de la Preparatoria Agrícola de la UACH.

Para que sea compatible con los usos agrícolas y se evite en lo posible efectos adversos sobre el crecimiento vegetal de los cultivos, los desperdicios orgánicos como el estiércol deben ser transformados en un material parecido al humus y que se encuentre lo suficientemente estabilizado para el crecimiento vegetal (Saviozzi *et al.*, 1988) (citado por Atiyeh *et al.*, 2000). Por lo cual, muestras de los sustratos lombricomposteados fueron usadas en un bioensayo de crecimiento vegetal donde se germinaron semillas de trigo y rábano.

Prueba de germinación.

En cajas petri, se colocaron 20 g de cada sustrato tamizado previamente a través de una malla de 2 mm de abertura y se colocaron semillas de rábano (*Raphanus sativus* L.) o trigo (*Triticum sativum*); 10 semillas distribuidas homogéneamente en cada caja petri (Figura 12). Se usaron tres repeticiones por módulo y tres repeticiones para el control, el cual no contenía ningún sustrato. Sobre el sustrato y las semillas se colocaron toallitas de papel, y sobre el control una en el fondo de la caja petri y otra encima de las semillas. Las cajas se humedecieron con agua destilada (10 mL) cada tercer día. La germinación se mantuvo durante 20 días. Se registro el tiempo de emergencia de las semillas, el número de plantas emergidas y la altura promedio. Adicionalmente se lavaron las plántulas para eliminar el sustrato y se registro la longitud de las raíces. Posteriormente se pesaron las plántulas de cada caja petri en fresco, se secaron en estufa y se determinó después el peso seco usando balanza semianalítica.

Análisis de la información.

Los resultados se analizaron mediante el programa "Statistical Analysis System (SAS). Las variables de los análisis físico-químicos y biológicos de los tratamientos se sometieron a análisis de varianza y se definieron grupos estadísticos mediante la prueba de Tukey. Así mismo, para el bioensayo de crecimiento vegetal se utilizó la prueba de Tukey para determinar las diferencias significativas en el crecimiento vegetal entre las diferentes medias. La significancia fue definida como $P < 0.05$.

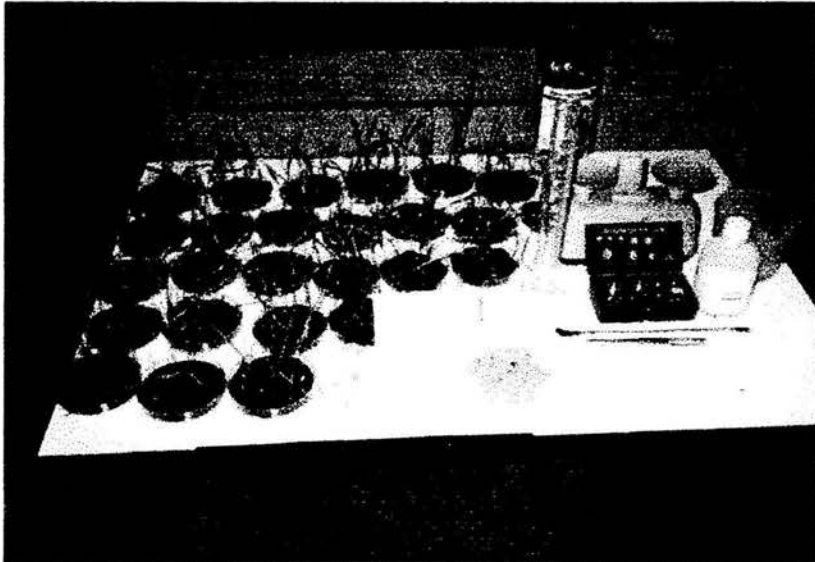


Figura 12. Germinación de semillas de trigo y rábano.

A las poblaciones de lombrices se les sacó el promedio por fecha de medición y se obtuvieron las ecuaciones de crecimiento por estadio por cada sustrato. Para el análisis estadístico se utilizó un modelo lineal generalizado representado por la ecuación:

$$Y = e^{b_0} + b_1 d^1 + b_2 d^2 + b_3 d^3$$

para obtener los resultados se empleó la versión 8 de SAS.

Nota sobre el tratamiento Gallinaza.

El tratamiento de gallinaza fue eliminado, ya que a pesar de que presentaba temperaturas finales más bajas que el sustrato ovino y valores de pH no tan alcalinos como los de conejo y ovino, las lombrices no se adaptaron a este, en dos ocasiones que fueron inoculados con lombrices adultas. Se deduce de este hecho que la gallinaza posee, a comparación de otros estiércoles, valores altos de nutrientes (Rivero y Carracedo, 1999), específicamente de N con porcentajes de 3.17 % (Romero Lima, *et al.* 1999). Este material fue de difícil estabilización, ya que durante el proceso tomó una consistencia pastosa y muy densa, lo que impidió el movimiento de las lombrices, además de que emitió malos olores. También es importante notar que un exceso de agua en el precomposteo dio paso a procesos de putrefacción en la gallinaza en lugar de una fermentación aerobia. Edwards (1998) menciona que altas concentraciones de nitrógeno mata a las lombrices, es por esto que se recomienda un mayor tiempo de composteo de este material junto con desperdicios vegetales para que se establezca la relación C/N. Una vez madurado este estiércol, será de los mejores alimentos para las lombrices composteadoras

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Precompostaje.

Es importante mencionar que el precomposteo es un proceso intermedio durante el lombricompostaje; ya que este se establece para otorgar el alimento a la lombriz, además de reducir la carga de microorganismos patógenos, e iniciar la degradación aeróbica, así mismo evita problemas de mortalidad que se presentan por el mal manejo en los desechos. Este proceso va a acelerar la etapa mesófila y termófila, para que en un lapso no mayor de 12 a 15 (dependiendo del material), ya pueda darse a las lombrices (Martínez Cerdas, 2002; Martínez Cerdas, 2000).

Después de 2 meses de precomposteo de los sustratos, la pilas alcanzaron altas temperaturas (fase termofílica del composteo), donde el sustrato bovino y la gallinaza alcanzaron una temperatura de hasta 60 °C, después de dos semanas de composteo, mientras que el sustrato ovino alcanzo una temperatura de 55 °C. Estas temperaturas indicaron una actividad y degradación microbial. Mientras maduraban los tratamientos, las temperaturas disminuyeron, donde la conejaza mostró las temperaturas más bajas y el sustrato ovino, las más altas. Cuando disminuye la temperatura en la composta, se puede decir que el proceso de composteo se ha estabilizado (Spanos *et al.*, 1998).

Una composta se encuentra madura si la máxima temperatura es menor de 40 °C. También, si el pH es más alto que 7.5 (alcalino). Por esto se considera que las precompostas una vez colocadas en los módulos eran adecuadas para la alimentación de *Eisenia fetida*, ya que las temperaturas tendrían que disminuir por una mayor aireación y riego.

Respecto a la tolerancia a la temperatura, *Eisenia fetida* tiene un rango de tolerancia de 0 a 35 °C; siendo el rango óptimo de 15-20 °C (Edwards, 1998; Hernández *et al.*, 1997; Reinecke *et al.*, 1992). Se pensaría que el sustrato ovino sería el menos adecuado para la inoculación de las lombrices, pero el conteo poblacional de las lombrices demostró que la temperatura no tuvo efecto sobre ellas.

Análisis químicos de los sustratos precomposteados.

Después del precomposteo de los tratamientos, se obtuvieron los siguientes promedios de las variables químicas analizadas: conductividad eléctrica (dSm^{-2}), nitrógeno total (%), fósforo total (%), potasio total (%), calcio total (%), magnesio total (%) y pH (Cuadro 13). Los resultados del análisis de varianza se muestran en el Cuadro 14, los totales se muestran en el Cuadro 27 del anexo.

Cuadro 13. Valores promedios del análisis químico de las precompostas. (Prueba de medias).

Sustrato	pH	CE	Nt	Pt	Kt	Ca	Mg
	1:2	dSm ⁻²	%	%	%	%	%
Bovino	8.96a	24.93a	1.73b	0.84b	1.7b	1.72b	0.6b
Ovino	8.84a	16.76b	2.28a	0.99a	1.87b	2.18b	0.74b
Conejo	8.9a	29.4a	2.27a	1.21a	2.84a	3.28a	0.99a

Cifras con las mismas letras no son diferentes (Tukey = 0.05).

Hay que hacer notar que el contenido de nutrientes en el estiércol varía dependiendo del tipo de animal, el contenido de humedad, el porcentaje y tipo de cama utilizada, la madurez del estiércol, las condiciones de almacenaje, etc. Por lo regular el proceso de composteo de estos biosólidos tiende a incrementar el pH y las sales solubles (conductividad eléctrica), y esto fue más notorio en el caso del estiércol de ganado bovino con valores promedio de pH 8.96 y CE de 24.93 dSm⁻¹ (Cuadro 13). Esto por lo regular limita la cantidad de composta de ganado bovino que debería ser aplicada por hectárea de tierra de cultivo (Dickerson, 2001).

pH.

El pH es el logaritmo negativo de la actividad de iones H⁺ en solución o suspensión, y es el criterio más ampliamente usado para definir si una sustancia es ácida o alcalina. Varios autores han observado que el aumento del pH del suelo, limita la cantidad, actividad y alimentación de los Lumbricidos. Pearce (1972) y Standen (1979) (ambos citados por Springett, 1984) han mostrado que el pH del suelo es un factor determinante en la distribución de especies de lombrices de tierra. En cuanto a *Eisenia fetida* esta prefiere suelos o sustratos con un pH entre 7.0 y 8.0 (Edwards y Bohlen, 1996). Kaplan *et al.* (1980) menciona que valores superiores a 9.5, mata a las lombrices de esta especie.

Los promedios de los tratamientos resultaron ser mayores que 8.0 y menores que 9.0, lo que contrasta con respecto a los resultados obtenidos por Santamaría y Ferrera-Cerrato (2002), donde los sustratos que contenían estiércol de ganado bovino superaban el valor de 9.0, aún después de haber sido composteados por 30 días. En estos, las lombrices no se reprodujeron bien y la alcalinidad afectó negativamente el desarrollo y la actividad de las lombrices.

En los sustratos precomposteados no se alcanzaron tales valores de pH, indicando que el proceso de formación de nuevos compuestos como efecto de la degradación, seguía en curso.

El valor del pH no presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($\alpha = 0.05$) (Cuadro 14), por lo tanto en la comparación de medias, todas resultaron ser estadísticamente iguales (Cuadro 13), aunque se observa en la composta de bovino un valor más alto.

Se pensó que debido a estos valores de pH (muy alcalinos según la clasificación de Guerrero, 1990), las lombrices no se adaptarían a los tratamientos y que se escaparían de los bloques. Pero una revisión detallada de las orillas de estos indicó lo contrario. Tal como

lo demostró la prueba de supervivencia, estas lombrices son basófilas (Bouché, 1977), tolerantes hasta valores circundantes de 8.5.

Según Ferrera-Cerrato *et al.* (1998), estos valores de pH se encuentran en el rango recomendable para agilizar el proceso de composteo.

Cuadro 14. Resultados estadísticos del análisis de varianza de los sustratos precomposteados.

Variable	Media	R-cuadrada	C.V.	Pr>F
pH	8.903	0.429	1.461	0.6051
CE	23.700	0.934	9.281	0.0126
Nt	2.097	0.927	5.339	0.0153
P	1.017	0.823	10.465	0.0833
K	2.138	0.967	6.567	0.0032
Ca	2.394	0.962	8.148	0.0041
Mg	0.780	0.921	9.260	0.0179

Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. La CE estima la salinidad del suelo o de un sustrato. La salinidad es el proceso en el cual las sales solubles se acumulan en el suelo. Este proceso es de interés y de preocupación ya que el exceso de sales obstaculiza el crecimiento de los cultivos, limitando su habilidad para absorber agua. Entre otras condiciones, la presencia de grandes cantidades de sales solubles, como el sulfato de sodio, calcio y magnesio, provocan la salinidad (National Soil Survey Center, 1998).

Los resultados promedio de la conductividad eléctrica (CE), según Richards (1962) (citado por Trejo Téllez, 1995) y Corlay *et al.* (1999), demuestran niveles de salinidad muy altos. Si inmediatamente se aplicarán estos sustratos a tierras de cultivo, solo los cultivos tolerantes como el arroz, cebada, tomate, etc. (Bellapart, 1996) rendirían satisfactoriamente.

El valor de la conductividad eléctrica (CE) presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($\alpha = 0.05$) (Cuadro 14). En la comparación de medias el sustrato ovino fue el que mostró el valor más bajo de conductividad eléctrica (Cuadro 13), mientras que el sustrato conejo mostró el valor más alto con 29.4 dSm^{-1} .

Respecto al efecto que tiene la conductividad eléctrica sobre las lombrices de tierra, valores muy altos de CE son nocivos para ellas. Debido a que las lombrices poseen una cutícula delgada y permeable situada encima de una epidermis secretora de mucus, están en constante riesgo de deshidratación, ya que pueden perder agua a través de esta piel y también por la boca, ano, poros dorsales y nefridios. Hay evidencia (Stephenson, 1945) (citado por Edwards y Bohlen, 1996) de que *Lumbricus* spp puede mantener una concentración constante e interna de sales, ya que si estas lombrices son colocadas en soluciones con sales diluidas, la concentración interna de cloruros permanece arriba de la concentración externa. Sin embargo, aunque las lombrices pueden mantener una presión osmótica constante en soluciones diluidas, ellas no son capaces de hacerlo en soluciones

concentradas de sales, ya que perderían agua por ósmosis. *Eisenia fetida* pierde peso o muere a exposiciones constantes de concentraciones de sales del 0.5 % (Kaplan *et al.*, 1980).

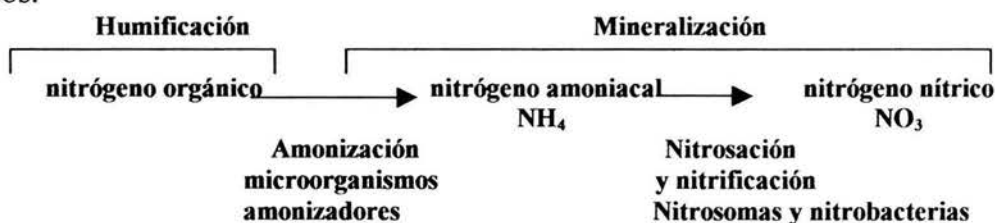
Nitrógeno total.

El nitrógeno es un constituyente esencial en los organismos vivos, ya que forma parte de compuestos muy importantes como son la clorofila y las proteínas; y su disponibilidad es de gran importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas y animales.

En el estiércol, el nitrógeno se encuentra casi exclusivamente en forma orgánica y requiere la mineralización previa para ser asimilado por los cultivos. El estiércol se caracteriza en general por un contenido reducido de nitrógeno amoniacal, fósforo y potasio que se encuentran aproximadamente al 50 % en forma orgánica y mineral (Labrador, 1996).

La mineralización del nitrógeno orgánico es un parámetro útil para determinar los componentes de N que son fácilmente biodegradables; y que puedan ser relacionados con la estabilidad de una composta. Una composta es estable cuando el índice de mineralización de N es <3.5 % (Barberis y Nappi, 1996). Por lo tanto las precompostas se consideran estables.

En la mineralización del N, participan los microorganismos los cuales transforman el N presente en los componentes orgánicos a formas inorgánicas, a través de dos procesos básicos:



Las formas amoniacal y nítrica del nitrógeno son solubles y pueden ser asimiladas por las plantas y perderse por lixiviación. La forma nítrica es la absorbida por la raíz y la que corre por la savia; la forma amoniacal es la fijada por las células del tejido vegetal (Bellapart, 1996).

En nitrógeno total (Nt) se obtuvo significancia estadística ($\alpha = 0.05$); los sustratos de estiércol ovino y de conejo tuvieron los porcentajes más altos de nitrógeno total, en tanto que el estiércol bovino presentó el más bajo porcentaje (Cuadro 13). Respecto al Cuadro 6, hubo un aumento en los contenidos de Nt en estiércol ovino y conejaza. Comparado con lo obtenido por Guerrero (1990) se observaron contenidos mayores en los resultados obtenidos en este trabajo.

Potasio.

Es necesario para la síntesis de los hidratos de carbono, ya sean como almidones o azúcares. Incrementa el desarrollo radicular o un buen enraizamiento, y equilibra los

excesos de nitrógeno y la presencia de fósforo. El potasio es asimilado por las plantas en forma de ión intercambiable K^+ (Bellapart, 1996).

Los valores de K total fueron altamente significativos entre los tratamientos ($\alpha = 0.05$) (ver Cuadro 14), y en la comparación de medias a través de la prueba de Tukey, la conejaza mostró el valor más alto de potasio total con 2.84 % (Cuadro 13).

Fósforo total.

Es un elemento indispensable en el crecimiento vegetal, ya que es un constituyente de los tejidos destinados al soporte físico del vegetal: tronco, ramas, es decir del esqueleto vegetal. El fósforo puede estar inmovilizado en el suelo en forma de fósforo orgánico. La mineralización lo transforma en fósforo útil a la planta (Bellapart, 1996). En suelos o sustratos básicos el P se combina con el Ca para formar compuestos insolubles. Las plantas lo absorben principalmente como monoortofosfato $H_2PO_4^-$, aunque en suelos con pH alrededor o mayor de 7 también puede ser absorbido como HPO_4^{2-} (Díaz Jiménez, 1998).

Los valores de fósforo total no fueron significativos entre los tratamientos ($Pr > f = 0.0833$) (Cuadro 14). El tratamiento del sustrato conejaza presentó el valor más alto con 1.21 % (Cuadro 13). Comparando estos resultados con el Cuadro 6, solamente el valor del sustrato bovino se encuentra en el rango de P contenido de la composición de abonos orgánicos, mientras el sustrato ovino y la conejaza se encuentran bajos.

Calcio y magnesio.

El magnesio se encuentra en la clorofila de la que depende la actividad fotosintética de la planta. Participa en la formación y acumulación de reservas de hidratos de carbono y azúcares, proteínas, vitaminas, etc (Guerrero, 1990).

Los valores de Ca y Mg fueron altamente significativos ($Pr > f = 0.0041$) y significativos ($Pr > f = 0.0179$) respectivamente. El sustrato conejo mostró los valores más altos, con 3.283 % para Ca y para el Mg 0.997 % (Cuadro 13).

Se ha reportado que el pH del suelo tiene diversos efectos sobre la disponibilidad de Mg. El pH del suelo y el K intercambiable, explican mucha de la variación en la absorción de Mg por las plantas. Las concentraciones de magnesio son bajas en condiciones de suelo ácido o de niveles altos de K (Walsh *et al.*, 1973). Respecto a esto, el tratamiento que mostró más concentración de Mg, tuvo un pH de 8.903, sin embargo también tuvo el porcentaje más alto de K con 2.84 % (Cuadro 13).

Con respecto a posibles efectos negativos que pueda tener el Ca sobre las lombrices de tierra, no hay muchos problemas, ya que muchas lombrices de tierra viven en suelos ricos en calcio, además de que las lombrices poseen mecanismos que eliminan los excesos de calcio que presentan en la sangre y en el fluido intestinal (Edwards y Bohlen, 1996). Lo que sí influye es en su distribución. Nelson (1951) (citado por Springett, 1984) en un estudio llevado a cabo en Nueva Zelanda reportó que el factor que estaba mejor

correlacionado con las cantidades de *Allolobophora caliginosa* Savigny y *Lumbricus rubellus* Hoff., era la cantidad de Ca extraíble del suelo.

A excepción de unas pocas investigaciones como las de Nelson (1951), no han existido intentos para evaluar la importancia relativa del nivel de Ca sobre el control de la actividad de las lombrices. Esto se debe a la falta de métodos apropiados para aislar el efecto del Ca del efecto del pH, ya que cuando se le adiciona cal a un suelo o sustrato con pH menor a 7.0, no únicamente el pH del suelo o del sustrato aumenta, si no que también la cantidad de Ca intercambiable del suelo aumenta. Por lo tanto es difícil aislar el significado de estos dos factores químicos sobre la actividad de las lombrices en los suelos, a menos que sean usados controles adecuados (Springett, 1984).

Estos elementos no presentan una problemática especial desde el punto de vista de un sistema de agricultura sostenible, ya que en la mayoría de los casos con la concentración presente en los suelos es suficiente para satisfacer las necesidades de los cultivos. El Ca tiene sin embargo, una acción importante en la actividad biológica de los suelos, ya que los microbios nitrificadores que transforman el nitrógeno amoniacal (NH_4^+) en nítrico (NO_3^-) no son activos a un pH inferior a 6. Los encalados en suelos o sustratos de pH inferior activan la vida de los microbios nitrificadores y permiten la mineralización del nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal y, finalmente, en nítrico (Guerrero, 1990).

6.2 Lombricompostaje.

Características físico-químicas y biológicas del lombricompostaje de cada sustrato utilizado.

La composición y calidad de las lombricompostas va a estar en función del valor nutritivo de los desechos que consume la lombriz. Por esto mismo la cantidad de nutrimentos contenidos en la lombricomposta va a ser muy variable (Martínez Cerdas, 1999).

Los resultados obtenidos del análisis físico-químico y biológico practicado a las muestras compuestas por la tres repeticiones de cada uno de los sustratos se muestran en los Cuadros 28 y 29 del anexo. Los valores obtenidos del análisis de varianza se muestran en el Cuadro 15. Las variables analizadas fueron las siguientes: Ds = densidad en seco (g/mL), Dh = densidad en húmedo (g/mL), Hum = humedad (%), Fin = finura (%), Bac = bacterias, Hog = hongos, Act = actinomicetos, expresados en unidades formadoras de colonias por gramo de material seco (ufc/g), pH (1:2), Ce = conductividad eléctrica (dSm^{-1}), MO = materia orgánica (%), Nt = nitrógeno total (%), Pt = fósforo total (%) y Kt = potasio total (%).

Finura

Un número importante de autores como Sharpley y Syers (1979); Lal y Akinrem (1983) (citados por Basker et al., 1994) han reportado un aumento en la proporción de partículas minerales finas en los turrículos de las lombrices en comparación con el suelo circundante y esto ha sido adscrito a la alimentación selectiva en las zonas de partículas

más finas, y el rechazo de partículas más grandes que el diámetro del intestino de la lombriz. Además la finura se debe a que la materia orgánica es fragmentada en partículas muy finas y después expuesta a la descomposición microbial. Martín (1991) (citado por Edwards y Bohlen, 1996) afirmó que los turrículos de la lombriz de tierra tropical *M. anomala*, tenían mucho menos materia orgánica gruesa que el suelo circundante, indicando que las partículas grandes eran fragmentadas durante el paso a través de su intestino. Por esto mismo se esperaron que las lombricompostas tuvieran cierto grado de finura.

En el análisis de varianza los resultados obtenidos para la finura no fueron significativos entre los sustratos ($\alpha = 0.05$) (ver Cuadro 15). Por lo tanto en la comparación de medias (Cuadro 16) no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos; aunque el sustrato bovino mostró el porcentaje más alto de finura con 51.247 % y el sustrato ovino el valor más bajo con 47.95 %.

Cuadro 15. Resultados estadísticos del análisis físico-químico y biológico de los sustratos lombricomposteados.

Variables físicas				
	Media	R-cuadrada	C.V	Pr>F
Ds g/mL	0.600	0.984	5.078	0.0007
Dh g/mL	0.612	0.986	2.382	0.0006
Hum %	48.185	0.947	5.381	0.0081
Fin %	49.640	0.801	7.473	0.1029
Variables biológicas				
Bac ufc/g	27 773 333.330	0.984	23.875	0.0008
Hog ufc/g	336 666.666	0.786	30.436	0.1181
Act ufc/g	45 888.888	0.930	7.426	0.0142
Variables químicas				
pH 1:2	9.172	0.699	0.676	0.2168
Ce dSm ⁻¹	4.517	0.574	20.628	0.3901
MO %	20.466	0.972	6.117	0.0023
Nt1 %	2.218	0.960	3.460	0.0047
Nt2 %	1.191	0.990	4.632	0.0003
P %	1.153	0.980	5.574	0.0012
K %	0.582	0.599	9.477	0.3537

Humedad

Teóricamente un 50 % de humedad es el óptimo para que los procesos de composteo y lombricomposteo sean eficientes. Un porcentaje menor del 15 % de humedad detendrá la actividad microbiana y de la lombriz; y un porcentaje mayor del 80 % trae como consecuencia que los espacios porosos que presenta el material estén ocupados por el agua y se tenga una carencia de oxígeno, propiciando la proliferación de microorganismos anaerobios (Ferrera-Cerrato *et al.*, 1998; Capistrán *et al.*, 1999; Rivero, 1993). Atiyeh *et al.* (2000) mencionan que el contenido de humedad de estiércol bovino aumenta con el tiempo, con independencia de la presencia o ausencia de lombrices. Sin embargo, el porcentaje que aumento menos fue el de estiércol con lombrices (de 77 % a 81 %) que estiércol sin ellas (de 77 % a 89 %). Comparando los resultados de humedad de este trabajo con el Cuadro 12 de Reines *et al.* (1998) se encuentra que solamente el sustrato conejaza es bajo, ya que ellos obtuvieron para 100gr. de peso seco de humus de lombriz, humedades de 45-55 %.

Los valores encontrados para la humedad fueron significativos ($\alpha = 0.05$), y en la comparación de medias, el sustrato bovino mostró el valor más alto con 57.04 % (Cuadros 15 y 16), concordando con el valor óptimo de humedad para el composteo y lombricomposteo. El sustrato conejaza presentó el valor más bajo con 39.29 %. Este valor bajo de humedad se debe a las características físicas del estiércol de conejo, las cuales permiten una mayor evaporación del agua.

Densidad aparente en seco y en húmedo

La densidad es considerada como el peso por volumen unitario de una sustancia. La densidad aparente de un suelo o sustrato para plantas comprende el peso de este entre el volumen ocupado por las partículas y el espacio poroso o vacío (volumen aparente), y se distingue de la densidad real por que esta última no incluye el volumen ocupado entre las partículas. De ahí que la densidad aparente esté en función de la densidad real y del espacio vacío que hay por los huecos entre partículas (poros). Es muy importante sobre todo cuando se habla de medios de cultivos para plantas, por el efecto que esto tiene sobre el intercambio gaseoso a nivel radicular y la retención de humedad (Ansorena, 1994).

Los rangos de densidad aparente para suelos de origen mineral, se pueden definir entre 2.0 g/cm^3 para algunos horizontes muy compactados. La densidad real para sustancias minerales es mayor que para los compuestos orgánicos, pues en el caso de los primeros se toma una densidad real promedio de 2.65 g/cm^3 , en tanto que para los materiales orgánicos se toma un valor medio de 0.9 a 1.5 g/cm^3 (Ansorena, 1994; Guerrero, 1990).

De acuerdo a los valores obtenidos de densidad aparente obtenidos (ver Cuadro 28 del anexo), los sustratos son materiales muy livianos comparados con suelos de origen mineral, lo cual se debe a que los sustratos aquí evaluados son materiales orgánicos.

De acuerdo al análisis de varianza se encontraron diferencias altamente significativas, tanto para la densidad en seco, como en húmedo (Cuadro 15); en donde el sustrato bovino fue el que mostró los valores más altos de densidad en seco y en húmedo, (0.746 g/mL) y (0.711 g/mL) respectivamente, y el de conejo el más bajo ya que al contener aserrín se hizo más liviano (Cuadro 16).

pH

Los resultados de pH resultaron ser sumamente alcalinos. Estos no coinciden con lo que mencionan algunos autores como Ferruzi (1994), y Capistrán *et al.*, (1999) de que el humus de lombriz tiende a la neutralidad. Inclusive, Martínez Cerdas (1999) menciona que el pH debe oscilar entre 6.8 y 7.2, ya que una alcalinidad mayor refleja un mal manejo de los desechos. Sin embargo otras investigaciones demuestran lo contrario, reportando lombricompostas con pH superiores a 8 (Porchas y Reyes, 1993; Aguilar, 1997). A la cuarta semana de lombricomposteo de mezclas de estiércol de conejo y residuos de podas de jardines, Santamaría-Romero *et al.* (2001) encontraron que el pH se elevaba hasta 8.7, manteniéndose hasta 8,5 a la 16^o semana.

En realidad no se observó algún efecto nocivo de parte de la alcalinidad de los tratamientos hacia las lombrices; como menciona Kaplan *et al.* (1980) y Santamaría y Ferrera-Cerrato (2002) de que a valores mayores de 9.0 mueren las lombrices; ya que el crecimiento poblacional de las lombrices en el momento de la cosecha del abono seguía en ascenso, especialmente en los números de individuos no-clitelados. Kaplan *et al.* (1980) mencionan que las lombrices de tierra obtienen una ganancia significativa en el peso cuando están expuestas a valores iniciales de pH de 6-9.

El valor de pH no mostró diferencias significativas entre los distintos sustratos ($\alpha = 0.05$) y por lo tanto en la comparación de medias fue estadísticamente igual (ver Cuadros 15 y 16). Siendo el sustrato bovino el que mostró el valor de pH más alto.

Una posible explicación del aumento de la alcalinidad en los sustratos, podría deberse a la secreción de CaCO_3 a través de las glándulas calcíferas de las lombrices; ya que estos organismos utilizan este mecanismo para elevar el pH del medio en el que viven (Edwards y Bohlen, 1996), aunque cabe aclarar que esta respuesta no se atribuye al efecto de un pH bajo, ya que *Eisenia fetida* prefiere sustratos con pH entre 7.0 y 8.0 (Kaplan *et al.*, 1980), lo cual sugiere que más bien es una respuesta a un efecto metabólico en la ingestión del sustrato. El aumento del pH de los turrículos también puede deberse a la conversión de N orgánico a NH_4^+ (mineralización), con el consecuente consumo de iones H^+ (protones) mientras el material pasa a través del intestino de la lombriz. Así que el pH de los sustratos no tuvo un efecto decisivo sobre las variables poblacionales de las lombrices.

Cuadro 16. Comparación de medias de las variables a través de la prueba de Tukey.

Variables químicas							
Sustrato	pH 1:2	CE dSm-1	MO %	Nt1 %	Nt2 %	P %	K %
Bovino	9.22a	3.893a	15.233c	1.943c	0.757c	0.840c	0.560a
Ovino	9.10a	4.293a	19.273b	2.200b	1.190b	1.066b	0.543a
Conejaza	9.19a	5.366a	26.893a	2.513a	1.626a	1.553a	0.643a
Variables físicas							
Sustrato	Ds g/mL	Dh g/mL	Hum %	Fin %			
Bovino	0.746a	0.711a	57.040a	51.247a			
Ovino	0.679a	0.614b	48.223b	47.953a			
Conejaza	0.375b	0.513c	39.293c	49.720a			
Variables biológicas							
Sustrato	Bact ufc/g	Hong ufc/g	Act ufc/g				
Bovino	6 900 000b	173 333b	40 000b				
Ovino	753 333b	493 333a	41 000b				
Conejaza	75 666 667a	343 333ab	5 6667a				

Cifras con las mismas letras no son diferentes (Tukey = 0.05).

Conductividad eléctrica

Kaplan *et al.*, (1980) menciona que en cuanto a la alimentación de *Eisenia fetida* con diferentes estiércoles, no habrá problema en cuanto a las concentraciones de sales, siempre y cuando se les suministre como alimento, estiércol no contaminado con orina. Estos abonos pueden presentar valores de conductividad electrolítica en exceso. Esto está relacionado a la toxicidad de altas concentraciones de orina de ganado vacuno.

Los valores de CE de las lombricompostas presentaron una fuerte disminución respecto a los valores de las precompostas, esto puede explicarse por el lavado que hubo en las muestras al estar expuestas a la precipitación y al riego; además la lombriz de tierra tiene la capacidad de fragmentar los constituyentes del estiércol al ingerirlos y esto ayuda a la solubilidad de las sales (Trejo Téllez, 1995). La conductividad eléctrica resulto ser no significativa ($Pr > f = 0.3901$) (Cuadro 15), así que no se encontraron diferencias estadísticas entre los sustratos (Cuadro 16). El sustrato bovino es el que muestra el valor menor de CE con 3.89 dSm^{-1} . Comparando los valores de CE del Cuadro 16, con los de Robledo et al. (2002), se muestran más bajos, indicando una mayor madurez de las lombricompostas. Ellos obtuvieron vermicompostas con CE de 0.6 dSm^{-1} , siendo el nivel óptimo de $0.75\text{-}3.49 \text{ dSm}^{-1}$.

Santamaría y Ferrera-Cerrato (2002) mencionan que lombrices de la especie *Eisenia andrei* no se desarrollan en estiércol bovino si este presenta un pH de 9.7 y una conductividad eléctrica $>10 \text{ dSm}^{-1}$, aunque la concentración de nitrógeno pueda ser aceptable. Respecto a esto, no se presentaron efectos negativos para las lombrices, ya que se obtuvieron valores de CE aún debajo de 7 dSm^{-1} , y valores de pH debajo de 9.3.

El control de la CE es esencial para el lombricomposteo eficiente de un sustrato; además de que valores altos de CE afectan a la actividad de la lombriz, también inhibe el crecimiento bacteriano, ya que altas concentraciones de solutos en el entorno puede plasmolizar las células microbianas (Corlay Chee et al., 1999). Los materiales de desecho o la mezcla de éstos deben presentar valores debajo de $CE < 7 \text{ dSm}^{-1}$.

Materia orgánica

Las lombrices juegan un papel muy importante en el ciclo de la materia orgánica, ya que participan en la fragmentación mecánica del mantillo (litter) y la incorporación y humificación de esta en el suelo (Lavelle et al., 1998; Mulongoy y Bedoret, 1989; Werner, 1990), ya que las lombrices de tierra usan a la materia orgánica como fuente alimenticia, estas pueden acelerar su descomposición y mineralización, reduciendo el tamaño de las partículas disponibles para los microorganismos o mineralizando directamente los nutrientes (James, 1991; Edwards y Bohlen, 1996).

El valor obtenido para la materia orgánica fue altamente significativo ($Pr > f = 0.0023$) (Cuadro 15). En la comparación de medias, el sustrato conejo mostró el porcentaje más alto de materia orgánica con 26.893% (Cuadro 16). Estos valores de materia orgánica no se encuentran a niveles muy altos. Esto se explica por la degradación de la materia que ha ocurrido en los tratamientos por las lombrices. Al transformar la lombricomposta dentro de sus intestinos y degradar sus componentes, la lombriz de tierra desecha un producto con alto contenido de cenizas y casi nulo en materia orgánica (Machuca, 1994).

Haciendo una comparación con los resultados de MO de Robledo et al. (2002) en lombricompostas, el porcentaje de MO en los sustratos fueron altos, ya que ellos obtuvieron un valor de 0.6% . Esto contrasta con el contenido de MO en muestras de tierra de monte, el cual es de 30.0% .

Nitrógeno total

Es importante señalar que las cantidades de nutrientes mineralizados generalmente no son fracciones significativas de las necesidades anuales de las plantas en los sistemas donde las lombrices de tierra median la mineralización, aunque la regulación y distribución de la mineralización puede magnificar su importancia. El total de turrículos excretados, la materia orgánica, el N y el P disponible en los turrículos generalmente refleja las tendencias de la biomasa poblacional de las lombrices de tierra (James, 1991).

Todos los valores de Nt de los sustratos en comparación con los del Cuadro 9, fueron más altos en el análisis inmediato. En el realizado en septiembre del 2002 (Nt 2), el valor del sustrato bovino disminuye y los sustratos ovino y conejaza siguen altos. Esto significa que nuestros valores inmediatos son extremadamente ricos según los clasifica Tavera (1985) (citado por Trejo, 1995).

Ambos valores de nitrógeno total (Nt 1 y Nt 2) presentaron valores altamente significativos ($\alpha = 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 15). En la comparación de medias todos los sustratos presentaron diferencias estadísticas (Cuadro 16). Esto sugiere que hubo un efecto distinto de los materiales que se ocuparon para elaborar las lombricompostas, tanto en el contenido de nitrógeno, como en el proceso de mineralización de este nutriente. El sustrato conejo presentó los porcentaje más altos, con 2.51 % y 1.626 % (Cuadro 16).

Una cuestión clave es si las cantidades totales de nitrógeno asimilable depositado en los turrículos de las lombrices de tierra pueda realizar una contribución significativa a las cantidades totales de nitrógeno disponibles en el suelo para el crecimiento vegetal. Claramente, las lombrices pueden incrementar las cantidades de N asimilable en el suelo y en consecuencia mejorar las condiciones para el crecimiento vegetal, aunque son escasos los datos de investigación sobre este tema (Edwards y Bohlen, 1996). Por ejemplo Ruz-Jerez *et al.*, (1992) mostraron que la absorción de nitrógeno por plantas de centeno en el laboratorio era significativamente más grande en el suelo que fue incubado previamente con lombrices que en suelo incubado sin lombrices. Haimi *et al.*, (1992) reportó que la absorción de N total por semillas de abedul era el doble de grande en tratamientos con lombrices de la especie *L. rubellus* que en tratamientos sin ellas.

En general, podemos decir que en los sustratos bovino y conejaza, el incremento en la concentración de N en las lombricompostas con respecto a los materiales precomposteados, se debe a que durante el proceso de lombricomposteo no hubo pérdidas de N en forma gaseosa ni por lixiviación, esto gracias al efecto de los procesos de excreción de nitrógeno que las lombrices ingieren en sus alimentos. Grandes cantidades de NH_4^+ se excretan, a través de los endonefridios del intestino, en los turrículos frescos de las lombrices de tierra. Este amonio representa una forma temporal de N mineral que es rápidamente transformado a NO_3 por nitrificación, lo que sucede en pocos días (Edwards y Lofty, 1980; Martin y Marinissen, 1993). Satchell (1963) (citado por Edwards y Bohlen, 1996) estimó que 60-70 kg N/ha año regresaban al suelo en los tejidos muertos de *L. terrestris*, y que de 30-40 kg N/ha año en la forma de orina (constituida principalmente por amoníaco y urea) y mucus depositados. Ya que la mayor parte del nitrógeno en los tejidos de las lombrices está asociado con las proteínas, una vez muertas las lombrices, los tejidos se descomponen

rápida y el N en los tejidos se transforma y mineraliza rápidamente. Satchell (1967) (citado por Edwards y Bohlen, 1996) reportó que cerca del 70 % del N presente en los tejidos se mineralizaba en 10-20 días.

Al iniciar el proceso tanto de composteo, como de lombricomposteo la masa microbiana (bacterias, hongos y levaduras) aumenta considerablemente. Grandes cantidades de nitrógeno son transformadas dentro de las células microbianas, evitando que el nitrógeno se pierda como gas, de tal manera que al aumentar la masa microbiana aumenta también la cantidad de nitrógeno (Machuca, 1994).

También la época del año puede influir sobre la dinámica del N en los turrículos de las lombrices. James (1991) estudió la influencia de *Aporrectodea caliginosa*, *Octolasion cyaneum* y *Diplocardia smithii*, sobre la disponibilidad de nitrógeno y fósforo en una pradera y encontró que la producción de turrículos y las concentraciones de amonio y fósforo eran más grandes en la primavera, y ya para otoño disminuían. Así que al realizar el lombricompostaje en los meses de primavera y verano, esto influyó para encontrar una concentración más alta (sustrato bovino y conejaza) y constante (sustrato ovino) de nitrógeno total.

Debido a que los nitratos son altamente solubles en agua y no son retenidos por los minerales del suelo, es fácil que sean eliminados por lixiviación. Así mismo, el nitrógeno también se puede perder por volatilización del NH_3 . En consecuencia, en un sistema de agricultura sostenible es clave el aumento de la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados (Díaz Jiménez, 1998). En el caso de la lombricomposta, la liberación gradual de los nutrientes, lenta y continua, abastece más eficientemente a los cultivos y previene las pérdidas por lixiviación durante los períodos de exceso de agua (Aranda y Barois, 2002).

Fósforo total

La literatura menciona que la concentración de fósforo debe aumentar conforme es mayor la densidad poblacional de las lombrices, ya que al haber una mayor descomposición de materia orgánica, hay una concentración más alta de CO_2 , lo que favorece la disponibilidad de fosfatos. Así mismo, mucho del aumento en la disponibilidad de fósforo en los turrículos de las lombrices se debe a un incremento en la actividad de enzimas alcalinas (fosfatasas) encontradas en las excretas de las lombrices (Satchell y Martin, 1984). Van Gasen (1962) (citado por Satchell y Martín, 1984) registró áreas de gran concentración de fosfatasas alcalinas en el epitelio del buche de *Eisenia fetida*. Sin embargo, no se sabe si el aumento en las concentraciones de P en los turrículos, se deba a las enzimas derivadas de las lombrices o a un aumento de la actividad microbiana.

Los valores de fósforo total presentaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($\alpha = 0.05$) (Cuadro 15). En la comparación de medias, todos los valores de los tratamientos presentaron diferencias estadísticas, siendo la conejaza, la que presentó el contenido mayor de P total con 1,553 %, mientras que el sustrato bovino mostró el porcentaje más bajo con 0.84 % (Cuadro 16). Comparados con los resultados obtenidos por Robledo *et al.* (2002), los tratamientos tuvieron porcentajes altos, ya que ellos obtuvieron

un porcentaje de 0.6 % para lombricompostas, mientras que el valor para tierra de monte es de 0.7 %.

El uso racional de los fertilizantes fosforados es importante, ya que las reservas mundiales de fosfatos son pequeñas en relación con lo que se necesita para la producción de alimentos. Al ser un elemento que es fácilmente fijado en el suelo, la mejora de su eficiencia en una agricultura sostenible vendrá dada por: 1) ajuste del pH; 2) la cantidad y estado de descomposición de materia orgánica, ya que favorecerá la liberación de fósforo orgánico; y 3) actividad de los microorganismos (Díaz Jiménez, 1998).

Potasio total

Basker *et al.*, 1994 reportaron en un experimento llevado a cabo bajo condiciones de laboratorio, que el K intercambiable era significativamente más alto en suelos con lombrices que sin lombrices. Ellos concluyeron que el aumento fue debido a la liberación de K del acervo no intercambiable de K, mientras el material del suelo pasaba a través del intestino.

Los valores de potasio total no fueron significativos ($\alpha = 005$) (Cuadro 15), así que en la comparación de medias no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos, aunque el sustrato conejo mostró el porcentaje más alto de potasio total, 0.643 % (Cuadro 16), y el sustrato bovino el más bajo, 0.56 %. Comparados con los valores de K total de Robledo *et al.* (2002) los resultados de este experimento son muy bajos, ya que ellos obtuvieron valores de 4.5 % para lombricompostas. Los porcentajes de K de los tratamientos están más cercanos al valor de K para muestras de tierra de monte, el cual es de 0.54 %.

Microorganismos

Como menciona Ferrera-Cerrato *et al.* (1998), la lombricomposta puede ser un producto muy rico en nutrientes como puede no serlo, esto va a depender de los desechos que consuma la lombriz, pero lo que es importante es el contenido de microorganismos, ya que la carga bacteriana de la lombricomposta es superior a la de un estiércol (Bellapart, 1996). Esta característica es importante para sistemas agrícolas sostenibles, ya que la lombricomposta puede ser utilizada como mejorador del suelo o como activadora de la vida en el suelo.

De los resultados obtenidos del análisis biológico de las vermicompostas, solo el correspondiente al valor de los hongos, no fue significativo (Cuadro 15); y por lo tanto en la comparación de medias no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos (Cuadro 16). En cuanto a los valores obtenidos para las bacterias estos presentaron una alta significancia estadística, mostrando el sustrato conejo el valor más alto con 7.56×10^7 (ufc/g). En cuanto al valor de los actinomicetos, también hubo diferencia estadística e igualmente el sustrato de conejo mostró el valor más alto con 5.6×10^4 (ufc/g)

Corlay *et al.* (1999) obtuvieron valores bajos de unidades formadoras de colonias de bacterias, hongos y actinomicetos cuando se lombricomposteaba el estiércol bovino.

Comparados con estos, se puede considerar que los resultados del experimento también resultaron ser bajos respecto a este sustrato, e inclusive también se puede inferir que son bajos para el sustrato ovino y de conejaza, esto debido a los valores de pH. Corlay *et al.* (1999) obtuvieron valores de 2.8×10^7 ucf/g para bacterias, 3.9×10^5 ucf/g para actinomicetos y 1.1×10^5 ucf/g para hongos; y un pH de 9.0. Ellos explican que son valores bajos debido a que:

- El pH inhibe el crecimiento bacteriano, ya que un pH alcalino determina que la forma nitrogenada amoniacal (N-NH_3) sea dominante. El NH_3 tiene efectos tóxicos en el desarrollo de los microorganismos.
- Se presenta una interacción de competencia por los nutrientes de parte de las lombrices.
- Las lombrices producen en el tracto digestivo diversas sustancias microbiostáticas y microbidas, que inhiben el crecimiento de los microorganismos.
- Los hongos constituyen una proporción importante en la dieta de las lombrices, principalmente aquellos que no producen antibióticos (Edwards y Fletcher, 1989).
- El crecimiento bacteriano consumió oxígeno en los residuos y así inhibió el metabolismo aeróbico de actinomicetos y hongos.

Así mismo Santamaría-Romero *et al.* (2001) reportaron que durante el lombricomposteo de conejaza con restos de podas de jardín, la población bacteriana disminuía, presentándose poblaciones de 24×10^7 ufc/g seco. Según ellos, estos valores son bajos, porque Aranda (1995) (citados por ellos) ha reportado poblaciones bacterianas de más de 10^9 ufc/g⁻¹ de lombricomposta. También el pH elevado de sus sustratos limitó el desarrollo de hongos, siendo el mayor número entre 15×10^5 y 48×10^5 ufc/g⁻¹ de material seco. También, Aranda (1995) reportó que en lombricompostas las poblaciones de hongos fluctúan entre 50×10^7 y 80×10^7 ufc/g⁻¹, lo cual es superior a sus resultados obtenidos.

Sin embargo, comparados con los valores de la composición microbiológica de lombricomposta utilizadas para la producción de papa en Romero Lima *et al.* (1999), donde hay 26.0×10^2 ucf/g para bacterias, 13.2×10^3 ucf/g para hongos y 90.0×10^3 ucf/g para actinomicetos, los resultados de este trabajo se muestran altos. También lo son comparados con Martínez Cerdas (1999), como menciona Martín y Marinissen (1993) hay un enriquecimiento de bacterias, hongos y actinomicetos en los excrementos de diferentes grupos taxonómicos de animales edáficos, entre ellos, las lombrices de tierra.

6.3 Efecto de los sustratos sobre la dinámica poblacional de *Eisenia fetida* Savigny.

Es de suma importancia el conocimiento de la dinámica poblacional de las lombrices, es decir, su crecimiento y reproducción, en un determinado sustrato orgánico. De esta manera, se podrá recomendar o no la utilización de alguno de los residuos orgánicos que se generan en una región específica. Además, la obtención de lombricomposta va a estar en función de la dinámica poblacional de las lombrices, las cuales pueden mostrar preferencia por algunos de los sustratos utilizados en esta investigación.

Las poblaciones de lombrices de tierra pueden ser expresadas en términos de cantidad (números) o de peso (biomasa). El uso de números poblacionales puede ser engañoso debido a que no diferencia entre individuos muy pequeños o muy grandes, los cuales tienen diferentes influencias sobre los procesos del suelo. La biomasa es a menudo un parámetro preferible pero también puede conducir a conclusiones erróneas. Es mejor expresar las poblaciones como números y como biomasa (Edwards y Bohlen, 1996). Aunque en este trabajo no se pesaron a los individuos muestreados para obtener la biomasa, se pueden hacer algunas deducciones acerca de esta.

Cabe notar que en este trabajo no se observó de parte de las lombrices, una estrategia de amontonamiento en algún sustrato, ya que como afirman Huhta y Hami (1988) (citados por Santamaría y Ferrera-Cerrato, 2002) la distribución de los individuos en el sustrato no siempre es uniforme, probablemente para protegerse cuando el medio no es favorable para ellas, esto debido a factores como el pH y la conductividad eléctrica elevados.

Las poblaciones de la mayoría de los invertebrados que habitan en el suelo tienden a tener una estructura piramidal de edades, con muchos más individuos jóvenes que maduros en la mayor parte del año; por ejemplo Raw (1962) (citado por Edwards y Bohlen, 1996) reportó que las proporciones de individuos de *L. terrestris* de diferentes edades en muestras de un huerto, eran de 8 lombrices maduras a 13 inmaduras grandes y 31 inmaduras pequeñas. Esto dependió mucho de la época del año en que se realizó el muestreo. Esto se observó durante el muestreo poblacional.

Crecimiento poblacional de lombrices adultas.

Los Cuadros 31, 33, 35 del anexo muestran el número de lombrices de tierra por unidad de muestreo en los diferentes sustratos.

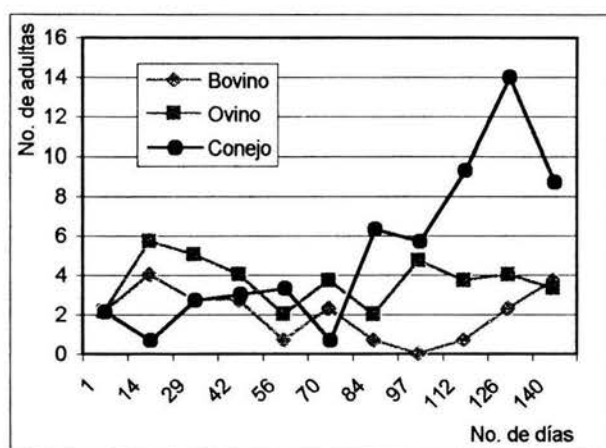
El Cuadro 17 muestra la comparación de los promedios de individuos adultos, juveniles y capullos obtenidos en muestras de sustrato de 1040 cm³, la Gráfica 2 muestra el crecimiento poblacional de los promedios de lombrices adultas por muestras de sustrato, donde se observa que en el sustrato conejo hubo un mayor número de lombrices adultas muestreadas a partir del día 84 del experimento.

Cuadro 17. Comparación de los promedios de lombrices adultas, pre-cliteladas y capullos muestreados en los diferentes sustratos utilizados.

<i>Población Adulta</i>				<i>Población pre-clitelada</i>			<i>Población de capullos</i>		
Día	Bovino	Ovino	Conejo	Bovino	Ovino	Conejo	Bovino	Ovino	Conejo
1	2.14	2.14	2.14	0	0	0	0	0	0
14	4.0	5.7	0.7	1	2	1.3	3.3	5	0
29	2.7	5	2.7	0	1	0.3	4	10.3	2.7
42	2.7	4	3	4.7	17.3	1	16.7	20	2
56	0.7	2	3.3	44	114.3	1	14	21	2.7
70	2.3	3.7	0.7	99	126.3	6.7	9.7	30.7	3.3
84	0.7	2	6.3	110	94.7	24.7	11.3	23.7	5.7
97	0.0	4.7	5.7	93.3	78.7	31	1.7	18.7	7.7

112	0.7	3.7	9.3	93.7	86	85	5.3	11.7	10.3
126	2.3	4	14	109.3	87	68.7	3.3	12	12
140	3.7	3.3	8.7	159	141	84	4	10.3	11.3

El sustrato ovino mostró mejores condiciones para la colonización de las lombrices, observándose una mayor cantidad de lombrices hasta el día 70 del experimento, aunque después estos números se mantuvieron constantes. Ferruzzi (1994) establece un valor estricto de pH de 7.0 para que un sustrato pueda ser lombricompostado e inclusive Makeschin (1997) y Doube y Schmidt (1997) afirman que las lombrices de tierra no se encuentran en suelos muy alcalinos ($\text{pH} > 8$), y son abundantes en suelos con pH entre 6.0 y 7.0. Sin embargo los resultados de este trabajo muestran que las lombrices pueden adaptarse a pH muy alcalinos. Solamente en el sustrato conejo se encontró una leve disminución en la población adulta al principio del experimento, que bien pudo haberse debido al valor de CE, ya que presentó un valor de 29.40 dSm^{-1} (Cuadro 13). Como menciona Edwards (1988) el rango óptimo de pH para *Eisenia fetida* se encuentra entre 5 y 9; y Kaplan *et al.* (1980) afirman que entre estos valores *Eisenia fetida* aumenta su biomasa.



Gráfica 2. Crecimiento poblacional de los promedios de lombrices adultas en los diferentes sustratos utilizados.

Respecto a la humedad, esta no fue un factor limitante para el crecimiento y reproducción de las lombrices, ya que se procuró mucho que los sustratos tuvieran la suficiente humedad, entre 70 y 75% según lo recomendado por Kaplan *et al.* (1980) y Capistrán *et al.* (1999). Además de junio a septiembre se incrementó la humedad relativa del ambiente y se tuvieron cantidades mayores de lluvia, lo que ayudó a mantener esta humedad (Cuadro 12).

Durán (1995) comparó el porcentaje de Nt de sus sustratos con el número de lombrices obtenidas y encontró que el porcentaje de nitrógeno del sustrato está relacionado de manera inversa con el número de lombrices muestreadas. Al aumentar la concentración de nitrógeno en el suelo, la relación C/N decrece, esta relación es una medida de la calidad de la materia orgánica como un recurso de energía. En los resultados de este trabajo no se observó este comportamiento, ya que el sustrato ovino es el que muestra una mayor

concentración de Nt con 2.28% y también un mayor número de lombrices. Si se sigue el argumento de Durán, el sustrato bovino que muestra un menor contenido de Nt con 1.73% debería presentar mayores cantidades de lombrices muestreadas, pero presenta valores menores de hasta 0.7 y 0.0 por unidad de muestreo en los días 84 y 97.

También hay que mencionar que las lombrices alimentadas con dietas ricas en nitrógeno producen más capullos que las lombrices alimentadas con dietas pobres en nitrógeno. Machuca (1994) reportó que en estiércol ovino la producción promedio de capullos de *Eisenia fetida* (5 individuos) durante tres meses fue de 76.0, y en estiércol bovino 73.2 capullos. Esto se vio reflejado en la dinámica poblacional, donde el sustrato ovino, presentó un mayor crecimiento y producción de capullos (Gráfica 4).

En cuanto a la temperatura, en las pilas del precomposteo, fueron muy altas en el sustrato bovino y ovino muy altas para las lombrices, ya que el rango ideal de temperatura se encuentra entre 15 – 20° C, con límites entre 4 -30° C (Edwards y Bohlen, 1996). Edwards (1988) señaló una tolerancia de 0 a 35° C y Reinecke *et al.* (1992) estableció que *E. fetida* crecían bien a temperaturas de 25° C a 37° C. Si se hubieran sembrado las lombrices directamente en las pilas, estas hubieran muerto en el sustrato ovino y gallinaza, y solo hubieran crecido bien en el sustrato conejo.

Una vez que se formaron los módulos, la temperatura tuvo que descender, ya que una mayor aireación y riego, se ajustaron a la temperatura ambiental, la cual estuvo alrededor de 19° C. Esta temperatura se encuentra en el rango óptimo para el lombricomposteo, además como señalan Hernández *et al.* (1997) y Capistrán *et al.* (1999) la máxima actividad sexual se logra cuando la temperatura del medio oscila alrededor de los 20° C.

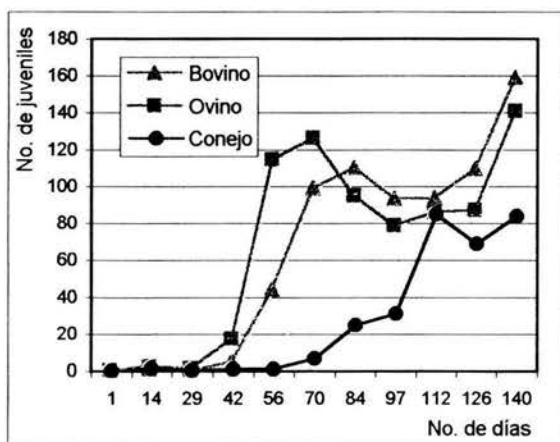
Crecimiento poblacional de lombrices inmaduras (no cliteladas).

Las lombrices juveniles que se contabilizaron en el presente trabajo, corresponden a las que habían emergido de los capullos que fueron depositados durante el período que duró la fase del lombricompostaje, que en la Gráfica 3 muestra que se empezó a los 42 días de comenzado el experimento. El evaluar esta variable es con la finalidad de conocer el efecto de los sustratos en la emergencia de lombrices juveniles, por lo que al igual que en el caso de los capullos, esta variable se toma como un indicador de la reproducción de las lombrices.

Reines *et al.* (1998) mencionan que la población de lombrices composteras se compone de 60% de juveniles, 40% de adultas y capullos (el doble de los adultos). Los individuos juveniles son por lo general más resistentes que los adultos a las condiciones ambientales desfavorables, como baja humedad o altas temperaturas.

El aumento en el número de juveniles está en correspondencia con el elevado número de capullos depositados anteriormente; en la Gráfica 3 se observa que a los 56 días del experimento, el sustrato ovino era el que contenía más lombrices juveniles, mientras que el sustrato bovino a partir de los 112 días se encontraron más juveniles. En el sustrato conejo se observó una menor cantidad de juveniles. Se puede deducir que hubo una alta sobrevivencia de juveniles eclosionados de los capullos desde el comienzo del experimento

hasta el día 42 en los sustratos ovino y bovino (Gráfica 4). También lo que se observa en la Gráfica 3 es un crecimiento logístico de la población de lombrices juveniles; a los 20° C *Eisenia fetida* eclosiona del capullo 3 semanas después de la fertilización y desarrolla un crecimiento poblacional que sigue la curva logística de Verhulst. Crece lentamente durante tres semanas y después entra en una fase rápida cuyo ascenso es útil como un índice de la calidad nutricional de su alimento. La fase rápida es seguida por una fase estacionaria, o por una fase de disminución de peso cuyo declive puede ser usado como un índice de la propiedad nutritiva del alimento (Neuhauser et al., 1980). A los 70 días se alcanza un pico en el crecimiento tanto en el sustrato ovino, como en el bovino, después hay una fase estacionaria que duró hasta a los 126 días, y al final del experimento se ve un ascenso que incluso rebasa el pico de los 70 días. Esto pudo deberse al pico presentado en la producción de capullos que correspondía al día 70 en ovino y en bovino al 42 (Gráfica 4), y al alimento ya más maduro que provenía de las pilas de precomposta.



Gráfica 3. Crecimiento poblacional de los promedios de lombrices pre-cliteladas en los diferentes sustratos utilizados.

En el sustrato ovino y así mismo el sustrato bovino, se puede estimar que de haberse registrado la biomasa de las lombrices, está disminuiría debido a la aparición de lombrices juveniles que pudo haber provocado que el peso por individuo disminuyera, ya que al incrementarse la población, la relación biomasa-número de lombrices se hace más estrecha (Santamaría y Ferrera-Cerrato, 2002).

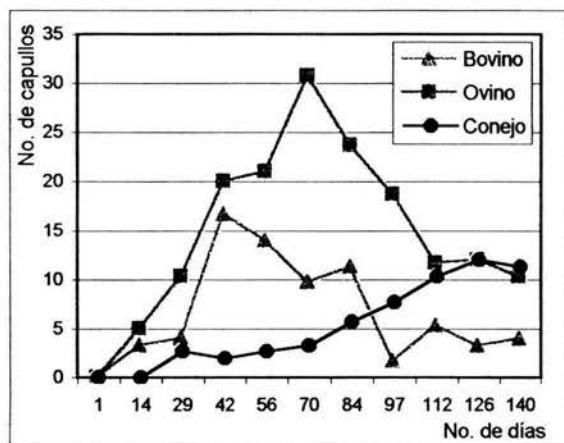
Un mayor número de lombrices juveniles va a indicar que los individuos se están reproduciendo, por lo que el peso individual promedio va a disminuir. De esta manera en el sustrato ovino, al existir un mayor número de lombrices juveniles, el peso individual, resultado del cociente biomasa/densidad se reduce. También al respecto, Cluzeau *et al.* (1992) encontraron que en esta especie *Eisenia fetida* se registra una disminución en el peso cuando se utiliza energía en la reproducción.

Capullos.

En el presente trabajo se evaluó la cantidad de capullos, como un indicador de la influencia de los sustratos sobre la capacidad reproductiva de las lombrices vista a través de la deposición de capullos.

La Gráfica 4 muestra los promedios de producción de capullos, indicando que durante todo el experimento, el sustrato ovino presentó una mayor cantidad de capullos producidos, debido a un incremento en la tasa de copulación probablemente por la adaptación a dicho sustrato. Además de la adaptación, esta mayor producción en el sustrato ovino se debió posiblemente a una avanzada descomposición del sustrato y, con ello, mayor cantidad de alimento disponible; ya que la disponibilidad de alimento está directamente relacionada con la producción de capullos. Reinecke y Viljoen (1990), después de alimentar con estiércol a 10 lombrices durante 20 días, observaron más de 40 capullos, mientras que en ausencia de alimento éstos no se presentaron.

Respecto al sustrato conejo, el número de capullos muestreados fue ascendiendo conforme pasaban los días, hasta ser levemente mayor que el número de capullos del sustrato ovino, al finalizar el experimento. Esto está correlacionado con la cantidad de lombrices adultas que presentó a partir del día 84, ya que estas empezaron a reproducirse lo que reflejó un mayor número de capullos.



Gráfica 4. Crecimiento poblacional de los promedios de capullos en los diferentes sustratos utilizados.

El tipo y cantidad de alimento disponible influye no solo en el tamaño de las poblaciones de lombrices, sino también en el tipo de especie presente y su tasa de crecimiento y fecundidad. Evans y Guild (1948^a) (citado por Edwards y Bohlen, 1996) investigaron la influencia del alimento sobre la producción de capullos y mostraron claramente que más capullos eran producidos por lombrices que se alimentaban con materia orgánica animal en descomposición, que con material vegetal fresco.

El número de capullos bajo a partir del día 97 en el sustrato ovino y bovino debido al incremento de la densidad de lombrices que emergieron de los capullos formados días antes. Como mencionan Neuhauser *et al.* (1980) la densidad poblacional puede ser un factor limitante sobre la tasa de crecimiento y de reproducción, ya que hay una competencia por el alimento, y como la producción de capullos demanda grandes proporciones de energía, no se lleva a cabo eficazmente si no hay suficiente alimento.

Por último se puede decir que la capacidad para modificar rápidamente los números poblacionales de las lombrices de tierra está determinada por restricciones internas relacionadas a las características biológicas de la especie, y por restricciones externas, como factores abióticos. Las restricciones internas tales como el tamaño, el nivel trófico y el modo de reproducción van a influir en la dinámica demográfica en términos del tiempo de generación y producción de capullos (Cluzeau, 1992).

Análisis estadístico.

El modelo que se utilizó para el análisis estadístico de los estadios poblacionales de *Eisenia fetida*, fue un modelo lineal generalizado. Este es similar a los modelos de ANOVA, excepto que permite variables con distribuciones distintas a la normal. En el caso del trabajo, como fue un conteo de individuos adultos, juveniles y capullos, se puede suponer que las variables tienen una distribución poisson. Para esta distribución se usó una transformación logarítmica, para relacionar las variables originales con el modelo lineal. Para los datos se supone que el logaritmo es quien sigue un modelo lineal, mientras que la variable original (número de lombrices) sigue el modelo (ver cuadros 38 y 39 del anexo):

$$Y = e^{b_0} + b_1d^1 + b_2d^2 + b_3d^3$$

Los datos de muestreo del 1er día no se incluyeron y los datos en cero se ajustaron a cifras muy pequeñas.

Población adulta.

El Cuadro 18 muestra los resultados de comparar los modelos entre los sustratos. Todos los modelos resultaron ser altamente significativos. Esto quiere decir que el número de lombrices adultas tuvo una evolución distinta en el tiempo para los tres sustratos.

Cuadro 18. Comparación de los modelos para la población de individuos adultos muestreados entre los sustratos.

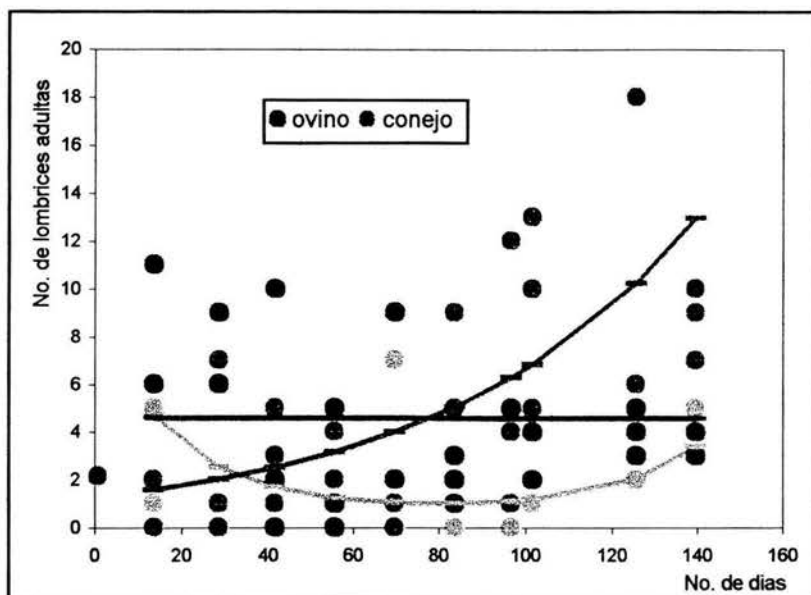
<i>Sustratos</i>	<i>DF</i>	<i>Chi- Cuadrada</i>	<i>Pr>Chi</i>	<i>Tipo</i>
B = C = O	8	114.2296	0.0001	LR
B = C	4	95.7038	0.0001	LR
B = O	4	27.6484	0.0001	LR
C = O	4	46.9439	0.0001	LR

B – sustrato bovino.

C – sustrato conejo.

O – sustrato ovino.

La Gráfica 5 muestra los valores estimados con el modelo para la población de lombrices adultas entre los diferentes sustratos, observándose un crecimiento decreciente en el sustrato bovino, una situación estable en el de ovino y un crecimiento exponencial en el de conejo.



Gráfica 5. Valores reales (●) y estimados (—) para la población de lombrices adultas.

Población de lombrices pre-cliteladas.

El Cuadro 19 muestra los resultados de comparar los modelos obtenidos para la población de lombrices inmaduras entre los sustratos. Los modelos obtenidos resultaron ser altamente significativos. Lo que indica que el número de lombrices juveniles tuvo una evolución distinta en el tiempo para los tres sustratos.

Cuadro 19. Comparación de los modelos para la población de individuos pre-clitelados muestreados entre los sustratos.

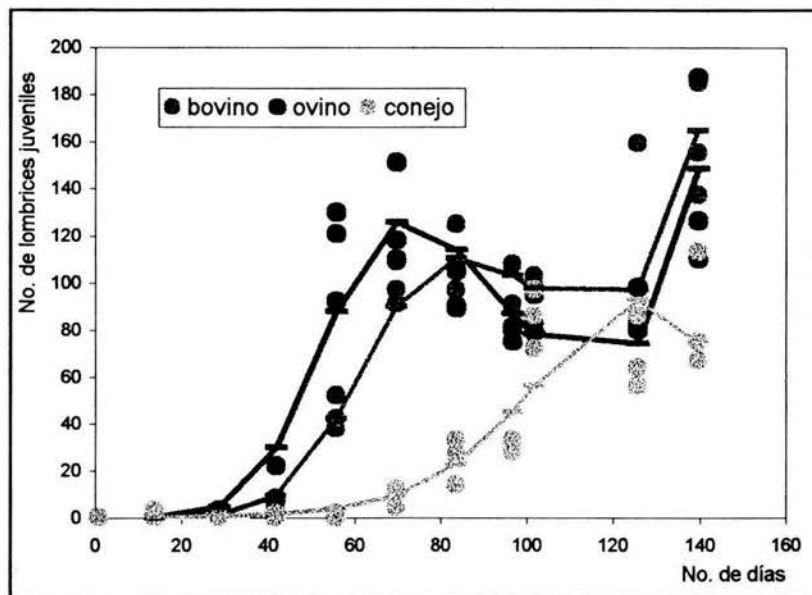
<i>Sustratos</i>	<i>DF</i>	<i>Chi- Cuadrada</i>	<i>Pr>Chi</i>	<i>Tipo</i>
B = C = O	8	1265.3733	0.0001	LR
B = C	4	769.8017	0.0001	LR
B = O	4	132.6603	0.0001	LR
C = O	4	1106.1295	0.0001	LR

B – sustrato bovino.

C – sustrato conejo.

O – sustrato ovino.

La Gráfica 6 muestra los valores estimados con el modelo para la población de lombrices juveniles entre los diferentes sustratos.



Gráfica 6. Valores reales (●) y estimados (—) para la población de lombrices juveniles.

Como se observa de la gráfica 6 el crecimiento de lombrices juveniles en los sustratos bovino y ovino fueron similares, ligeramente desplazados los de bovino y más tardío el crecimiento en el de conejo.

Producción de capullos.

El Cuadro 20 muestra los resultados de comparar los modelos obtenidos para la producción de capullos entre los sustratos. Los modelos obtenidos resultaron ser altamente significativos. Lo que indica que la tasa de reproducción de las lombrices tuvo una evolución distinta en el tiempo para los tres sustratos.

Cuadro 20. Comparación de los modelos para la producción de capullos entre los diferentes sustratos.

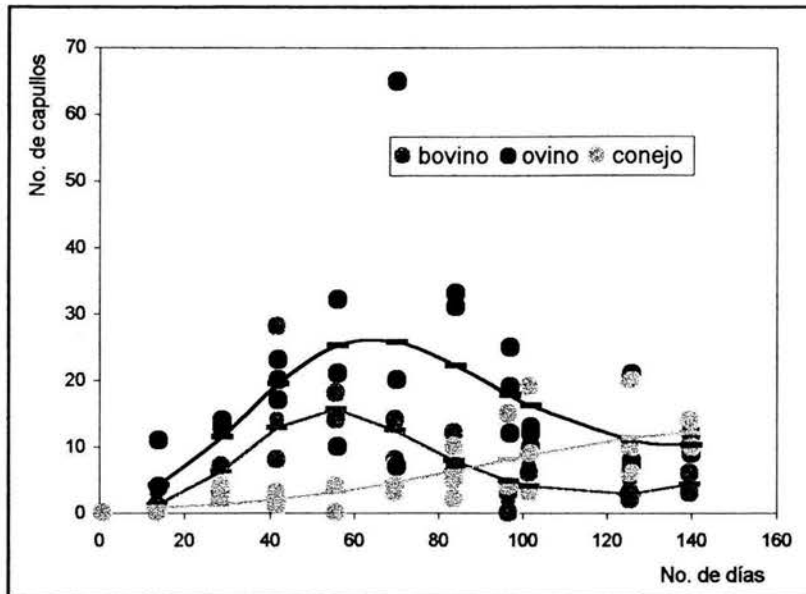
<i>Sustratos</i>	<i>DF</i>	<i>Chi- Cuadrada</i>	<i>Pr>Chi</i>	<i>Tipo</i>
B = C = O	8	323.02	0.0001	LR
B = C	4	119.27	0.0001	LR
B = O	4	129.12	0.0001	LR
C = O	4	245.84	0.0001	LR

B – sustrato bovino.

C – sustrato conejo.

O – sustrato ovino.

La Gráfica 7 muestra los valores estimados con el modelo para el muestreo de capullos entre los diferentes sustratos. En ella se observa una tendencia lineal para el crecimiento de capullos en el sustrato de conejo y normal para los otros sustratos, aunque mayor para la de ovino.



Gráfica 7. Valores reales (●) y estimados (—) por el modelo lineal para la cantidad de capullos.

Los Cuadros 21 y 22 muestran igualmente los resultados de comparar los modelos obtenidos para juveniles más capullos y el total de individuos (juv + adultas + capullos). Los modelos obtenidos mostraron una alta significancia estadística.

Cuadro 21. Comparación de los modelos para suma de juveniles más capullos entre los diferentes sustratos.

<i>Sustratos</i>	<i>DF</i>	<i>Chi- Cuadrada</i>	<i>Pr>Chi</i>	<i>Tipo</i>
B = C = O	8	1394.23	0.0001	LR
B = C	4	763.04	0.0001	LR
B = O	4	138.92	0.0001	LR
C = O	4	1302.67	0.0001	LR

B – sustrato bovino.

C – sustrato conejo.

O – sustrato ovino.

Cuadro 22. Comparación de los modelos para el total de juveniles + adultas + capullos entre los diferentes sustratos.

<i>Sustratos</i>	<i>DF</i>	<i>Chi- Cuadrada</i>	<i>Pr>Chi</i>	<i>Tipo</i>
B = C = O	8	1252.44	0.0001	LR
B = C	4	637.36	0.0001	LR
B = O	4	138.02	0.0001	LR
C = O	4	1192.23	0.0001	LR

B – sustrato bovino.

C – sustrato conejo.

O – sustrato ovino.

6.4 Maduración de la lombricomposta.

La madurez de una composta se asocia con la disminución o eliminación de la fitotoxicidad, una composta inmadura puede contener o producir altas cantidades de amoníaco libre, sales, ciertos ácidos orgánicos, metales pesados, componentes solubles en agua, los cuales pueden limitar la germinación y el desarrollo de las raíces de los cultivos (California compost quality council, 2000).

La estabilidad en la composta indica el grado en el cual la composta ha sido degradada a materiales más estables. Cuando se emplean lombrices de tierra se llama “vermiestabilización”, aquí las lombrices de tierra estabilizan los materiales orgánicos que han sido predigeridos a través del composteo aeróbico (Edwards y Bohlen, 1996).

La composta se considera lo suficientemente estable cuando puede ser manejada y almacenada al aire libre sin causar impactos ambientales (Spanos et al., 1998).

Las cualidades necesarias para una buena composta son (Diver, 2000):

- C:N cerca de 10 (estabilidad).
- Bajo contenido en sales (menos de 6 dSm⁻¹ para la aplicación hortícola y menos de 10 dSm⁻¹ para la aplicación agrícola).
- Tamaño medio de partículas.
- Contenido aceptable de humedad.
- pH cercano a 7 (de 6.5 a 8.5).
- Libre de semillas de malezas.
- Una tasa de germinación arriba de 85 %.

Por lo regular la madurez de una composta no es descrita por una sola propiedad, pero es suficiente con la medición de dos o más propiedades químicas o biológicas.

Prueba de germinación.

La prueba de germinación es un indicador simple y confiable de la madurez de la composta, ya que una composta inmadura tiene componentes fitotóxicos, como ya se ha mencionado.

La mayoría de las pruebas usan semillas de berro, pepino, trigo, rábano o cebada. Es común que se emplee el rábano (*Raphanus sativus* L.) ya que es una semilla pequeña, que germina y madura rápido y que es sensible a las sustancias fitotóxicas como los ácidos orgánicos temporalmente presentes en las compostas inmaduras. En estas pruebas se evalúa el porcentaje de germinación y el crecimiento de la raíz (Compost quality, 2000).

Hay que mencionar que estas pruebas no determinan la causa exacta del aumento en el crecimiento o la disminución de las plántulas en la germinación, ya sea por amoníaco, sales, ácidos orgánicos (ácido acético, aminas, etc.) o un pH bajo o alto, y que algunas

plantas son más tolerantes que otras a las concentraciones grandes de sales o a valores altos o bajos de pH (Compost Maturity Test, 1999).

Como se ha tratado en la revisión bibliográfica, existen varios estudios sobre el aumento del crecimiento vegetal en respuesta a la actividad de las lombrices de tierra (Lavelle *et al.*, 1992); ya sea a través de la incorporación y mineralización de la materia orgánica (Capistrán *et al.*, 1999), el efecto directo de productos metabólicos de las lombrices (Graff y Makeschin, 1980) y el mejoramiento de las características del suelo (Syers y Springett, 1984; Edwards y Lofty, 1980). En cuanto a la lombricomposta se le ha reconocido su gran valor como sustrato de crecimiento o tierra orgánica (potting soil) (Aranda y Barois, 2002).

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los bioensayos de germinación para evaluar la madurez de las lombricompostas obtenidas, presentando primero los resultados estadísticos de las variables registradas en la germinación de rábano y posteriormente en las de trigo.

Cuadro 23 . Resultados estadísticos de las variables analizadas del proceso de germinación de semillas de rábano *Raphanus sativus* L.

<i>Variables</i>	<i>Media</i>	<i>R-cuadrada</i>	<i>C.V.</i>	<i>Pr>f</i>
<i>Alt.</i>	7.367	0.532	9.75	0.1373
<i>No.</i>	9.444	0.21	8.37	0.9126
<i>Lrz.</i>	7.374	0.353	15.284	0.5731
<i>Hum.</i>	95.636	0.328	1.088	0.6459
<i>Whp.</i>	0.223	0.826	9.503	0.0002
<i>Wsp.</i>	0.009	0.179	20.413	0.9512

Alt. = altura cm
No. = promedio de semillas germinadas.
Lrz. = promedio de longitud de raíz cm
Hum. = humedad %
Whp. = peso húmedo por planta g
Wsp. = peso seco por planta. g

Cuadro 24. Comparación de medias para las variables de germinación de semillas de rábano.

<i>Sustrato</i>	<i>Alt.</i>	<i>No.</i>	<i>Lrz.</i>	<i>Hum.</i>	<i>Whp.</i>	<i>Wsp.</i>
<i>Bovino</i>	7.0311b	9.4444a	7.0389a	96.0133a	0.2425a	0.0096a
<i>Ovino</i>	7.9867a	9.4444a	7.9678a	95.8956a	0.2486a	0.0101a
<i>Conejo</i>	7.0311b	9.4444a	7.1156a	95.0011a	0.1792b	0.0088a

Cifras con las mismas letras no son diferentes (Tukey = 0.05).

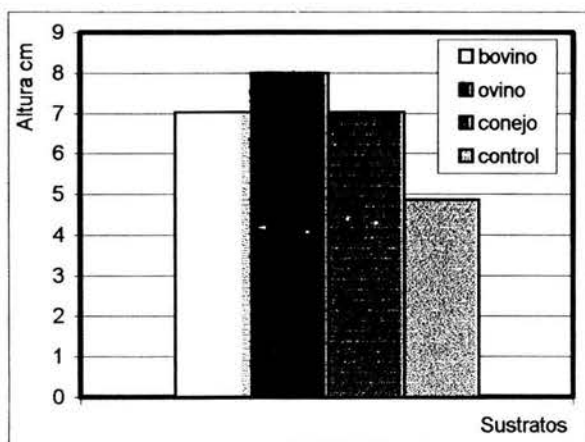
Altura.

A los 15 días de emergencia, la altura promedio de las plántulas de rábano no presentó significancia estadística (ver Cuadro 23) aunque el sustrato ovino mostró el mayor valor con 7.98 cm (Gráfica 8); en tanto que en plántulas de trigo si hubo significancia estadística (Cuadro 25). Observándose el valor más alto en el sustrato bovino con 12.21 cm (Cuadro 26) (Gráfica 9).

Las lombrices de tierra acumulan metales pesados en sus tejidos, y se han encontrado grandes concentraciones de metales en los turrículos, esto puede ser de interés como indicadores de la salud de un suelo. Sin embargo, mayor importancia tiene el papel de las lombrices en el enriquecimiento de los suelos con metales esenciales para el crecimiento vegetal, uno de estos es el molibdeno, el cual es cofactor para la nitrogenasa y la nitrato reductasa; su presencia es necesaria para la síntesis de proteínas y el crecimiento vegetal.

Aunque en este trabajo no se realizó el análisis de molibdeno, es importante mencionar que el crecimiento tanto de las plántulas de rábano, como las de trigo se deba en parte a este metal. Tomati y Galli (1995) pusieron a germinar semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) en placas petri, a 22°C durante 24 hrs. Después de la germinación, las semillas fueron transplantadas en vermicompostas (composteadas por *Eisenia fetida*) y suelos control. Las plantas que crecieron en la vermicomposta tenían un contenido mayor de molibdeno que el control.

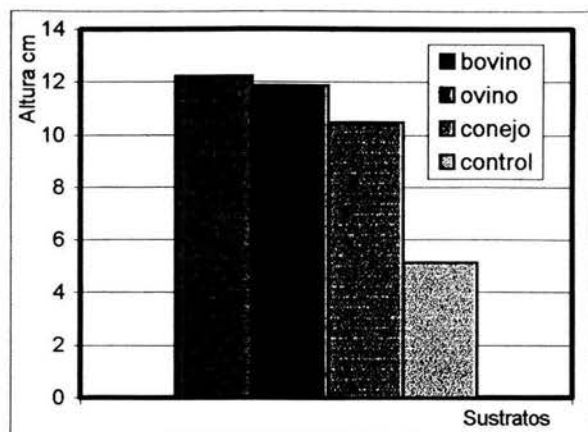
Además del contenido de molibdeno en los turrículos, estos autores también encontraron grandes cantidades de microorganismos fijadores de N₂ los cuales son comunes en el intestino de las lombrices. Estos son reguladores del crecimiento vegetal. Así mismo encontraron grandes cantidades de hormonas tales como auxinas, giberelinas, citoquininas.



Bovino	Ovino	Conejaza	Control
7.03 cm	7.99 cm	7.03 cm	4.86 cm

Gráfica 8. Comparación de altura en plántulas de rábano a los 15 días de emergidas.

Hay varios estudios que demuestran que el humus de lombriz aumentan tanto la altura como la longitud de la raíz de diferentes plantas; por ejemplo, Romero y Panzo (2002) encontraron que la lombricomposta de estiércol bovino al 25 % con 75 % de suelo, aumentaron el área foliar, masa seca y altura en plántulas de café. Hernández *et al.* (2002), en la evaluación de plántulas de narango amargo a diferentes porcentajes de humus de lombriz, encontraron que a mayor concentración de humus de lombriz, mayor era también la altura de la planta, ya que este favoreció el desarrollo aéreo y radicular de las plantas.



Bovino	Ovino	Conejaza	Control
12.21 cm	11.85 cm	10.47 cm	5.11 cm



Gráfica 9. Comparación de altura en plántulas de trigo, a los 15 días de emergidas.

Longitud de raíz.

IZT.

Respecto a la variable longitud de raíz para las plántulas de rábano, no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos (ver Cuadros 23 y 24). Aunque con el sustrato ovino al igual que en la variable altura, se encontró el valor más elevado en longitud de raíz (Gráfica 10). En el caso de las plántulas de trigo, la longitud de raíz tampoco presentó significancia estadística (Cuadros 25 y 26), pero el sustrato conejo en este caso obtuvo la mayor longitud de raíz, con 13.55 cm (Gráfica 11).

Cuadro 25. Resultados estadísticos de las variables analizadas del proceso de germinación de semillas de trigo *Triticum sativum*.

Variables	Media	R-cuadrada	C.V.	Pr>f
Alt.	11.507	0.72	10.486	0.006
No.	7.629	0.312	21.104	0.6913
Lrz.	14.784	0.516	14.019	0.1642
Hum.	90.857	0.313	1.481	0.687
Whp.	0.303	0.4001	17.558	0.4379
Wsp.	0.027	0.483	14.001	0.2273

Alt. = altura cm.
 No. = promedio de semillas germinadas.
 Lrz. = promedio de longitud de raíz cm
 Hum. = humedad %
 Whp. = peso húmedo por planta.
 Wsp. = peso seco por planta.

Cuadro 26. Comparación de medias para las variables de germinación de semillas de trigo.

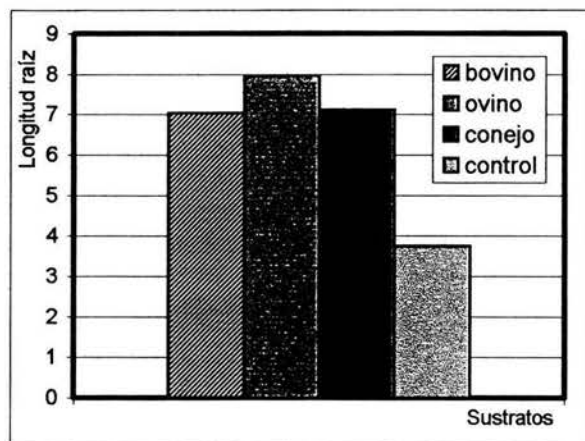
Sustratos	Alt.	No.	Lrz.	Hum.	Whp.	Wsp.
Bovino	12.2100a	7.1111a	13.5544a	90.6167a	0.3123ab	0.0291a
Ovino	11.8456ab	7.4444a	15.05a	91.1522a	0.3305a	0.0288a
Conejo	10.4678b	8.3333a	15.7478a	90.6167a	0.2653b	0.0239b

Cifras con las mismas letras no son diferentes (Tukey = 0.05, df = 4).

En experimentos de invernadero, Stephens *et al.* (1995) (citados por Edwards y Bohlen, 1996) reportaron que *A. trapezoides* y *A. rosea* incrementaba el crecimiento del

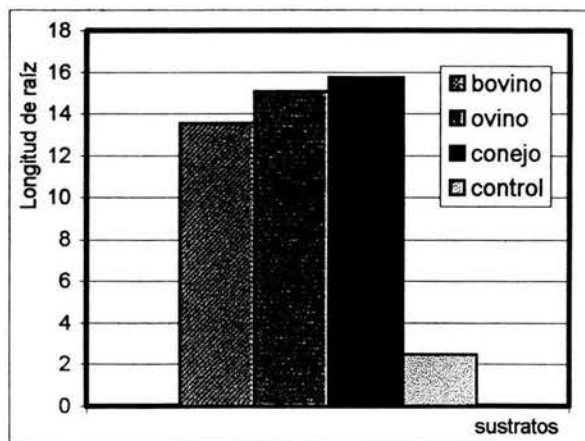
tallo y la longitud de la raíz de plantas de trigo, y también aumentaba las concentraciones de muchos nutrientes en los tallos de trigo.

Las lombrices de la especie *L. terrestris* incrementaron la longitud de las raíces de semillas de cebada en muestras de perfiles de suelo después de 89 días. En estas muestras, el aumento en longitud se debió principalmente a los canales que crean las lombrices. Pero mayor importancia tiene la deposición de turrículos sobre las paredes de las galerías, ya que las excretas tienen un pH más alto, más nitratos, más magnesio total e intercambiable, y así mismo más fósforo asimilable (Edwards y Lofty, 1978; Edwards y Lofty, 1980).



Bovino	Ovino	Conejaza	Control
7.04 cm	7.97 cm	7.12 cm	3.75 cm

Gráfica 10. Longitud de raíz en plántulas de rábano en diferentes sustratos.



Bovino	Ovino	Conejaza	Control
13.55 cm	15.05 cm	15.75 cm	2.47 cm

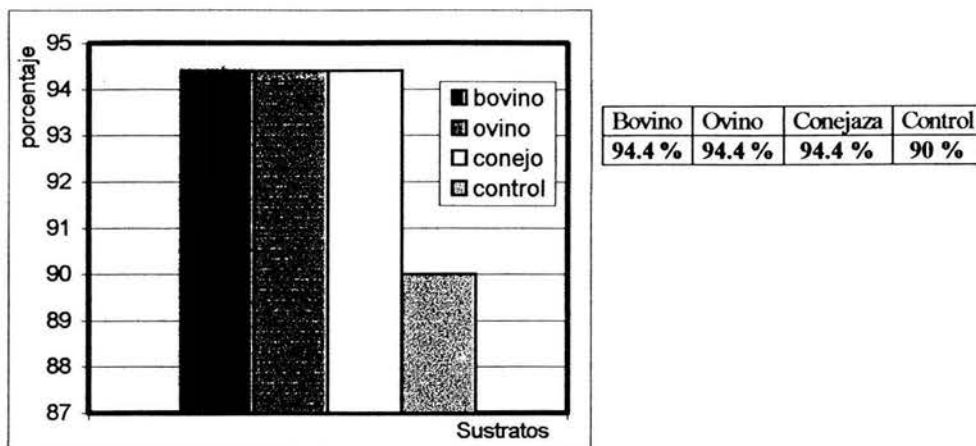
Gráfica 11. Longitud de raíz en plántulas de trigo en diferentes sustratos.

Porcentaje de germinación.

En el análisis de varianza del número de semillas de rábano germinadas, no se encontró respuesta por efecto de los sustratos (Cuadro 23), por lo tanto no hubo diferencias estadísticas entre ellos (Cuadro 24). Los tres sustratos tuvieron los mismos promedios de semillas germinadas con 9.44 (Gráfica 12) . Respecto a los valores obtenidos para las

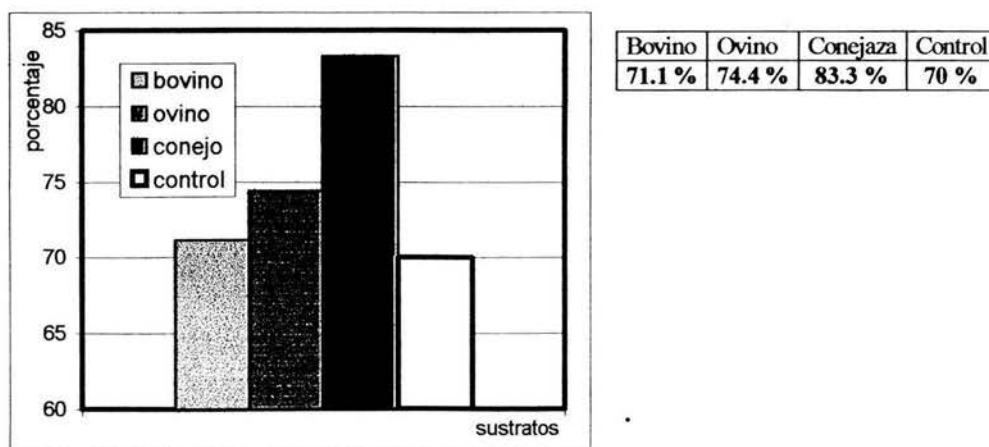
semillas de trigo, estos tampoco fueron significativos (Cuadro 25), aunque con conejaza se observó el promedio más alto (Gráfica 13).

La composta hecha de estiércol animal puede no ser apropiada para la germinación de semillas y transplantes, ya que es más alta en sales que las compostas provenientes de podas de jardín o desechos hortícolas. Así mismo hay mejores resultados en la germinación con compostas que son neutrales a alcalinas (Compost quality, 2000).



Gráfica 12. Porcentaje de germinación de semillas rábano en diferentes sustratos.

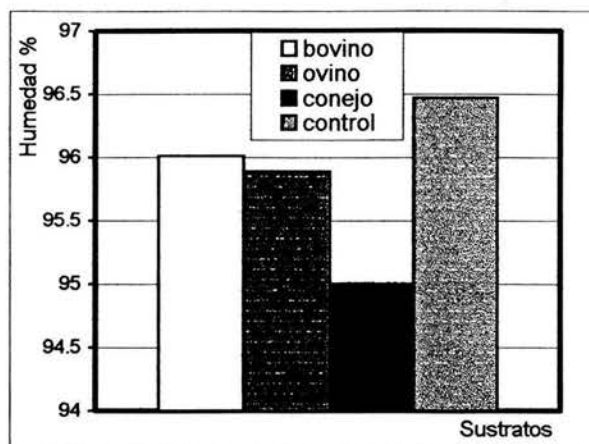
Los resultados obtenidos para la tasa de germinación (porcentaje) muestran que las lombricompostas están maduras, ya que la tasa de germinación para semillas de rábano fue de 94.4% (Gráfica 12), arriba del recomendado por Diver, (2000). Para las semillas de trigo, los porcentajes fueron menores (Gráfica 13), pero esto no indica completamente que las lombricompostas no se encuentren maduras, ya que pueden intervenir otros factores en la germinación, como la baja germinación propia de la semilla, como se observa en éste caso en el testigo de control. Edwards y Bohlen, (1996) afirman que la emergencia de semillas de tomates, col y rábano tendieron a ser buenas y mejores en desperdicios procesados por las lombrices que en un medio comercial de crecimiento, y mucho mejor que en desperdicios animales composteados sin lombrices.



Gráfica 13. Porcentaje de germinación de semillas de trigo en diferentes sustratos.

Porcentaje de humedad.

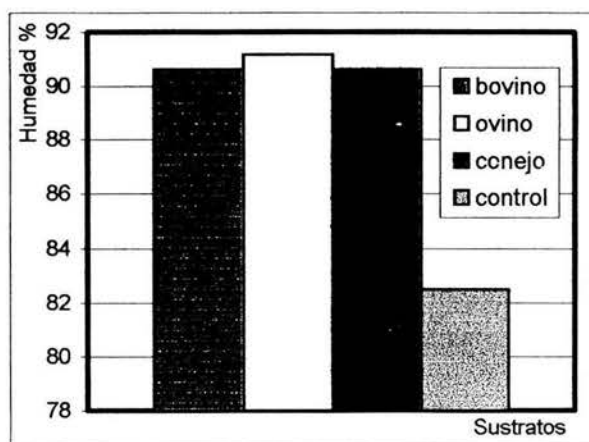
El porcentaje de humedad para las plántulas de rábano no tuvo respuesta estadística significativa (Cuadro 23), aunque con el sustrato de conejo se observó menor humedad de las plántulas (Cuadro 24) (Gráfica 14).



Bovino	Ovino	Conejaza	Control
96.013 %	95.895 %	95.001 %	96.47 %

Gráfica 14. Porcentaje de humedad en plántulas de rábano a los 15 días de emergidas.

Tampoco en las plántulas de trigo se encontró respuesta estadística por efecto de los sustratos (Cuadro 25), y a diferencia de lo observado con las plántulas de rábano, en trigo la respuesta fue más homogénea como se observa en la Gráfica 15.

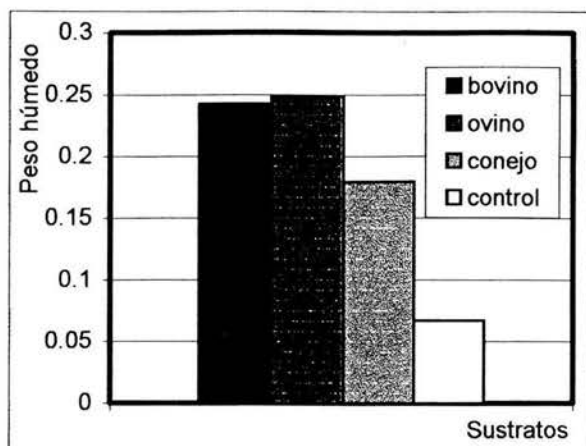


Bovino	Ovino	Conejaza	Control
90.616 %	91.152 %	90.616 %	82.48 %

Gráfica 15. Porcentaje de humedad en plántulas de trigo a los 15 días de emergidas.

Promedio de peso húmedo por planta.

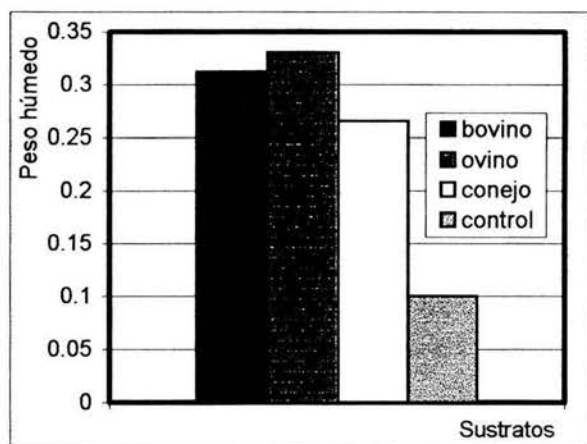
La variable de peso húmedo por plántula en rábano, medida a los 15 días de emergencia presentó una alta significancia estadística (Cuadro 23). El sustrato ovino mostró el valor más alto, mientras que la conejaza mostró el más bajo (Cuadro 24) (Gráfica 16).



Bovino	Ovino	Conejaza	Control
0.2424 g	0.2486 g	0.1793 g	0.0667 g

Gráfica 16. Peso húmedo en plántulas de rábano después de 15 días de germinación.

Los resultados estadísticos del peso húmedo por plántula de trigo no fueron significativos entre los sustratos (Cuadro 25), pero se observó también una tendencia de menor peso de plántula en el sustrato de conejo (Cuadro 28) (Gráfica 17).



Bovino	Ovino	Conejaza	Control
0.3123 g	0.3307 g	0.2654 g	0.1 g

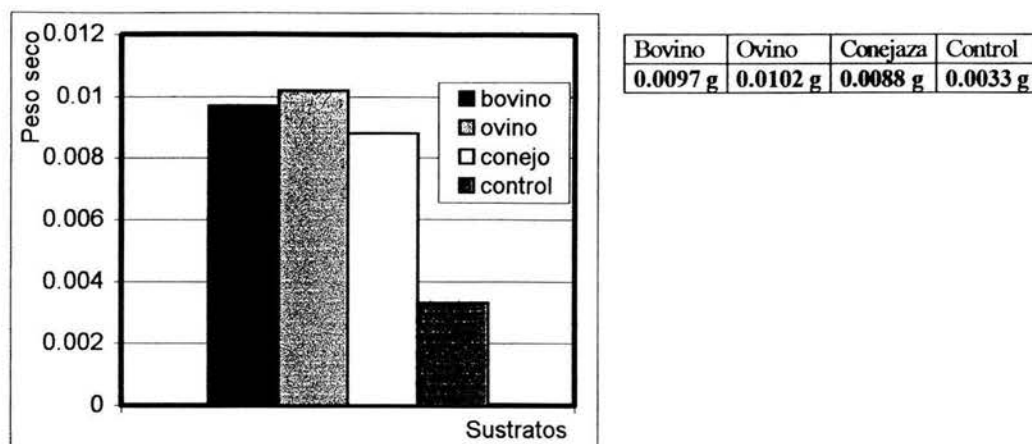
Gráfica 17. Peso húmedo en plántulas de trigo después de 15 días de germinación.

Peso seco de plántulas.

La variable de peso seco tiene un comportamiento similar a la peso húmedo de plántulas. En el análisis global no se obtuvieron diferencias estadísticas en rábano (Cuadro 23) ni en trigo (Cuadro 25), pero en la comparación de medias se observó menor peso cuando se usó lombricomposta de conejo durante la germinación de semillas de trigo (Cuadro 26).

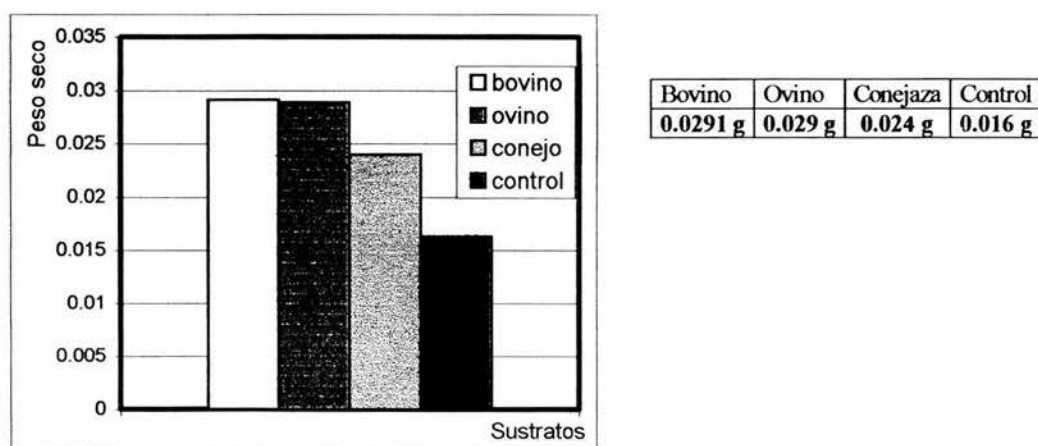
En la Gráfica 18 se presenta la comparación del peso seco de plántulas de rábano y en la Gráfica 19 el peso de las plántulas de trigo, observándose en ambos casos mejores respuestas en los sustratos ovino y bovino y menor con lombricompostas de conejo, pero en

los tres sustratos se observan valores por encima del control, lo que indica un aporte mineral de las lombricompostas que se transformó en materia seca.



Gráfica 18 . Peso seco por plántula de rábano a los 15 días de germinación.

Las lombricompostas de sustratos animales dieron mejor respuesta en las variables de altura, longitud de raíz, porcentaje de germinación, peso húmedo y peso seco de plántulas con respecto al control. De los tres sustratos analizados, aunque hubo diferencias en los bioensayos de rábano y trigo, la mayor altura, longitud de raíz y peso de plántulas de rábano se obtuvieron con las lombricompostas de ovino y las menores con las lombricompostas de conejo. En trigo hubo un estímulo en la germinación con la lombricomposta de conejo, al igual que para la longitud de raíz. Estos datos podrían sugerir que para hortalizas (rábano) la lombricomposta de ovino estimula la emergencia y desarrollo de las plántulas.



Gráfica 19. Peso seco por plántula de trigo a los 15 días de la germinación.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo permiten concluir lo siguiente:

1.- De los sustratos investigados, el estiércol ovino probó ser el mejor sustrato para el establecimiento de cultivos de lombrices de tierra; aunque con un mayor tiempo de composteo el estiércol de conejo puede también utilizarse, e incluso ser más adecuado que los otros sustratos. Si se quiere emplear estiércol de ganado bovino para el lombricompostaje, se recomienda no mezclarlo con purines, ya que estos aumentan la conductividad eléctrica del sustrato.

2.- El análisis estadístico demostró que los estadios poblacionales tuvieron una dinámica distinta en el tiempo para los sustratos investigados. En el sustrato ovino hubo un crecimiento poblacional más rápido y en el de conejo, más tardío.

3.- Después del lombricompostaje de los sustratos, estos resultaron ser materiales alcalinos, muy livianos y finos, con un nivel aceptable de humedad y baja conductividad eléctrica, también mostraron niveles altos de materia orgánica. De los estiércoles, la conejaza tuvo los porcentajes más altos de nitrógeno, fósforo y potasio.

4.- El bioensayo de germinación demostró que después del lombricompostaje de los sustratos, estos se encontraron maduros, también que hubo una diferente respuesta entre la germinación de semillas de rábano y trigo.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, B. G. 1997. Uso potencial de la lombriz de tierra *Eisenia fetida* en la transformación de desechos sólidos en Chapingo. Tesis de Licenciatura. UACH. México. 83 p.
- Agronomy Technical Note No.11. 2001. Agricultural management effects on earthworms populations. Soil Quality Agronomy Technical Notes. Soil Quality Institute. United States Department of Agriculture. www.statlab.iastate.edu/survey/SQI
- Aina, P. Q. 1984. Contribution of earthworms to porosity and water infiltration in a tropical soil under forest and long-term cultivation. *Pedobiologia* 26 (2): 131-136.
- Altieri, M. 1995. Agroecología: creando sinergias para una agricultura sostenible. Cuadernos de trabajo. No. 1. Grupo Interamericano para el desarrollo sostenible de la agricultura y los recursos naturales. México. 63 p.
- Altieri, M., C. I. Nicholls. 2000. Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable. Serie textos básicos para la formación ambiental. No.4. PNUMA. México. 250 p.
- Anderson, J. M. 1989. Invertebrate-mediated transport processes in soils, *en* Paoletti, M. G., B. R. Stinner (eds.). *Agricultural ecology and environment*. Elsevier Science Publishers. Netherlands. 5-19.
- Ansorena, M. J. 1994. Sustratos, propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 170 p.
- Aranda, E., I. Barois, P. Arellano, S. Irisson, T. Salazar, J. Rodríguez y J. C. Patron. 1999. Vermicomposting in the tropics, *en* Laveille, P., L. Brussaard y P. Hendrix (eds.). *Earthworm management in tropical agroecosystems*. CAB International. U. K. 253-287.
- Aranda, E., I. Barois. 2002. Usos y aplicaciones de las lombricompostas en México, *en* Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. UAEM. Toluca. México. 22-37.
- Atiyeh, R. M., J. Domínguez, S. Subler, C. A. Edwards. 2000. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*. 44, 709-724. www.urbanfischer.de/journals/pedo
- Barberis, R., P. Nappi. 1996. Evaluation of compost stability; *en* Bertoldi de, M., P. Sequi, B. Lemmes, T. Papi. *The science of composting*. Part 1. Chapman & Hall. England. 175-183.

- Barois, I., G. Villemin, P. Lavelle, F. Toutain. 1993. Transformation of the soil structure through *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta) intestinal tract. *Geoderma*. 57-66.
- Basker, A., J. H. Kirkman, A. N. Macgregor. 1994. Changes in potassium availability and other soil properties due to soil ingestion by earthworms. *Biol. Fertil. Soils*. 17: 154-158.
- Bellapart V. C. 1996. Nueva agricultura biológica en equilibrio con la agricultura química. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona. España. 300 p.
- Bellón, R. M. 1996. Agroecología y cambio tecnológico; algunas reflexiones, *en* Trujillo A. J. *et al*, (compiladores). *Ecología aplicada a la agricultura. Temas selectos de México*. UAM. Unidad Xochimilco. México. 151-156.
- Blanchart, E. 1992. Role of earthworms in the restoration of the macroaggregate structure of a destructured soil under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry*. 24, 1587-1594.
- Blanchart, E., A. Albrecht, J. Alegre, A. Duboisset, C. Gilot, B. Pashanasi, P. Lavelle y L. Brussaard. 1999. Effects of earthworms on soil structure and physical properties, *en* Lavelle, P., L. Brussaard, P. Hendrix (eds.). *Earthworm management in tropical agroecosystems*. CAB International. U. K. 149-171.
- Blevins, R. L., M. S. Smith, G. W. Thomas, W. W. Fry. 1983. Influence of conservation tillage on soil properties. *J. Soil Water Conservation*. 38:301-304.
- Bolton, P. J., Phillipson, J. 1976. Energy equivalents of earthworms, their egesta and a mineral soil. *Pedobiologia*. 16: 443-450.
- Bouché, M. B. 1977. Strategies lombriciens, *en* Lohm, U., T. Persson (eds.). *Soil organisms as components of ecosystems. Proc. 6th Int. Coll. Soil Zool. Ecol.*. Bull. Sweden. 122-132.
- Brookes, P. C., D. S. Powlson, D. S. Jenkinson. 1992. The microbial biomass in soil, *en* Edwards, C. A., B. R. Stinner, D. Stinner, S. Rabatin. *Biological interactions in soil*. Elsevier Science Publishers. The Netherlands. 123-125.
- Brown, S., J. M. Anderson, P. L. Woormer, M. J. Swift y E. Barrios. 1994. Soil biological processes in tropical ecosystems, *en* Woormer, P. L., M. J. Swift (eds.). *The biological management of tropical soil fertility*. John Wiley & Son. U.K. 15-46.
- Brussaard, L. 1994. Interrelationships between biological activities, soil properties and soil management, *en* Greenland, D. J., I. Szabolcs (eds.). *Soil resilience and sustainable land use*. CAB International. Great Britain. 309-329.
- Bugg, L. R. 1994. Earthworm Update. *Sustainable Agriculture/Technical Reviews*. 6(3): 11-13.

- Butt, K. R., James Frederickson, R. M. Morris. 1992. The intensive production of *Lumbricus terrestris* for soil amelioration. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 24. No. 12, 1321-1325.
- Capistrán, F., E. Aranda, J. C. Romero. 1999. Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje. Instituto de Ecología, A. C. Veracruz. México. 150 p.
- California Compost Quality Council. 2000. How do i know that compost is mature? Nevada City. C. A. www.ccgqc.org.
- Canovas, F. A., H. Marianne, R. M. Jiménez, M. M. Villalba. 1993. Tratado de agricultura ecológica. Instituto de Estudios Almerienses de la Diputación de Almería. Granada. 190 p.
- Cluzeau, D., L. Fayolle, M. Hubert. 1992. The adaptation value of reproductive strategy and mode in three epigeous earthworms species. *Soil Biol. Biochem*. Vol. 24. No. 12. 1309-1315.
- Coleman, D. C., D. A. Crossley, M. H. Beare y P. F. Hendrix. 1989. Interactions of organisms at root/soil and litter/soil interfaces in terrestrial ecosystems, *en* Paoletti, M. G., B. R. Stinner (eds.). *Agricultural ecology and environment*. Elsevier Science Publishers. Netherlands. 117-134.
- Compost maturity tests. 1999. www.compost.ifas.ufl.edu/
- Compost quality: performance requirement characteristics. 2000. California Integrated Waste management Board. September 8. www.ciwmb.ca.gov/Organics
- Corlay C. L., R. Ferrera-Cerrato, J. D. Etchevers, A. E. Alemán, J. A. Santizo. 1999. Cinética de grupos microbianos en el proceso de producción de composta y vermicomposta. *Agrociencia*. Vol. 33. 375-380.
- Curry, J.P. 1998. Factors affecting earthworm abundance in soils, *en* Edwards, A. Clive. *Earthworm ecology*. St. Lucie press. USA. 37-64.
- Daniel, O., J. M. Anderson. 1992. Microbial biomass and activity in contrasting soil materials after pasaje through the gut of the earthworm *Lumbricus rubellus* Hoffmeister. *Soil Biol. Biochem*. Vol. 24. No. 5. 465-470.
- Díaz J. R., J. Lamo de Espinosa (coordinadores). 1998. *Agricultura sostenible*. Ediciones Mundi-Prensa. España. 616 p.
- Dickerson, G. W. 2001. A sustainable approach to recycling urban and agricultural organic wastes. Cooperative Extensión Service. New México University. 10 p.

- Dindal, D. L., D. P. Schwert, J. P. Moreau y L. Theoret. 1977. Earthworm communities and soil nutrient levels as affected by municipal wastewater irrigation, *en* Lohm, U., T. Persson (eds.). Soil organisms as components of ecosystems. Proc. 6th Int. Coll. Soil Zool. Ecol. Bull. Sweden. 284-290.
- Diver, S. 2000. Compost quality standars. Appropriate technology transfer for rural areas (ATTRA). //ncatark.uark.edu/~steved/
- Doube, B. M. y O. Schmidt. 1997. Can the abundance or activity of soil macrofauna be used to indicate the biological health of soils? *en* Pankhurst, C. E., B. M. Doube y V. V. S. R. Gupta (eds.). Biological indicators of soil health. CAB International. Great Britain. 265-295.
- Durán, G. B. 1995. Efecto de la incorporación de lombriz de tierra y estiércol de bovino en el suelo sobre la producción de materia seca. Tesis de Licenciatura. Agroecología. UACH. 96 p.
- Edwards, C. A. 1977. Investigations into the influence of agricultural practice on soil invertebrates. *Ann. Appl. Biol.* 87, 513-535.
- Edwards, C. A. 1998. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes, *en* Edwards, C. A. Earthworm ecology. St. Lucie Press. USA. 327-353.
- Edwards, C. A., J. R. Lofty. 1978. The influence of arthropods and earthworms upon growth of direct drilled cereals. *Journal of Applied Ecology.* 15, 789-795.
- Edwards, C. A., J. R. Lofty. 1980. The influence of earthworms upon the root growth of direct drilled cereals. *Journal of Applied Ecology.* 17. 533-544.
- Edwards, C. A., S. M. Brown. 1982. Use of grassland plots to study the effects of pesticides on earthworms. *Pedobiologia.* 24: 145-150
- Edwards, C. A., I. Burrows, K. E. Fletcher, B. A. Jones. 1984. The use of earthworms for composting farm wastes, *en* Gasser, J. K. R. Composting of agricultural and other wastes. Elsevier Applied Science Publishers. London. Great Britain. 229-242.
- Edwards, C. A., I. Burrows. 1988. The potencial of earthworm compost as plant growth media, *en* Edwards, C. A y E. F. Neuhauser. Earthworms in enviromental and waste management. SPB Acad. Publ. The Netherlands. 210-220.
- Edwards, C. A., K. E. Fletcher. 1989. Interactions between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown, *en* Paoletti, M. G., B. R. Stinner (eds.). Agricultural ecology and environment. Elsevier Science Publishers. Netherlands. 235-247.
- Edwards, C. A., J. E. Bater. 1992. The use of earthworms in environmental management. *Soil. Biol. Biochem.* Vol. 24. No. 12. 1683-1689.

- Edwards, C. A., P. J. Bohlen. 1996. *Biology and Ecology of Earthworms*. Chapman & Hall. USA. 426 p.
- Ferrera-Cerrato R., J. Velasco, S. S. Romero. 1998. Vermicomposteo en la agricultura sostenible, *en* Memorias de Conferencias. Expo-Campo Michoacán. Fundación Produce Michoacán. SAGAR. INIFAP. COFOM. Gobierno del Estado de Michoacán. 27-51.
- Ferruzzi C. 1994. *Manual de lombricultura*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 74 p.
- Finstein, M. S., F. C. Miller. 1984. Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control, and cost effectiveness; *en* Gasser, J. K. R. (ed.). *Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Applied Science Publishers. London. Great Britain. 13-26.
- Graff, O., F. Makeschin. 1980. Crop yield of ryegrass influenced by the excretions of three earthworms species. *Pedobiologia*. 20, 176-180.
- Greenland, D. J. 1994. Soil science and sustainable land management, *en* Syers, J. K., D. L. Rimmer (eds.). *Soil science and sustainable land management in the tropics*. CAB International. U. K. 1-15.
- Guerrero A. 1990. *El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 206p.
- Guzmán C. G., M. González de M., E. Sevilla G. 2000. *Introducción a la Agroecología como desarrollo rural sostenible*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 535 p.
- Haimi, J., V. Huhta, M. Boucelham. 1992. Growth increase of birch seedling under the influence of earthworms – a laboratory study. *Soil Biol. Biochem.* 24, 1525-1528.
- Harinikumar, K. M., D. J. Bagyaraj. 1994. Potencial of earthworms, ants, millipedes, and termites for dissemination of vesicular-arbuscular micorrizal fungi in soil. *Biol. Fertil. Soils* 18:115-118.
- Hassink, J., F. J. Matus, C. Chenu y J. M. Dalenberg. 1997. Interactions between soil biota, soil organic matter, and soil structure, *en* Brussaard L., R. Ferrera-Cerrato. *Soil ecology in sustainable agricultural systems*. Lewis Publishers. USA. 15-35.
- Hauser, S., B. Vanlauwe, D. O. Asawalan, y L. Norgrove. 1997. Role of earthworms in traditional and improved low-input agricultural systems in West Africa, *en* Brussaard L., R. Ferrera-Cerrato. *Soil ecology in sustainable agricultural systems*. Lewis Publishers. USA. 113-136.

- Hendrix, P. F., R. W. Parmelee, D. A. Crossley, D. C. Coleman, E. P. Odum y P. M. Groffman. 1986. Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. *BioScience*. 36: 374-380.
- Hendrix, P. F., D. A. Crossley, J. M. Blair, D. C. Coleman. 1990. Soil biota as components of sustainable agroecosystems, *en* Edwards, C. A., R. Lal, P. Madder, R. H. Miller, G. House (eds.) Sustainable agricultural systems. St. Lucie Press. USA. 637-654.
- Hernández, A. J., M. L. Rincón, R. N. Jiménez. 1997. Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia fetida*) bajo condiciones de clima cálido. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 14: 387-392.
- Hernández S. M., Ma. A. López, J. M. M. García, A. Martínez. 2002. Evaluación de humus de lombriz en el desarrollo del patron *Citrus aurantium* en etapa de semillero, *en* Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. UAEM Toluca. México. 79-80.
- House, G. J., R. W. Parmelee. 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Tillage Res.* 5: 351-360.
- James, S. W. 1991. Soil, nitrogen, phosphorus and organic matter processing by earthworms in tallgrass prairie. *Ecology*. 72 (6). 2101-2109.
- James, S. W. 1996. Earthworms, *en* Hall, G. S. Methods for the examination of organismal diversity in soils and sediments. CAB International. USA. 249-262.
- Joschko, M., H. Diestel, O. Larink. 1989. Assessment of earthworm burrowing efficiency in compacted soil with a combination of morphological and soil physical measurement. *Biol. Fert. Soils*. 8: 191-196.
- Kale, D. R. 1998. Earthworms: nature's gift for utilization of organic wastes, *en* Edwards, Clive. A. Earthworm ecology. St. Lucie Press. USA. 355-376.
- Kale, D. R., B. C. Mallesh, B. Kubra, D. J. Bagyaraj. 1992. Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial populations in a paddy field. *Soil Biol.. Biochem.* Vol. 24. No. 12. 1317-1320.
- Kaplan, L. D., R. Hartenstein, E. F. Neuhauser, M. R. Malecki. 1980. Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. *Soil Biology Biochemistry*. Vol. 12. 347-352.
- Kladivko, E. J. 1993. Earthworms and crop management. *Agronomy* 279. Purdue Univ. Extensión Service. www.agcom.purdue.edu/AgCom/Pubs/AY/AY-279.html.
- Kladivko, E. J., A. D. Mackay, J. M. Bradford. 1986. Earthworms as a factor in the reduction of soil crusting. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 191-196.

- Koehler, H. N. 1992. The use of soil mesofauna for the judgement of chemical impact on ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 40, 193-205.
- Labrador, M J. 1996. La materia orgánica en los agroecosistemas. Mundi-Prensa. Madrid. España. 170 p.
- Lal, R. 1989. Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems, *en* Paoletti, M. G., B. R. Stinner (eds.). *Agricultural ecology and environment*. Elsevier Science Publishers. Netherlands. 101-115.
- Lal, R., A. Oluwole. 1983. Physical properties of earthworms casts as influenced by management. *Soil Science*. 135: 114-122.
- Lavelle, P., E. Blanchart y A. Martín. 1992. Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics, *en* Lal, R., T. J. Smith (eds.). *Myths and science of soils of the tropics*. Soil Science Society of America. Special Publication. No. 29. USA. 157-185.
- Lavelle, P., M. Dargerfield, C. Fragoso, V. Eschenbrenner, D. Lopez-Hernández, B. Pashanasi y L. Brussaard. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility, *en* Woormer, P. L., M. J. Swift (eds.). *The biological management of tropical soil fertility*. John Wiley & Son. U.K 137-169.
- Lavelle, P., C. Lattaud, D. Trigo y I. Barois. 1995. Mutualism and biodiversity in soils. *Plant and Soil*. 170: 23-33.
- Lavelle, P., B. Pashanasi, F. Charpenter, C. Gilot, J. Rossi, L. Derouard, J. Andre, J. Ponge y N. Bernier. 1998. Large-scale effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics, *en* Edwards, Clive. A. *Earthworm ecology*. St. Lucie Press. USA. 103-121.
- Lynch, J. M. 1987. Soil biology: accomplishments and potencial. *Soil Science Society of America Journal*. 51: 1409-1412.
- Machuca M. C. 1994. Estudio comparativo del efecto y uso de composta y vermicomposta (Anelido, Oligochaeta) en horticultura domestica. Tesis de Licenciatura. Universidad La Salle. México. 104 p.
- MacKay, A. D., Kladviko, E. J. 1985. Earthworms and rate of breakdown of soybean and maize residues in soil. *Soil Biol. Biochem*. 17: 851-857.
- Makeschin, F. 1997. Earthworms (Lumbricidae: Oligochaeta): important promoters of soil fertility, *en* Benckiser, G. *Fauna in soil ecosystems*. Marcel Dekker. New York. USA. 173-223.
- Marshall, A. J., W. D. Williams. 1980. Zoología de invertebrados. Editorial Reverté. España. 979 p.

- Martin, A. y J. C. Y. Marinissen. 1993. Biological and physico-chemical proceses in excrements of soil animals. *Geoderma*. 56, 331-347.
- Martínez, C. C. 1999. Potencial de la lombricultura. Elementos básicos para su desarrollo. *Lombricultura Técnica Mexicana*. México. 140 p.
- Martínez, C. C. 1999. Situación actual de la lombricultura en México, *en* Memorias del Simposium Internacional y Primera Reunión Nacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. UACH – C.P. México. 29-37.
- Martínez, C. C. 2000. Lombricultura, alternativa en la agricultura sustentable, *en* Martínez, C. C., L. Ramírez F. (compiladores). *Lombricultura y agricultura sustentable. Lombricultura técnica mexicana*. Texcoco. México. 135-153.
- Martínez, C. C. 2002. Necesidad del proceso de pre-composteo en la producción de lombricompostas, *en* Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. UAEM Toluca. México. 136-137.
- Meyer, E. 1996. Endogeic macrofauna, *en* Schinner, F., R. Ohlinger, E. Kandeler, R. Margesin (eds.). *Methods in soil biology*. Springer-Verlag. Berlin. Germany. 346-354.
- Miles, J. 1992. Soil in the ecosystems, *en* Edwards, C. A., B. R. Stinner, D. Stinner, S. Rabatin (eds.). *Biological interactions in soil*. Elsevier Science Publishers. The Netherlands. 407-427.
- Mulongoy, K., A. Bedoret. 1989. Properties of worm casts and surface soils under various plant cobres in the humid tropics. *Soil Biol. Biochem*. Vol. 21. No. 2, 197-203.
- National Soil Survey Center. 1998. Soil quality resource concerns: salinization, Soil quality information sheet. www.stablab.iastate.edu/survey/SQI/sqiinfo.html
- Neher, A. D., M. E. Barbercheck. 1999. Diversity and function of soil mesofauna, *en* Collins, W. W., C. O. Qualset. *Biodiversity in agroecosystems*. CRC Press. USA. 27-47.
- Neuhauser, E. F., R. Hartenstein, D. L. Kaplan. 1980. Growth of the earthworm *Eisenia fetida* in relation to population density and food rationing. *Oikos*. 35:93-98.
- Núñez M. A. 2000. Manual de técnicas agroecológicas. Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental. PNUMA. México. 94 p.
- Pankhurst, C. E. 1994. Biological indicators of soil health and sustainable productivity, *en* Greenland, D. J., I. Szabolcs (eds.). *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. CAB International. Great Britain. 331-351.

- Pequeño P. J. 1966. Agroquímica. Tomo I. Editorial Universitaria. La Habana. Cuba. 500 p.
- Perdue, J. C., D. A. Crossley. 1989. Seasonal abundance of soil mites (Acari) in experimental agroecosystems. Effects of drought in no-tillage and conventional tillage. *Soil Tillage Res.*, 15:117-124.
- Petal, J. E. Nowak, H. Jakubezyk, Z. Czerwinski. 1977. Effect of ants and earthworms on soil habitat modification, *en* Lohm, U., T. Persson (eds.). *Soil organisms as components of ecosystems. Proc. 6th Int. Coll. Soil Zool. Ecol. Bull. Sweden.* 501-503.
- Pimentel, D., U. Stachow, D. A. Takacs, H. W. Brubaker. 1992. Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *BioScience*. Vol. 42. No. 5. 354-362.
- Pizl, V. 1992. Effect of soil compactacion on earthworms (Lumbricidae) in apple orchard. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1573-1575.
- Porchas M. J. C., O. Reyes. 1993. Utilización de diferentes sustratos en la producción de lombriz roja de California (*Eisenia fetida*). Tesis de Licenciatura. UACH. México. 57 p.
- Rabbit manure fertilizer values. www.agric.nsw.gov.au/reader/4893#Appendix
- Rees, R. M., B. C. Ball, C. D. Campbell. 2001. Sustainable management of soil organic matter. CAB International. U. K.
- Reinecke, A. J., S. A. Viljoen. 1990. The influence of feeding patterns on growth and reproduction of the vermicomposting earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Biol. Fert. Soils* 10. 184-187.
- Reinecke, A. J., S. A. Viljoen y R. D. Saayman. 1992. The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* y *Eisenia fetida* (Oligochaeta) for vermicomposting in Southern Africa in terms of the temperature requirements. *Soil Biol. Biochem.* Vol 24. No. 12. pp. 1295-1307.
- Reines Álvarez, M., C. Rodríguez Aragonés, A. Sierra Padiz, Ma. M. Vázquez. 1998 . Lombrices de tierra con valor comercial. *Biología y técnicas de cultivo.* Universidad de Quintana Roo. México. 60 p.
- Rivero Hernández Rufino. 1993. La lombricultura y sus fundamentos. S.A.P.T. Publicaciones Técnicas. España. 150 p.
- Rivero, C., C. Carracedo. 1999. Efecto del uso de gallinaza sobre algunos parámetros de fertilidad química de dos suelos de pH contrastante. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 25: 83-93.

- Robledo, S. E., J. Pineda, L. Corlay-Chee, J. J. González, M. E. Álvarez. 2002. Vermicomposta y zeolita como sustratos alternativos para la producción de plántulas, *en* Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. UAEM Toluca. México. 159-161.
- Romero L. M. R. 2000. Agricultura orgánica. Elaboración y aplicación de abonos orgánicos, *en* Martínez C. C., L. Ramírez F. (compiladores). Lombricultura y agricultura sustentable. Lombricultura Técnica Mexicana. Texcoco. México. 125-134.
- Romero L. M. R., G. Panzo M. 2002. Efectos de lombricompostas en el desarrollo de plántulas de café (*Coffea arabica*) variedad Garnica, *en* Memorias del II Simposium Internacional y Reunión Nacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. UAEM Toluca. México. 156-157.
- Romero L. M. R., A. Trinidad S., R. García, R. Ferrera-Cerrato. 1999. Gallinaza, vermicomposta y composta con balance mineral en producción y sanidad de papa *en* Memorias del Simposium Internacional y Primera Reunión Nacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. UACH – C.P. México. 165-166.
- Ruz-Perez, B. E., P. R. Ball, R. W. Tillman. 1992. Laboratory assesment of nutrient release from a pasture soil receiving grass or clover residues in the presence or absence of *Lumbricus rubellus* or *Eisenia fetida*. Soil Biology and Biochemistry. Vol. 24. No. 12, 1529-1534.
- Santamaría-Romero, S., R. Ferrera-Cerrato. 2002. Dinámica poblacional de *Eisenia andrei* (Bouché 1972) en diferentes residuos orgánicos. Terra 20 (3): 303 - 310
- Santamaría-Romero, S., R. Ferrera-Cerrato, J. J. Almaraz-Suárez, A. Galvis-Spinola, I. Barois. 2001. Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N – total durante el composteo y vermicomposteo. Agrociencia. 35: 377-384.
- Satchell, J. E. 1971. Lumbricidos, *en* Burges, A., F. Raw. Biología del suelo. Ediciones Omega. Barcelona. España. 308-378.
- Satchell, J. E., K. Martin. 1984. Phosphatase activity in earthworm faeces. Soil Biol. Biochem. Vol. 16. No. 2. 191-194.
- Scholes, M. C., M. J. Swift, O. W. Heal, P. A. Sánchez, J. S. I. Ingram y R. Dalal. 1994. Soil fertility research in response to the demand for sustainability, *en* Woomer, P. L., M. J. Swift (eds.). The biological management of tropical soil fertility. John Wiley & Son. U.K. 1-13.
- Scullion, J., A. Malik. 2001. Organic matter in restored soils as affected by earthworms and land use, *en* Rees, R. M., B. C. Ball, C. D. Campbell (eds.). Sustainable management of soil organic matter. CAB International. U. K. 377-385.

- Sharpley, A. N., J. K. Syers, J. A. Springett. 1979. Effect of surface-casting earthworms on the transport of phosphorus and nitrogen in surface runoff from pasture. *Soil. Biol. Biochem.* 11. 459-462.
- Simpson K. 1991. *Abonos y estiércoles*. Editorial Acribia S. A. Zaragoza. España. 275 p.
- Spanos, K., G. Skodras, P. Koukos. 1998. Composting of organic residues. Forest Research Institute. Greece. 50 p.
- Springett, J. A. 1984. Effect of pH and calcium content of soil on earthworm cast production in the laboratory. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 16. No.2, 185-189.
- Stentiford, E. I. 1996. Composting control: principles and practice; *en* Bertoldi de, M., P. Sequi, B. Lemmes, T. Papi. *The science of composting. Part 1.* Chapman & Hall. England. 49-59.
- Stewart, V. I., J. Scullion, R. O. Salih, K. H. Albakri. 1988. Earthworms and structure rehabilitation in subsoils and in topsoils affected by opencast mining for coal. *Biol. Agric. Hort.* 5: 325-338.
- Swift, M. J., K. A. Dvorak, K. Mulongoy, M. Musoko, N. Sanginga, G. Tian. 1994. The role of soil organisms of tropical cropping systems, *en* Syers, J. K., D. L. Rimmer (eds). *Soil science and sustainable land management in the tropics.* CAB International. U. K. 155-172.
- Syers, J. K., J. A. Springett. 1984. Earthworms and soil fertility. *Plant and soil.* 76, 93-104.
- Tomati, V., A. Grappelli, E. Galli. 1988. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biol. Fétil. Soils.* 5: 288-294.
- Tomati, V., E. Galli. 1995. Earthworms, soil fertility and plant productivity. *Acta Zol. Fennica.* 196: 11-14.
- Trejo T. L. 1995. Establecimiento del cultivo de lombriz de tierra sobre estiércol bovino. Tesis de Licenciatura. UACH. México. 100 p.
- Trinidad S. A. 1999. El papel de los abonos orgánicos en la productividad de los suelos, *en* Memorias del Simposium Internacional y Primera Reunión Nacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. UACH – C.P. Chapingo, Estado de México, México. 3-16.
- Villenave, C., F. Charpenter, P. Lavelle, C. Séller, L. Brussaard, B. Pashanasi, I. Barois, A. Albrecht y J. Patrón. 1999. Effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics following earthworm inoculation in field experimental situations, *en* Lavelle, P., L. Brussaard, P. Hendrix (eds.). *Earthworm management in tropical agroecosystems.* CAB International. U.K. 300 p.

- Wardle, D. A., G. W. Yeates, R. N. Watson y K. S. Nicholson. 1995. The detritus food-web and the diversity of soil fauna as indicators of disturbance regimes in agroecosystems. *Plant and soil*. 170: 35-43.
- Wardle, D. A., K. E. Giller y G. M. Barker. 1999. The regulación and funtional significance of soil biodiversity in agroecosystems, *en* Wood, D. J., M. Lenné (eds.). *Agrobiodiversity. Characterization, utilization and management*. CAB International. U.K. 87-121.
- Weisz, B. P. 1974. *La ciencia de la zoología*. Ediciones Omega. Barcelona. España. 933 p.
- Werner, R. M. 1990. Earthworm ecology and sustainable agriculture. *Components*. Vol. 1, No. 4. University of California. Sustainable agriculture research & education program. 10 p.
- Wilkinson, W. 1977. Effects of direct drilling on soil microarthropods. *Ann. Appl. Biol.* 87, 513-535.
- Yeates, G. W. 1981. Soil nematode populations depressed in the presence of earthworms. *Pedobiologia*. 22: 191-195.
- Zhang, H., Schrader, S. 1993. Earthworms effects on selected physical and chemical properties of soil aggregates. *Biol. Fétil. Soils* 15: 229-234.

ANEXO

Análisis químicos de los sustratos precomposteados.

Cuadro 27. Resultados del análisis químico de los sustratos precomposteados.

<i>tr</i>	<i>rp</i>	<i>ph</i>	<i>ce</i>	<i>nt</i>	<i>p</i>	<i>k</i>	<i>ca</i>	<i>mg</i>
1	1	8.84	26.60	1.60	0.85	1.73	1.75	0.59
1	2	9.11	24.90	1.82	0.92	1.84	1.88	0.68
1	3	8.95	23.30	1.78	0.77	1.54	1.52	0.54
2	1	8.92	16.91	2.34	1.05	2.07	2.26	0.73
2	2	8.90	21.00	2.26	0.87	1.73	2.07	0.74
2	3	8.70	12.39	2.26	1.06	1.82	2.22	0.75
3	1	9.04	30.80	2.08	1.15	2.82	3.31	0.95
3	2	8.84	29.30	2.37	1.17	2.94	3.07	0.95
3	3	8.83	28.10	2.37	1.32	2.76	3.47	1.09

t1= sustrato con estiércol bovino
t2= sustrato con estiércol ovino
t3= sustrato con conejaza

Análisis fisico-químicos y biológicos de los sustratos lombricomposteados.

Cuadro 28. Resultados del análisis físico y biológico de los sustratos vermicomposteados.

<i>Tr</i>	<i>rp</i>	<i>ds</i>	<i>dh</i>	<i>hum</i>	<i>fin</i>	<i>bac</i>	<i>hog</i>	<i>act</i>
1	1	0.722	0.714	55.65	50.37	5400000	130000	38000
1	2	0.770	0.694	55.76	45.07	6900000	180000	45000
1	3	0.747	0.724	59.71	58.30	8400000	210000	37000
2	1	0.648	0.606	44.65	45.83	910000	610000	39000
2	2	0.705	0.618	50.94	46.52	630000	480000	43000
2	3	0.684	0.617	49.08	51.51	720000	390000	41000
3	1	0.408	0.518	40.66	52.31	7200000	260000	49000
3	2	0.370	0.522	38.32	39.98	6600000	340000	61000
3	3	0.347	0.499	38.90	56.87	8900000	430000	60000

t1= sustrato con estiércol bovino
t2= sustrato con estiércol ovino
t3= sustrato con conejaza

Cuadro 29. Resultados del análisis químico de los sustratos vermicomposteados.

<i>Tr</i>	<i>rp</i>	<i>nt1</i>	<i>nt2</i>	<i>pH1</i>	<i>pH2</i>	<i>ce</i>	<i>mo</i>	<i>pt</i>	<i>kt</i>
1	1	1.91	0.62	9.15	8.29	4.21	13.43	0.83	0.61
1	2	1.94	0.88	9.27	8.31	4.36	14.79	0.84	0.56
1	3	1.98	0.77	9.24	8.57	3.11	17.48	0.85	0.51
2	1	2.02	1.13	9.11	8.01	4.01	20.17	1.03	0.49
2	2	2.30	1.31	9.20	8.41	4.07	18.15	0.97	0.54
2	3	2.28	1.13	9.00	8.13	4.80	19.50	1.20	0.60
3	1	2.35	1.60	9.17	8.34	6.86	26.89	1.59	0.62
3	2	2.54	1.68	9.21	8.42	4.57	25.55	1.49	0.63
3	3	2.65	1.60	9.20	8.48	4.67	28.24	1.58	0.68

t1= sustrato con estiércol bovino
t2= sustrato con estiércol ovino
t3= sustrato con conejaza

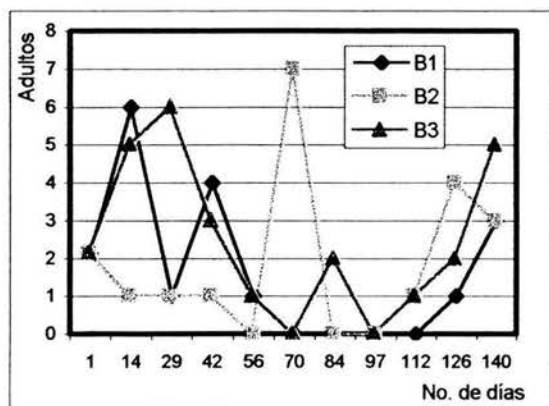
Crecimiento poblacional de *Eisenia fetida* Savigny.

Cuadro 30 . Número de individuos adultos, juveniles y capullos de la lombriz *Eisenia fetida* por unidad de muestreo en el sustrato con estiércol de ganado bovino.

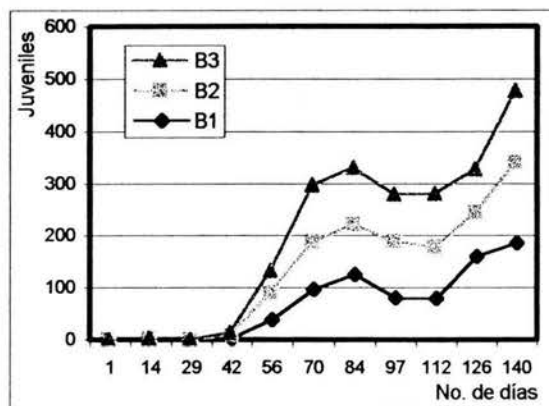
SUSTRATO BOVINO (modulo 1)				
Fecha	Día	Adultos	Juveniles	Capullos
2 de mayo de 2001	1	2.14	0	0
15 de mayo de 2001	14	6	0	1
30 de mayo de 2001	29	1	0	7 (10 kg de alimento)
13 de junio de 2001	42	4	3	8
27 de junio de 2001	56	1	38	18 (10 kg de alimento)
11 de julio de 2001	70	0	97	8
25 de julio de 2001	84	0	125	10 (10 kg de alimento)
7 de agosto de 2001	97	0	81	0
22 de agosto de 2001	112	0	79	6 (10 kg de alimento)
5 de sept. de 2001	126	1	159	2
19 de sept. de 2001	140	3	185	6
SUSTRATO BOVINO (modulo 2)				
2 de mayo de 2001	1	2.14	0	0
15 de mayo de 2001	14	1	2	0
30 de mayo de 2001	29	1	0	3 (10 kg de alimento)
13 de junio de 2001	42	1	6	28
27 de junio de 2001	56	0	52	14 (10 kg de alimento)
11 de julio de 2001	70	7	91	14
25 de julio de 2001	84	0	97	12 (10 kg de alimento)
7 de agosto de 2001	97	0	108	3
22 de agosto de 2001	112	1	99	3 (10 kg de alimento)
5 de sept. de 2001	126	4	86	3
19 de sept. de 2001	140	3	155	3
SUSTRATO BOVINO (modulo 3)				
2 de mayo de 2001	1	2.14	0	0
15 de mayo de 2001	14	5	1	3
30 de mayo de 2001	29	6	0	2 (10 kg de alimento)
13 de junio de 2001	42	3	5	14
27 de junio de 2001	56	1	42	10 (10 kg de alimento)
11 de julio de 2001	70	0	109	7
25 de julio de 2001	84	2	108	12 (10 kg de alimento)
7 de agosto de 2001	97	0	91	2
22 de agosto de 2001	112	1	103	7 (10 kg de alimento)
5 de sept. de 2001	126	2	83	5
19 de sept. de 2001	140	5	137	3

Cuadro 31. Comparación del número de individuos adultos, pre-clitelados y capullos muestreados en cada bloque experimental de sustrato bovino.

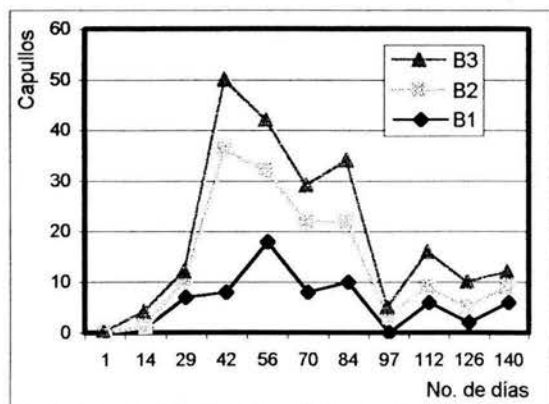
Día	Adultos			Juveniles			Capullos		
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
1	2.14	2.14	2.14	0	0	0	0	0	0
14	6	1	5	0	2	1	1	0	3
29	1	1	6	0	0	0	7	3	2
42	4	1	3	3	6	5	8	28	14
56	1	0	1	38	52	42	18	14	10
70	0	7	0	97	91	109	8	14	7
84	0	0	2	125	97	108	10	12	12
97	0	0	0	81	108	91	0	3	2
112	0	1	1	79	99	103	6	3	7
126	1	4	2	159	86	83	2	3	5
140	3	3	5	185	155	137	6	3	3



Gráfica 20. Comportamiento poblacional de lombrices adultas muestreadas en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de ganado bovino.



Gráfica 21. Comportamiento poblacional de lombrices pre-cliteladas muestreadas en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de ganado bovino.



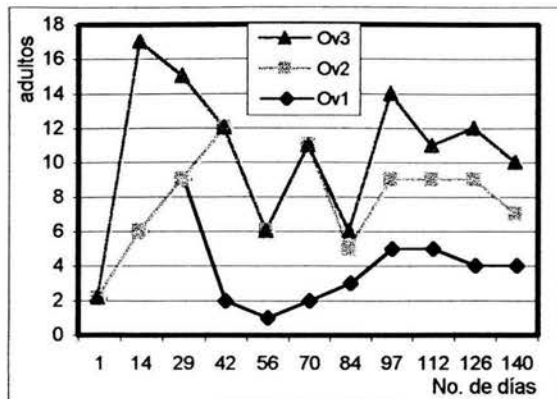
Gráfica 22. Número de capullos muestreados en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de ganado bovino.

Cuadro 32. Número de individuos adultos, juveniles y capullos de la lombriz *Eisenia fetida* por unidad de muestreo en el sustrato con estiércol de ganado ovino.

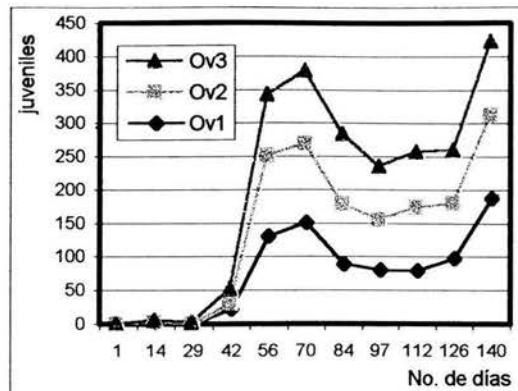
SUSTRATO OVINO (modulo 1)				
Fecha	Día	Adultos	Juveniles	Capullos
2 de mayo de 2001	1	2.14	0	0
15 de mayo de 2001	14	6	3	4
30 de mayo de 2001	29	9	0	13 (10 kg de alimento)
13 de junio de 2001	42	2	22	23
27 de junio de 2001	56	1	130	32 (10 kg de alimento)
11 de julio de 2001	70	2	151	20
25 de julio de 2001	84	3	89	31 (10 kg de alimento)
7 de agosto de 2001	97	5	80	19
22 de agosto de 2001	112	5	79	13 (10 kg de alimento)
5 de sept. de 2001	126	4	98	21
19 de sept. de 2001	140	4	187	12
SUSTRATO OVINO (modulo 2)				
2 de mayo de 2001	1	2.14	0	0
15 de mayo de 2001	14	0	0	0
30 de mayo de 2001	29	0	0	4 (10 kg de alimento)
13 de junio de 2001	42	10	8	17
27 de junio de 2001	56	5	121	21 (10 kg de alimento)
11 de julio de 2001	70	9	118	65
25 de julio de 2001	84	2	90	33 (10 kg de alimento)
7 de agosto de 2001	97	4	75	12
22 de agosto de 2001	112	4	95	12 (10 kg de alimento)
5 de sept. de 2001	126	5	83	7
19 de sept. de 2001	140	3	126	9
SUSTRATO OVINO (modulo 3)				
2 de mayo de 2001	1	2.14	0	0
15 de mayo de 2001	14	11	3	11
30 de mayo de 2001	29	6	3	14 (10 kg de alimento)
13 de junio de 2001	42	0	22	20
27 de junio de 2001	56	0	92	10 (10 kg de alimento)
11 de julio de 2001	70	0	110	7
25 de julio de 2001	84	1	105	7 (10 kg de alimento)
7 de agosto de 2001	97	5	81	25
22 de agosto de 2001	112	2	84	10 (10 kg de alimento)
5 de sept. de 2001	126	3	80	8
19 de sept. de 2001	140	3	110	10

Cuadro 33. Comparación del número de individuos adultos, pre-clitelados y capullos muestreados en cada bloque experimental del sustrato ovino.

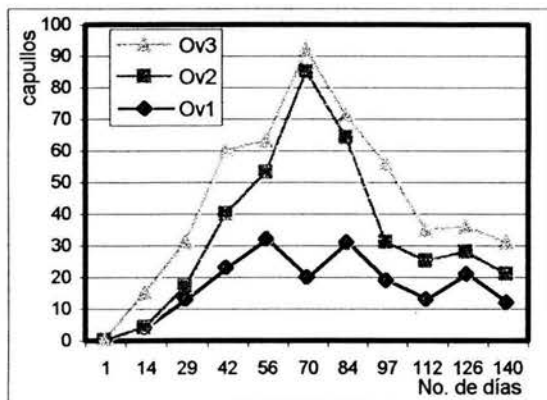
Día	Adultos			Juveniles			Capullos		
	Ov1	Ov2	Ov3	Ov1	Ov2	Ov3	Ov1	Ov2	Ov3
1	2.14	0	0	0	0	0	0	0	0
14	6	0	11	3	0	3	4	0	11
29	9	0	6	0	0	3	13	4	14
42	2	10	0	22	8	22	23	17	20
56	1	5	0	130	121	92	32	21	10
70	2	9	0	151	118	110	20	65	7
84	3	2	1	89	90	105	31	33	7
97	5	4	5	80	75	81	19	12	25
112	5	4	2	79	95	84	13	12	10
126	4	5	3	98	83	80	21	7	8
140	4	3	3	187	126	110	12	9	10



Gráfica 23. Comportamiento poblacional de lombrices adultas muestreadas en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de borrego.



Gráfica 24. Comportamiento poblacional de lombrices pre-cliteladas muestreadas en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de borrego.



Gráfica 25. Número de capullos muestreado en los bloques experimentales del sustrato con estiércol de borrego.

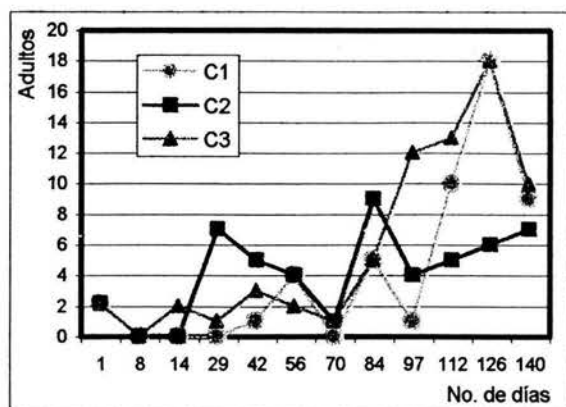
Cuadro 34. Número de individuos adultos, juveniles y capullos de la lombriz *Eisenia fetida* por unidad de muestreo en el sustrato con conejaza.

SISTRATO CONEJO (modulo 1)				
Fecha	Día	Adultos	Juveniles	Capullos
2 de mayo de 2001	1	2.14	0	0
9 de mayo de 2001	8	0	0	0
15 de mayo de 2001	14	0	1	0
30 de mayo de 2001	29	0	0	2 (10 kg de alimento)
13 de junio de 2001	42	1	0	1
27 de junio de 2001	56	4	0	4 (10 kg de alimento)
11 de julio de 2001	70	0	12	4
25 de julio de 2001	84	5	14	2 (10 kg de alimento)
7 de agosto de 2001	97	1	33	4
22 de agosto de 2001	112	10	97	19 (10 kg de alimento)
5 de sept de 2001	126	18	86	20
19 de sept de 2001	140	9	113	14

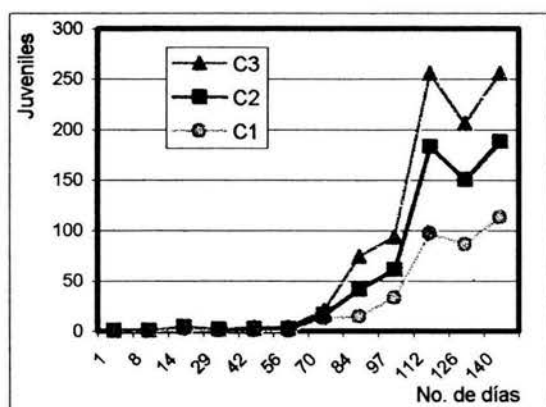
SUSTRATO CONEJO (modulo 2)					
2 de mayo de 2001	1	2.14	0	0	
9 de mayo de 2001	8	0	0	0	
15 de mayo de 2001	14	0	3	0	
30 de mayo de 2001	29	7	1	4	(10 kg de alimento)
13 de junio de 2001	42	5	2	3	
27 de junio de 2001	56	4	2	0	(10 kg de alimento)
11 de julio de 2001	70	1	4	3	
25 de julio de 2001	84	9	27	10	(10 kg de alimento)
7 de agosto de 2001	97	4	28	4	
22 de agosto de 2001	112	5	86	3	(10 kg de alimento)
5 de sept de 2001	126	6	64	10	
19 de sept de 2001	140	7	75	10	
SUSTRATO CONEJO (modulo 3)					
2 de mayo de 2001	1	2.14	0	0	
9 de mayo de 2001	8	0	0	0	
15 de mayo de 2001	14	2	0	0	
30 de mayo de 2001	29	1	0	2	(10 kg de alimento)
13 de junio de 2001	42	3	1	2	
27 de junio de 2001	56	2	1	4	(10 kg de alimento)
11 de julio de 2001	70	1	4	3	
25 de julio de 2001	84	5	33	5	(10 kg de alimento)
7 de agosto de 2001	97	12	32	15	
22 de agosto de 2001	112	13	72	9	(10 kg de alimento)
5 de sept de 2001	126	18	56	6	
19 de sept de 2001	140	10	67	10	

Cuadro 35. Comparación del número de individuos adultos, pre-clitelados y capullos muestreados en cada bloque experimental del sustrato conejo.

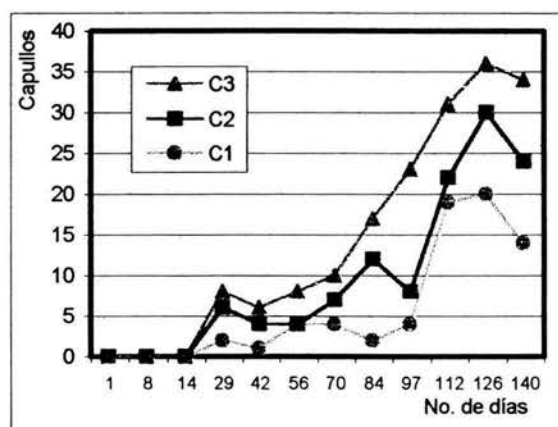
Día	Adultos			Juveniles			Capullos		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
1	2.14	2.14	2.14	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	2	1	3	0	0	0	0
29	0	7	1	0	1	0	2	4	2
42	1	5	3	0	2	1	1	3	2
56	4	4	2	0	2	1	4	0	4
70	0	1	1	12	4	4	4	3	3
84	5	9	5	14	27	33	2	10	5
97	1	4	12	33	28	32	4	4	15
112	10	5	13	97	86	72	19	3	9
126	18	6	18	86	64	56	20	10	6
140	9	7	10	113	75	67	14	10	10



Gráfica 26. Comportamiento poblacional de lombrices adultas muestreadas en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de conejo



Gráfica 27. Comportamiento poblacional de lombrices pre-cliteladas muestreadas en los bloques experimentales con sustrato de estiércol de conejo.



Gráfica 28. Número de capullos muestreados en bloques experimentales de sustrato con estiércol de conejo.

Cuadro 36. Resultados de los datos originales estimados con el modelo lineal generalizado.

Trat	Rep	Dia	Estimados con el modelo							
			Adultos	Juveniles	Capullos	Adultos	Juveniles	Capullos	Juv+Cap	Total
bovino	1	1	2.14	0	0					
bovino	1	14	6	0	1	4.7	0.0	1.1	0.4	1.5
bovino	1	29	1	0	7	2.5	0.9	6.1	5.4	10.3
bovino	1	42	4	3	8	1.7	9.0	12.7	24.1	31.6
bovino	1	56	1	38	18	1.2	42.2	15.5	63.1	65.9
bovino	1	70	0	97	8	1.0	89.4	12.4	99.5	95.2
bovino	1	84	0	125	10	1.0	110.5	7.7	111.7	107.5
bovino	1	97	0	81	0	1.1	103.0	4.7	106.1	107.0
bovino	1	102	0	79	6	1.2	97.7	4.0	102.8	105.9
bovino	1	126	1	159	2	2.0	97.0	2.8	108.2	116.8
bovino	1	140	3	185	6	3.4	164.3	4.3	163.9	163.4
bovino	2	1	2.14	0	0					
bovino	2	14	1	2	0					

bovino	2	29	1	0	3					
bovino	2	42	1	6	28					
bovino	2	56	0	52	14					
bovino	2	70	7	91	14					
bovino	2	84	0	97	12					
bovino	2	97	0	108	3					
bovino	2	102	1	99	3					
bovino	2	126	4	86	3					
bovino	2	140	3	155	3					
bovino	3	1	2.14	0	0					
bovino	3	14	5	1	3					
bovino	3	29	6	0	2					
bovino	3	42	3	5	14					
bovino	3	56	1	42	10					
bovino	3	70	0	109	7					
bovino	3	84	2	108	12					
bovino	3	97	0	91	2					
bovino	3	102	1	103	7					
bovino	3	126	2	83	5					
bovino	3	140	5	137	3					
ovino	1	1	2.14	0	0	4.6	0.1	4.2	1.5	3.7
ovino	1	14	6	3	4	4.6	4.5	11.5	16.1	24.4
ovino	1	29	9	0	13	4.6	29.5	19.4	56.9	66.6
ovino	1	42	2	22	23	4.6	87.5	25.1	115.6	117.1
ovino	1	56	1	130	32	4.6	125.8	25.7	143.1	139.3
ovino	1	70	2	151	20	4.6	114.0	22.2	129.7	129.5
ovino	1	84	3	89	31	4.6	86.7	17.8	105.2	110.3
ovino	1	97	5	80	19	4.6	78.0	16.2	97.2	103.8
ovino	1	102	5	79	13	4.6	74.3	11.0	93.5	102.2
ovino	1	126	4	98	21	4.6	148.0	10.3	152.9	152.8
ovino	1	140	4	187	12					
ovino	2	1	2.14	0	0					
ovino	2	14	0	0	0					
ovino	2	29	0	0	4					
ovino	2	42	10	8	17					
ovino	2	56	5	121	21					
ovino	2	70	9	118	65					
ovino	2	84	2	90	33					
ovino	2	97	4	75	12					
ovino	2	102	4	95	12					
ovino	2	126	5	83	7					
ovino	2	140	3	126	9					
ovino	3	1	2.14	0	0					
ovino	3	14	11	3	11					
ovino	3	29	6	3	14					
ovino	3	42	0	22	20					
ovino	3	56	0	92	10					
ovino	3	70	0	110	7					
ovino	3	84	1	105	7					
ovino	3	97	5	81	25					
ovino	3	102	2	84	10					
ovino	3	126	3	80	8					
ovino	3	140	3	110	10					
conejo	1	1	2.14	0	0					
conejo	1	14	0	1	0	1.5	0.3	0.6	1.2	2.9
conejo	1	29	0	0	2	2.0	0.6	1.2	1.7	3.3
conejo	1	42	1	0	1	2.5	1.3	1.9	3.0	4.9
conejo	1	56	4	0	4	3.1	3.5	3.1	6.2	8.8
conejo	1	70	0	12	4	4.0	9.2	4.5	13.6	17.3

conejo	1	84	5	14	2	5.0	22.5	6.2	28.9	34.4
conejo	1	97	1	33	4	6.3	44.8	8.0	53.1	60.6
conejo	1	102	10	97	19	6.8	55.6	8.6	64.4	72.8
conejo	1	126	18	86	20	10.2	92.5	11.3	103.8	115.3
conejo	1	140	9	113	14	12.9	74.4	12.1	86.3	96.5
conejo	2	1	2.14	0	0					
conejo	2	14	0	3	0					
conejo	2	29	7	1	4					
conejo	2	42	5	2	3					
conejo	2	56	4	2	0					
conejo	2	70	1	4	3					
conejo	2	84	9	27	10					
conejo	2	97	4	28	4					
conejo	2	102	5	86	3					
conejo	2	126	6	64	10					
conejo	2	140	7	75	10					
conejo	3	1	2.14	0	0					
conejo	3	14	2	0	0					
conejo	3	29	1	0	2					
conejo	3	42	3	1	2					
conejo	3	56	2	1	4					
conejo	3	70	1	4	3					
conejo	3	84	5	33	5					
conejo	3	97	12	32	15					
conejo	3	102	13	72	9					
conejo	3	126	18	56	6					
conejo	3	140	10	67	10					

Cuadro 37. Resumen de los modelos encontrados. El nivel de significancia considerado fue de 0.05. En todos los casos los modelos resultaron estadísticamente distintos $p = 0.001$

Modelos polinomial $\log(y)=b_0+b_1*d+b_2*d^2+b_3*d^3$				
Juveniles				
		bovino	conejo	ovino
	Intercepto	-9.621914	-1.825200	-6.845283
	dia	0.445543	0.024185	0.405701
	dia²	-0.004537	0.000820	-0.004531
	dia³	0.000015	-0.000005	0.000016
Adultos				
		bovino	conejo	ovino
	Intercepto	2.262479	0.195994	4.553526
	dia	-0.056499	0.016885	—
	dia²	0.000350	—	—
	dia³	—	—	—
Capullos				
		bovino	conejo	ovino
	Intercepto	-2.501481	-1.077846	0.003127
	dia	0.225780	0.048288	0.119955
	dia²	-0.002993	-0.000163	-0.001366
	dia³	0.000011	—	0.000004
Juv+Cap				
		bovino	conejo	ovino
	Intercepto	-4.389178	0.121601	-2.896193
	dia	0.287723	-0.009878	0.277301
	dia²	-0.002980	0.001006	-0.003138
	dia³	0.000010	-0.000005	0.000011
Total				
		bovino	conejo	ovino
	Intercepto	-2.169748	1.289793	-1.305547
	dia	0.211994	-0.031853	0.219918
	dia²	-0.002168	0.001152	-0.002488
	dia³	0.000007	-0.000005	0.000009

Cuadro 38. Datos de germinación de semillas de rábano.

Sustrato	Promedios										Tiempo de Promedios									
	No. de semillas germinadas	altura cm 10 días	altura cm 15 días	altura cm emergencia	longitud raíz cm	Peso fresco g	Peso seco g	WF/PTA g	WS/PTA g	% HUM	% Mat.seca	WF/PTA g	WS/PTA g	% HUM	% Mat.seca	WF/PTA g	WS/PTA g	% HUM	% Mat.seca	
B1.1	10	6.125	6.1	2	8.1	2.4	0.1	0.2400	0.0100	95.83	4.17									
B1.2	10	6.77	8.43	2	6.05	2.35	0.09	0.2350	0.0090	96.17	3.83									
B1.3	9	5.97	7.51	2	6.04	2.4	0.1	0.2667	0.0111	95.83	4.17									
B2.1	9	4.91	6.8	3	5.93	2	0.06	0.2222	0.0067	97.00	3.00									
B2.2	8	5.714	6.4	3	6.58	1.7	0.08	0.2125	0.0100	95.29	4.71									
B2.3	10	4.75	6.05	2	8.34	2.3	0.1	0.2300	0.0100	95.65	4.35									
B3.1	10	5.99	7.33	2	6.38	2.5	0.09	0.2500	0.0090	96.40	3.60									
B3.2	10	5.28	7.09	2	6.59	2.7	0.1	0.2700	0.0100	96.30	3.70									
B3.3	9	5.86	7.58	2	9.34	2.3	0.1	0.2556	0.0111	95.65	4.35	promedio	0.2424	0.0097	96.0146	3.9854				
O1.1	8	5.84	6.7	2	7.18	1.8	0.06	0.2250	0.0075	96.67	3.33									
O1.2	10	6.41	7.38	2	7.36	2.35	0.1	0.2350	0.0100	95.74	4.26									
O1.3	10	6.71	8	2	8.54	2.1	0.09	0.2100	0.0090	95.71	4.29									
O2.1	10	7.86	8.46	2	8.49	2.5	0.1	0.2500	0.0100	96.00	4.00									
O2.2	10	5.97	7.57	2	8.92	2.4	0.11	0.2400	0.0110	95.42	4.58									
O2.3	9	7.25	8.77	2	7.31	2.4	0.09	0.2667	0.0100	96.25	3.75									
O3.1	9	7.16	8.46	2	6.45	2.55	0.09	0.2833	0.0100	96.47	3.53									
O3.2	9	7.43	9.14	2	9.95	2.5	0.11	0.2778	0.0122	95.60	4.40	promedio	0.2486	0.0102	95.8959	4.1041				
O3.3	10	6.01	7.42	2	7.51	2.5	0.12	0.2500	0.0120	95.20	4.80									
C1.1	9	6.78	7.07	2	7.58	1.7	0.08	0.1889	0.0089	95.29	4.71									
C1.2	10	7.11	6.62	2	7.68	1.95	0.11	0.1950	0.0110	94.36	5.64									
C1.3	10	5.45	6.39	2	6.77	1.9	0.09	0.1900	0.0090	95.26	4.74									
C2.1	10	6.67	8.12	2	7.79	1.3	0.11	0.1300	0.0110	91.54	8.46									
C2.2	10	5.43	6.83	2	5.62	1.5	0.06	0.1500	0.0060	96.00	4.00									
C2.3	10	6.48	7.47	2	6.96	1.9	0.09	0.1900	0.0090	95.26	4.74									
C3.1	8	6.23	7.43	2	6.75	1.8	0.09	0.2250	0.0113	95.00	5.00									
C3.2	9	7.02	7.39	2	8.28	1.75	0.07	0.1944	0.0078	96.00	4.00	promedio	0.1793	0.0088	95.0016	4.9984				
C3.3	9	5.25	6.43	2	6.61	1.35	0.05	0.1500	0.0056	96.30	3.70									
control 1	9	2.32	2.68	3	2.81	0.6	0.03	0.0667	0.0033	95.00	5.00									
control 2	8	4.3	5.7	3	4.94	0.7	0.02	0.0875	0.0025	97.14	2.86									
control 3	10	5.09	6.2	3	3.51	1.1	0.03	0.1100	0.003	97.27	2.73									

WF/PTA – peso fresco por planta. WS/PTA – peso por planta.

Cuadro 39. Datos de germinación de semillas de trigo.

Sustrato	Promedios										Promedios									
	No. de semillas germinadas	altura cm 10 días	altura cm 15 días	emergencia días	longitud raíz cm	Peso fresco g	Peso seco g	WF/PTA g	WS/PTA g	% HUM	% Mat.seca	WF/PTA g	WS/PTA g	% HUM	% Mat.seca	WF/PTA g	WS/PTA g	% HUM	% Mat.seca	
B1.1	7	12.92	14.47		16.9	2.75	0.25	0.3929	0.0357	90.91	9.09									
B1.2	8	8.5	11.37	3	14.15	2.4	0.22	0.3000	0.0275	90.83	9.17									
B1.3	9	11.26	14.7	3	15.24	3.2	0.29	0.3556	0.0322	90.94	9.06									
B2.1	10	8.38	10.67	3	12.59	2.8	0.29	0.2800	0.0290	89.64	10.36									
B2.2	7	10.3	13.54		11.81	1.9	0.2	0.2714	0.0286	89.47	10.53									
B2.3	4	9.075	11		14.975	1.3	0.13	0.3250	0.0325	90.00	10.00									
B3.1	5	12.86	14.68		12.16	1.7	0.14	0.3400	0.0280	91.76	8.24									
B3.2	6	9	7.683		9.23	1.4	0.14	0.2333	0.0233	90.00	10.00									
B3.3	8	10.15	11.775	3	14.925	2.5	0.2	0.3125	0.0250	92.00	8.00									
O1.1	9	11.47	12.98	3	14.68	2.1	0.25	0.2333	0.0278	88.10	11.90				0.3123	0.0291	90.6179	9.3821		
O1.2	7	10.014	11.657		13.08	2.15	0.2	0.3071	0.0286	90.70	9.30									
O1.3	6	9.36	11.083		12.5	1.9	0.17	0.3167	0.0283	91.05	8.95									
O2.1	7	10.12	10.98		17.814	2.7	0.21	0.3857	0.0300	92.22	7.78									
O2.2	6	10.016	11.46		13.7	2.3	0.19	0.3833	0.0317	91.74	8.26									
O2.3	6	11.9	13.33		16.2625	2.3	0.21	0.3833	0.0350	90.87	9.13									
O3.1	9	11.48	12.91	4	15.46	2.9	0.22	0.3222	0.0244	92.41	7.59									
O3.2	8	9.51	10.3875	4	15.057	2.4	0.2	0.3000	0.0250	91.67	8.33									
O3.3	9	9.54	11.82	3	16.9	3.1	0.26	0.3444	0.0289	91.61	8.39				0.3307	0.0289	91.1522	8.8478		
C1.1	9	10.6	11.88	3	16.0875	2.2	0.17	0.2444	0.0189	92.27	7.73									
C1.2	7	9.3714	11.47		18.35	2	0.14	0.2857	0.0200	93.00	7.00									
C1.3	9	11.75	11.45	3	17.6	2.8	0.24	0.3111	0.0267	91.43	8.57									
C2.1	9	8.37	9.44	3	12.02	2.1	0.2	0.2333	0.0222	90.48	9.52									
C2.2	8	9.325	8.76	5	13.68	1.4	0.18	0.1750	0.0225	87.14	12.86									
C2.3	9	10.033	11.42	3	15.78	2.2	0.21	0.2444	0.0233	90.45	9.55									
C3.1	9	10.3	11.32	3	16.73	2.6	0.23	0.2889	0.0256	91.15	8.85									
C3.2	9	6.2	8.05	3	12.42	2.6	0.24	0.2889	0.0267	90.77	9.23									
C3.3	6	8.1	10.416		19.06	1.9	0.18	0.3167	0.0300	90.53	9.47				0.2654	0.0240	90.8027	9.1973		
control 1	8	3.1428	4	4	2.18	0.8	0.13	0.1000	0.0163	83.75	16.25				0.1000	0.0163	83.75	16.25		
control 2	5	5.9	7.16		3.4	0.5	0.11	0.1000	0.0220	78.00	22.00				0.1	0.022	78	22		
control 3	8	3.48	4.16	5	1.84	0.7	0.1	0.0875	0.0125	85.71	14.29				0.0875	0.0125	85.71	14.29		

WF/PTA – peso fresco por planta. WS/PTA – peso por planta.

Prueba de germinación.

Cuadro 40. Alturas promedio de plántulas de semillas germinadas de rábano. Promedios en negritas.

Promedios de las alturas durante 16 días									
Sustratos	B1.1	B1.2	B1.3	B2.1	B2.2	B2.3	B3.1	B3.2	B3.3
	3.5	9.4	8	9.5	8.4	6	8.5	5	5
	6	9.8	9.8	6.5	1.3	3.6	6.1	8.4	6.5
	8.5	7	7.5	8	9.2	7.6	6.5	11.3	7.5
	8.6	11.8	6.5	1.9	7.2	5.5	9.8	8.8	9.7
	7	10.5	5.6	7.5	6	8	7.2	5.2	7.6
	8	8.8	8.1	10	4	8.5	5.5	5.4	10
	7.6	9.1	5.6	3	5.5	4.5	8	4.3	7.6
	2.5	6.2	9.5	5.8	9.5	8.8	7.3	7.8	8.6
	3.5	7.2	7	8	6.39 cm	3.5	8	8.7	8
	5.8	4.5	7.51 cm	6.69 cm		4.5	6.4	6	5.3
	6.1 cm	8.43 cm				6.05 cm	7.33 cm	7.09 cm	7.58 cm
Sustratos	O1.1	O1.2	O1.3	O2.1	O2.2	O2.3	O3.1	O3.2	O3.3
	10	8.5	10.1	11.9	9	11	9.4	9.1	4.5
	8.1	10.7	9.3	7.5	10.1	9	9.3	10.5	10
	7	6	8.2	11.2	10.5	10	6.5	5.5	6.5
	4.2	8	8.4	8.2	8.6	9	5.7	9.2	12.6
	9.5	11	8.5	1	2.5	8	8.8	9.1	8.5
	2	3.5	7	10.7	6.9	2.7	7	10.8	9.5
	8.3	4.6	5.4	7.1	7.2	9.5	9	9.6	7.3
	4.3	8.5	7.5	10.2	8.5	8.6	9.5	7.3	7.6
	6.68 cm	7.5	7.6	8.6	5.2	11.2	11	11.2	6.7
		5.5	8 cm	8.2	7.2	8.78 cm	8.47 cm	9.14 cm	1
		7.38 cm		8.46 cm	7.57 cm				7.42 cm
Sustratos	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2	C3.3
	10.8	2	6	8.7	9.2	8.5	9.3	7.6	5.4
	11	3.3	6.5	9	8.8	7.1	8.3	10.5	4.4
	8	9.4	5.9	8.1	6.3	8.7	7.1	7.4	7.4
	2.3	1.9	6.2	5.6	7.9	3.5	4.9	3.5	1.5
	8.6	9.5	6.4	6.6	6.4	7.5	9	9.6	4.9
	4.9	9	7	9.2	2.4	7.3	8	9	8.3
	9.6	4.7	7.9	8.6	6.2	9.2	7.5	5.7	8.3
	6.2	10.4	5.5	10.2	6	7.4	5.4	8.8	8.8
	2.3	8	6	8.2	7.6	9	7.44 cm	8.3	8.9
	7.08 cm	8	6.5	7	7.5	6.5		3.5	6.43 cm
		6.62 cm	6.39 cm	8.12 cm	6.83 cm	7.47 cm		7.39 cm	
Sustratos	Control 1	Control 2	Control 3						
	1.8	5.2	7.8						
	1.9	7.8	8						
	4	7	6.6						
	2.2	6.8	7.4						
	2.4	4.6	6.3						
	2.6	6.3	5.2						
	4	3.3	5.8						
	2.6	4.6	6						
	2.7	5.7 cm	5.3						
	2.69 cm		4						
			6.24 cm						

Cuadro 42. Longitudes de las raíces de plántulas de semillas germinadas de rábano. Promedios en negritas.

Promedios de la longitud de raíces durante 15 días									
Sustratos	B1.1	B1.2	B1.3	B2.1	B2.2	B2.3	B3.1	B3.2	B3.3
	3.1	7	3.7	7.8	8.1	15.3	6.4	2.6	7.4
	3.2	5	10.4	2	8.5	11.4	9.6	3.2	10.7
	7	9.7	3.4	3.5	9.5	10.6	4.6	8.2	12.7
	7.3	2.6	7	6	5.6	4.2	3.5	8.5	8.5
	9.8	7.5	9	9.2	9.4	9.3	6.1	4.4	4
	9.5	9.5	5.5	3	8.7	10.9	7.4	4.6	8.1
	5.5	4.1	3.3	4.9	1.8	11.2	7.5	9.7	10.4
	9.7	5	6.3	6	1	1.5	6	5.3	13.4
	10.2	5.4	5.8	4.3	6.58 cm	6.5	4.7	9.7	8.2
	11.6	4.7	6.04 cm	12.6		2.5	8	9.7	10
	12.2	6.05 cm		5.93 cm		8.34 cm	6.38 cm	6.59 cm	9.34 cm
	8.1 cm								
Sustratos	O1.1	O1.2	O1.3	O2.1	O2.2	O2.3	O3.1	O3.2	O3.3
	7	4.3	5	10.5	2.5	7.9	7.2	11.5	6.7
	7.5	8.1	6.8	3.4	11	12	5.2	8.4	8.5
	10.2	10.8	6.4	7.4	6.5	5	8.3	11	8.8
	10.9	9.8	9	10.7	9.2	8.6	5.4	13.1	12
	6.2	6.2	10.8	10.9	4.2	6.7	6.7	8.5	13.5
	8.9	8.5	12.6	12.5	8.5	3.6	8	8.5	10
	4.7	8.8	12.7	12	11.4	6.3	4.8	11.6	5.1
	2.1	7.6	4	7	13.1	9.5	5.3	7	1.5
	7.19 cm	5.5	9.6	7.5	10.3	6.2	8.7	9.95 cm	5
		4	8.54 cm	3	12.5	7.31 cm	4.9		4
		7.36 cm		8.49 cm	8.92 cm		6.45 cm		7.51 cm
Sustratos	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2	C3.3
	8.2	6.1	12.6	8.5	6	4.9	11.2	7.6	7.1
	8.5	9.5	5.4	9.5	3	6.6	10.9	5.6	6.9
	9.5	10.4	11.3	8	3.7	6.9	7	9.5	10.7
	7.5	9.6	9	7.5	4.6	8.8	5.5	10.7	8
	10	6.5	3.5	11.4	5.6	6.5	7.2	6.4	7.5
	5.5	8.5	6.4	2	7.5	12.2	8.5	7.4	6.9
	10.5	7	5.3	7.9	7.6	7.2	4.5	12.3	5.9
	7.2	4.5	3.4	7.7	9	8.3	4.5	9	5
	1.4	11.8	6.9	7	5.2	7.2	1.5	6.1	1.5
	7.59 cm	2.9	3.9	8.4	4	1	6.76 cm	8.29 cm	6.61 cm
		7.68 cm	6.77 cm	7.79 cm	5.62 cm	6.96 cm			
Sustratos	control 1	control 2	control 3						
	2.7	5.5	1.4						
	2.1	3.5	2						
	1	8	7						
	3.5	5.5	3						
	2.4	2.5	2						
	5.5	7.5	3.8						
	3.4	2	5						
	2.3	5	4.9						
	2.4	4.94 cm	4						
	2.81 cm		2						
			3.51 cm						

Cuadro 43. Longitudes de raíces de plántulas de semillas germinadas de trigo. Promedios en negritas.

Promedios de la longitud de raíces durante 15 días									
Sustratos	B1.1	B1.2	B1.3	B2.1	B2.2	B2.3	B3.1	B3.2	B3.3
	14.9	11	9.4	11.2	11.5	10.5	11.2	3.9	17.1
	14.9	14	16	14.7	7.9	12	16.4	4.2	15.1
	12.3	15.1	18.4	16	14.6	17.5	11.2	19.7	14
	22.4	16.8	7.6	14.4	13.6	19.9	9.7	12	14.7
	20	16	16.9	9	10.4	14.98 cm	12.3	9.8	13.8
	22.6	14.2	15.8	18.4	13.4		12.16 cm	5.8	19.3
	11.2	13.8	16.6	15	11.3			9.23 cm	14.6
	16.9 cm	12.3	17.2	11.9	11.81 cm				10.8
		14.15 cm	19.3	8.6					14.93 cm
			15.24 cm	6.7					
				12.59 cm					
Sustratos	O1.1	O1.2	O1.3	O2.1	O2.2	O2.3	O3.1	O3.2	O3.3
	22.2	16.3	11	20	18	14.3	17.4	26	15
	12.7	22	14.8	23.2	21.9	23.6	21.5	24.5	15.4
	17	11	20.2	22.5	19.7	15.5	19.5	8	20.5
	18.4	17.3	9	16.3	12.5	25	16	15	14.7
	9.2	7.4	9.4	11.6	14.4	10.2	17.6	14.7	17.7
	16.6	7.5	9.4	12.3	7.4	11.5	5.6	1	15.7
	12.5	10.1	13.7	18.8	2	11.1	15.6	16.2	20.3
	8.4	13.09 cm	12.5 cm	17.81 cm	13.7 cm	18.9	10.5	15.06 cm	17.7
	15.2					16.26 cm	15.46 cm		15.1
	14.69 cm								16.9 cm
Sustratos	C1.1	C1.2	C1.3	C2.1	C2.2	C2.3	C3.1	C3.2	C3.3
	13.1	17	7.7	8	10.4	21	18.7	19.5	21.9
	18	18.2	19.8	5.5	12.9	13.3	26.2	3	23.5
	13.8	18.1	22.3	14.5	11.9	19.8	19.5	11.5	15.9
	15.7	18	26.5	16.6	15.8	16.2	14.9	16.4	22.5
	9.2	21.6	16.5	22.6	20.8	14	12.7	19.9	10.3
	23.8	14.9	20	15.4	10.3	21.6	10.8	16.2	20.3
	24.9	20.7	15.9	13.6	13.68 cm	9.2	22.4	13.6	19.07 cm
	10.2	18.36 cm	21.2	4.5		11.2	17.4	8	
	16.09 cm		8.5	7.5		15.79 cm	8	3.7	
			17.6 cm	12.02 cm			16.73 cm	12.42 cm	
Sustratos	control 1	control 2	control 3						
	1.1	4	3.5						
	2	4.2	2						
	2.6	2	1.5						
	1	3.4 cm	2						
	4.2		0.2						
	2.18 cm		1.84 cm						