



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“VERMICOMPOSTA PRODUCIDA POR LA
LOMBRIZ DE TIERRA Eisenia andrei Bouché
UTILIZANDO COMO SUSTRATO CÁSCARA DE
CACAHUATE Arachis hypogea L.”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
B I Ó L O G O
P R E S E N T A :
J A I M E D Í A Z O R T E G A



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM

TUTORA: DRA. NORMA EUGENIA GARCIA CALDERON

2006



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

"Vermicomposta producida por la lombriz de tierra Eisenia andrei Bouche
utilizando como sustrato cáscara de cacahuete Arachis hypogea L."
realizado por Jaime Díaz Ortega

con número de cuenta 09523917-6 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director

Propietario Dra. Norma Eugenia García Calderón.

Propietario Dra. Amada Laura Reyes Ortigoza.

Propietario Dr. David Flores Roman.

Suplente M en C. María del Socorro Galicia Palacios.

Suplente Biól. Elizabeth Fuentes Romero.

Consejo Departamental de Biología

M en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez.

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA
DE BIOLOGÍA

DEDICADA
A MIS TRES MAMÁS,
ELOY, CELIA Y CARMEN,
A MI PAPÁ JAIME,
MIS HERMANOS
ADRIANA, ALMA Y JAVIER,
Y MI AMOR
YAZMIN.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Ciencias por la oportunidad y apoyo brindado durante toda mi formación académica.

Al laboratorio de Edafología “Nicolás Aguilera” que a lo largo de 40 años continua con la formación de estudiantes.

Agradezco a mi tutora de tesis Dra. Norma E. García Calderón por su paciencia, amistad y dirección en el presente trabajo.

Al Miembro del Jurado: Dra. A. Laura Reyes Ortigoza, , Dr. David Flores Román M. en C. Maria del Socorro Galicia Palacios y Biól. Elizabeth Fuentes Romero, agradezco su acertada orientación durante la realización de mi tesis y por su incondicionable apoyo.

Gracias al Dr. Ferrera-Cerrato del Colegio de Posgraduados Montecillos por proporcionar las lombrices utilizadas en este trabajo.

Al Centro de Compostaje de la UNAM, en especial al biólogo Javier Montoya por su ayuda durante el desarrollo del diseño experimental y su gran amistad.

Dr. Roberto Quintero y Dr. Gonzalo Almendros gracias por su calidez con la me aconsejaron.

Dr. Pavel Krasinlikof y a los estudiantes del Laboratorio de Edafología con los que compartí y aprendí durante mi estancia.

Agradezco al programa de becas PROBETEL por el apoyo que me brindaron.

En especial agradezco a Yazmin por toda su ayuda, compañía, y amor.

A toda mi familia en especial Ezequiel, Ebelia, Brenda, Diana, Estela y Silvestre por que siempre confiaron en mí.

Y a todos mis amigos Alan, David, Karla, Violeta, Tania, Yarely, Mirsha, Miguel, y Marco, por acompañarme en la vida.

INDICE

CAPITULO I INTRODUCCION

1.1	Presentación.....	1
1.2	Materia Orgánica.....	2
1.3	Vermicompostaje.....	4
1.4	Lombriz Composteadora.....	6
1.5	El Cacahuate.....	8
1.6	PASTO <i>Lolium perenne</i> L.....	11
1.7	Objetivos e Hipótesis.....	13

CAPITULO II MATERIAL Y MÉTODO

2.1	Pre-Composteo	15
2.2	Vermicomposteo.....	15
2.2.1	Análisis de la vermicomposta en húmedo.....	17
2.2.2	Análisis enzimático.....	18
2.2.3	Análisis de la vermicomposta y composta seca a 60°C....	18
2.3	Eficiencia de la vermicomposta de cáscara de cacahuete en el desarrollo del pasto <i>Lolium perenne</i> L	19
2.4	Caracterización de las muestras de suelo.....	20
2.5	Pruebas estadísticas.....	22

CAPÍTULO III RESULTADOS

3.1	Precomposteo.....	23
3.2	Prueba P- 50L.....	24
3.3	Prueba de Germinación.....	25

3.4	Vermicomposteo.....	25
3.4.1	Crecimiento de Población de lombrices.....	26
3.4.2	Resultados Físicos y Químicos.....	27
3.4.3	Actividad Enzimática.....	36
3.4.4	Producción de materia seca del pasto <i>Lolium perenne</i> L...	39

CAPÍTULO IV DISCUSIÓN

4.1	Precomposteo.	41
4.2	Prueba P-50L.....	42
4.3	Cantidad de Lombrices y Huevos.....	42
4.4	Resultados Químicos.....	43
4.5	Actividad Enzimática.....	47
4.6	Eficiencia de la Vermicomposta	48

CAPÍTULO V CONCLUSIÓN

5.1	Conclusión.....	50
5.2	Recomendaciones.....	51

ANEXO 1	52
----------------------	-----------

ANEXO 2	55
----------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA	59
---------------------------	-----------

RESUMEN

Se vermicomposteo cáscara de cacahuate *Arachis hipogea* L. utilizando la lombriz de tierra *Eisenia andrei* Bouché. Para acelerar la maduración se agregaron fertilizantes nitrogenados y fosfatados en dos dosis distintas 80-60 y 60-40, se realizó un diseño experimental bifactorial con arreglo combinatorio completamente al azar el cual se evaluó a los 46 y 92 días, determinándose los contenidos de carbono orgánico total (COT), nitrógeno total, pH, % humedad, fósforo, calcio, magnesio, sodio y potasio disponibles e indicadores enzimáticos tales como la ureasa y fosfatasa. Se evaluó la eficiencia de las vermicompostas con un bio-ensayo midiendo la producción de materia seca del pasto *Lolium perenne* L. a nivel de invernadero. El pH en agua se estableció por debajo de 5.5 durante el vermicompostaje, el COT disminuyó durante el proceso aunque no se encontraron diferencias estadísticas en los dos tiempos. La tendencia del nitrógeno total fue un aumento durante el vermicompostaje en todos los tratamientos, en cuanto a la relación C:N aumenta, debido probablemente a las pérdidas de nitrógeno durante los primeros 46 días. El Fósforo disponible disminuye en todos los tratamientos. Respecto las bases intercambiables el Ca aumento al igual que el Mg, sin embargo la tendencia del Na y el K fue a disminuir durante el vermicomposteo. La actividad enzimática tanto de la Ureasa como de la Fosfatasa aumentaron al final del proceso. Las vermicompostas y la composta mostraron mayor eficiencia en la producción del pasto *Lolium perenne* L que el tratamiento sin enmienda.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. Presentación

El manejo y destino de muchos de los subproductos de origen orgánico, que se generan en el medio agrícola, agroindustrial, urbano y pecuario, se ha convertido en un problema ya que, muchas veces, no son utilizados generando basura y fuentes de contaminación al ambiente. Por esto se han creado alternativas de aprovechamiento y manejo de estos desechos mediante su descomposición o transformación que reacuero a su origen, la descomposición varía en función del proceso de transformación. Una alternativa de revaloración de estos subproductos es el vermicompostaje que puede definirse como la cría masiva, sistemática y controlada de lombrices composteadoras. Es una técnica que involucra procesos biológicos, para acelerar la transformación y mineralización de un residuo orgánico en descomposición y convertirlo en abono para las plantas (Capistrán, *et al.*, 1999).

El presente trabajo esta dentro de la línea de estudios de la caracterización de vermicompostas y corresponden a la caracterización química, y enzimática de la vermicomposta producida por la lombriz de tierra *Eisenia andrei* (Bouche), utilizando como sustrato cáscara de cacahuate. Así como la evaluación de su eficiencia como abono en el desarrollo del pasto ingles *Lolium perenne* L.

En los siguientes apartados se llevará a cabo una revisión teórica sobre la importancia de la materia orgánica en el suelo, biotecnología del vermicompostaje, la especie de lombriz utilizada, el cacahuate como fuente de residuos orgánicos, y el pasto utilizado para evaluar la eficiencia de la vermicomposta

1.2. Materia Orgánica

La materia orgánica presente en el suelo (MOS) se encuentra en mayor cantidad en los horizontes superficiales (Cepeda, 1991), es un sistema complejo de diferentes sustancias, con la dinámica determinada por la incorporación, de restos animales o vegetales y por su transformación por acción de distintos grupos de microorganismos y fauna, además de la transformación que se encuentra influenciada por factores ambientales como la precipitaciones atmosféricas, cambios de temperatura, y la desintegración mecánica, etc. (Kononova, 1982)

“El humus es un producto de descomposición de restos orgánicos y de la síntesis microbiana”. La descomposición y degradación de materia orgánica se puede dar por los procesos de mineralización y de humificación. Los procesos de mineralización dan lugar a la transformación de compuestos orgánicos en inorgánicos tales como H_2O , CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{-3} SO_4^{-2} algunos de los cuales pueden ser absorbidos por la planta. En tanto que la humificación es el proceso en el cual las moléculas orgánicas son transformadas a macromoléculas condensadas de compuestos aromáticos y alifáticos. Esto da lugar a nuevos complejos órgano minerales que se hacen más difíciles de biodegradar, provocando estabilidad de las sustancias húmicas y una lenta mineralización (Porta *et al.*, 1999). Por lo general el proceso de mineralización es más rápido que el proceso de humificación.

La materia orgánica tiene un papel importante sobre el suelo, regula los procesos químicos como: i) La liberación de nutrientes asimilables por las plantas, resultado del proceso de mineralización ii) Actúa como amortiguador en los cambios de pH. iii) Es importante en fenómenos de adsorción y neutralización de plaguicidas e insecticidas. En las propiedades físicas del suelo, la materia orgánica juega un papel importante, en la regulación de los siguientes procesos: i) Favorece la estructura del suelo mediante la formación de agregados, mejorando el drenaje y la aireación, beneficiando a las raíces, ii) Aumenta la retención de humedad iii) Disminuye la erosión, ayuda a resistir los fenómenos hidrodinámicos por que favorece al desarrollo vegetal y a los microorganismos de suelo. En las propiedades biológicas favorece: i) Los procesos de mineralización ya que es la principal fuente de energía de los microorganismos, ii) puede estimular el crecimiento de plantas debido a sustancias que afectan sus mecanismos fisiológicos (Bellaport, 1998; Navarro *et al.*, 1995). En suelos con contenidos adecuados de materia orgánica como enmienda, ayuda a mejorar las propiedades físicas del suelo como la permeabilidad, fáciles laboreo, menor susceptibilidad a la sequía, etc. (García, 2000)

1.3. Vermicompostaje

La palabra composta proviene del latín “componere” que significa mezclar. La composta es biomasa digerida producto del composteo de residuos orgánicos. Este proceso es realizado por microorganismos como hongos y bacterias los cuales fermentan aeróbicamente estos materiales, durante este proceso ocurren cambios bioquímicos hasta alcanzar su estabilidad caracterizada por diferentes parámetros tanto físicos, químicos y biológicos (Romero, 2000). La madurez o estabilidad de la composta depende de su origen, que se puede evaluar mediante diferentes indicadores (Eggen y *Vethe*, 2001). encontraron una correlación entre la respiración microbiana, el contenido de carbono orgánico total (COT) con la estabilidad de compostas, de diferente origen, ellos demostraron que estos dos parámetros son buenos indicadores de la estabilidad de las compostas, ya que a través del proceso de maduración las compostas van disminuyendo la respiración microbiana y el COT.

“El composteo de desechos orgánicos por la acción de las lombrices es llamado vermicompostaje dando como un producto final la vermicomposta o excreta de la lombriz” (Martínez, 1996).

Existen varias técnicas de compostaje dependiendo del tamaño del material de origen este; puede triturarse, o no, para aumentar el área de contacto con los microorganismos, después se coloca en pilas, camas o contenedores, y se les puede implementar un sistema de aire forzado, o aireación por volteos. También en algunas técnicas se inoculan cepas de hongos, bacterias, lombrices o microorganismos, que aceleran la transformación de los desechos (Dougherty, 2002)

Esta biotecnología es muy utilizada debido a que acelera la descomposición y madurez del sustrato alcanzando su estabilidad en menor tiempo, que una composta tradicional, como lo demostraron Frederickson *et al.*, (1997). Este grupo evaluó la estabilidad en desechos de pastos por reducción de sólidos volátiles en el composteo y vermicomposteo, encontraron una mayor reducción de sólidos volátiles en el vermicomposteo a las 6 semanas que en el composteo a las 8 semanas.

Aparte de los parámetros físicos y químicos se han utilizado como índices de madurez, definiéndose ésta como la “eficiencia que tienen las compostas para el crecimiento de las plantas” en la evaluación de compostas se ha estudiado en los últimos años la actividad enzimática como índice de calidad, al igual que en los suelos, por que es indicativa de cambios bioquímicos, perturbación o contaminación. También ha sido relacionada con la fertilidad del suelo y la productividad (Dick 1994 en Reyes 2002).

En el vermicomposteo y composteo de paja de avena molida, la actividad enzimática aumenta al inicio pero conforme avanzan la descomposición la actividad disminuye encontrándose una relación entre la actividad enzimática y la maduración. En ambos procesos la actividad enzimática de la ureasa así como de las demás enzimas medidas disminuye con la maduración de los tratamientos. También se encontró que las lombrices del vermicompostaje propician una mayor actividad enzimática que el compostaje (Quintero *et al.*, 2003).

Tiquia *et al.* (2002) compostearon en sistemas de aire forzado desechos de poda de pasto y de gallinero. La composta resultante fue analizada para 19 enzimas entre ellas la fosfatasa ácida y alcalina, además de diferentes grupos de microorganismos. Ellos encontraron que la actividad de la β -galactosidasa fue la que más significancia estadística tuvo con las poblaciones microbianas, además se encontró que la fosfatasa ácida y alcalina tuvo una mayor actividad desde el inicio del compostaje hasta el día 14.

La vermicomposta o humus de lombriz es considerada como un fertilizante biológico por la composición de materia orgánica y la población microbiana que la constituyen. La vermicomposta se puede considerar como un mejorador del suelo ya que influye en el equilibrio biológico del humus. Entre los componentes más importantes que determinan su acción como abono están i) La microflora, constituye el paso obligatorio de la transformación de todos los nutrimentos para la planta, ii) es rica en fitohormonas como las citoquininas, que actúan sobre células vegetales estructurales transformándolas a células reproductivas dando origen a raíces, las giberelinas y auxinas que actúan sobre el desarrollo de sistemas vascular y foliar (Compagnoni y Putzolu, 1995).

1.4. Lombriz composteadora

El empleo de las lombrices en el proceso de compostaje de residuos orgánicos se inició a principios de los cincuentas en Filipinas y posteriormente, se desplazó a Europa y América Latina a principios de los ochentas (Martínez, 2000). Las lombrices utilizadas en el vermicompostaje deben de cumplir con ciertas características entre las más sobresalientes están: i) un ciclo biológico corto ii) rápido desarrollo, iii) alta voracidad, iiiii) ser tolerantes a situaciones de estrés y manipulación, iiiiii) gran adaptabilidad al medio. En México es común encontrar en los centros de vermicompostaje lombrices comerciales que cumplen con estas características, dentro de las cuales encontramos *Eudrillus eugeniae*, *Eisenia faetida*, *Perionix excavatus*, *Eisenia andrei*, etc (Martínez, 2000; Martínez 1996; Ferruzi, 1994). *Eisenia andrei* esta clasificada como epigea y saprófaga, debido a que se alimenta de la materia orgánica en descomposición en la superficie del suelo. Dada su característica para poder descomponer grandes cantidades de desechos orgánicos ha sido ampliamente estudiada como compostera (Bouché, 1984).

La clasificación taxonómica de *Eisenia andrei* es la siguiente:

Phylum	Anélida
Clase	Oligochaeta
Orden	Opisthokonta
Familia	Lumbricidae
Genero	Eisenia
Especie	<i>Eisenia andrei</i> (Bouché)

(Martinez ,1996)

El tamaño de *Eisenia andrei* (Bouché) es de 6 a 9 cm, con un peso entre 0.3 a 1g y de movilidad lenta. Su morfología externa es un cuerpo cilíndrico segmentado, cada segmento es llamado somito, presenta de 96 hasta 108 somitos. El primer somito, en la parte anterior, es la boca, y el último somito, en la parte posterior, es el ano. La lombriz adulta presenta un clitelo relacionado directamente con la reproducción, es hermafrodita, produce óvulos y espermatozoides, pero no se puede autofecundar, por lo que requiere de otro individuo para intercambiar espermatozoides (Martínez, 1996). La cópula dura aproximadamente 4 horas, una vez fecundado el capullo puede contener de 2 a 20 individuos los cuales son ovipositados cada semana, eclosionan aproximadamente en dos a tres semanas. Una vez nacidas las lombrices son sexualmente maduras a los 90 días (Bollo, 1999).

Existen varios factores tales como temperatura, humedad y pH del sustrato que influyen en el desarrollo de la lombriz tanto en su reproducción como en su actividad. Cuando la temperatura del sustrato en donde se encuentran está por debajo de los 16°C, dejan de producir capullos por su baja actividad metabólica (Santamaría y Ferrera-Cerrato, 2002). Por otra parte las temperaturas altas alrededor de los 30° C causan desecación y muerte (Martínez, 1996)

La temperatura óptima de desarrollo de las lombrices composteras es alrededor de los 20°C; en tanto que la humedad óptima del sustrato debe ser entre 70 y 80 %, es importante que su cuerpo se mantenga en un medio húmedo para que la lombriz pueda tener un intercambio gaseoso con el medio.

El pH es un factor muy importante para las lombrices composteadoras, que se ve reflejado en su ausencia o presencia en el sustrato. Las lombrices pueden soportar un pH entre 5 y 8, pero su óptimo es cercano a la neutralidad (Capistran *et al.*, 1999). Se ha reportado que *Eisenia andrei* (Bouché) puede soportar pH's de 8.1 hasta 9.5, y por encima de este se ve afectado su desarrollo, actividad, reproducción y puede causar su muerte (Santamaría y Ferrera-Cerrato, 2002). El género *Eisenia* es muy tolerante al pH alcalino, en cambio es muy poco tolerante a la acidez, a pH por debajo de 5, migra hacia la superficie del sustrato y muere si no encuentra otro lugar más favorable (Martínez, 1996).

1.5. El Cacahuete

El cacahuete *Arachis hipogaea* L. es originario de América del Sur, cuando fue descubierto por los europeos, después se extendió a muchas partes del mundo para su cultivo. La semilla del cacahuete es utilizada como un producto comestible para el humano y animal, así como para la preparación de varios productos como aceite vegetal, mantequilla, harina de cacahuete para alimentación, torta para la alimentación de animales. La planta entera es utilizada como forraje para consumo animal (Mazzani, 1963).

Su fruto es una vaina o cápsula de 2 a 7 cm de largo, con dos ó cuatro semillas, los frutos se entierran en el suelo y se encuentran de 3 a 10 cm bajo la tierra. Las vainas son de color café amarillento con bordes prominentes, reticulados y estrechos, (Figura 1., Sánchez, 1999). El fruto del cacahuate tiene 30% de cáscara y 70% de semilla aproximadamente.

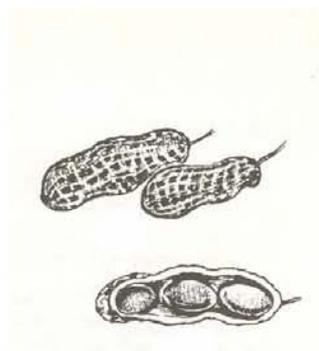


Figura 1. Fruto (vainas) del cacahuate

Durante la maduración del cacahuate la cáscara presenta diferentes constituciones hasta llegar a la madurez donde el compuesto que más predomina es la celulosa, alcanzando hasta mas de la mitad de su constitución (Tabla 1), tiene, por lo tanto, un bajo contenido de minerales (Coste, 1970).

Tabla 1. Composición media de la cáscara de cacahuate madura (Coste, 1970).

%					
Proteínas	Grasas	Celulosa	Agua	Cenizas	Extractos no nitrogenados
6.76	1.10	60.8	7.48	4.1	10.6

Las condiciones para el cultivo del cacahuate son clima cálido con una temperatura entre los 15 a 30° C, es susceptible a las heladas. El suelo debe ser suelto de textura franco-arenosa de preferencia muy bien aireado. El cacahuate es exigente en nitrógeno, potasio y calcio (Sánchez, 1999).

La recolección del cacahuete es la parte mas importante del cultivo; por que no hay punto de referencia, ya que la floración es continua y se tiene la maduración sucesiva de los frutos. La mejor forma para saber que el cacahuete se puede recolectar es levantando al azar algunas plantas y se observa la maduración de los frutos (Mazzani, 1963). Cuando la recolección es muy temprana repercuten la mala calidad y trae como consecuencia complicaciones en el secado de la planta. La recolección requiere tres operaciones:

- Arranque
- Secado
- Trilla

El arranque manual de la planta consiste en tomar la base radical con ayuda de una pala, se entierra unos 15 cm, cuidando de no dañar las vainas, se levanta la planta de la tierra y se coloca en la superficie del suelo. Después del arranque se deja secar la planta, ya que las vainas contienen un 35% de agua, aproximadamente y es necesario disminuir la humedad hasta un 10%. El secado es al aire libre en un lapso de tiempo de seis horas hasta dos días. Cuando estan secos, los cacahuates pasan por una trilladora, en donde se separan las vainas de las hojas y de los tallos. Esto puede realizarse con plantas frescas aunque es un proceso nocivo para las semillas ya que las pueden dañar las aspas de la trilladora; por lo que es más eficiente las trillas que trabajan con plantas secas, porque el proceso es menos violento. Dependiendo del manejo del cacahuete puede mantenerse con cáscara con un máximo de dos meses, pero si las semillas son utilizadas de inmediato se les quita la cáscara (Coste, 1970).

De acuerdo con el anuario estadístico 2001 de la SAGARPA-SIAP en el estado de Puebla se tiene registrada una producción, para el ciclo 2000-2001, de 22,221.07 toneladas, tomando en cuenta que la cáscara es un 30% del fruto, entonces se tienen que 6,666.32 toneladas en el mismo ciclo, como un subproducto. Uno de los manejos mas comunes de la cáscara en México, es su quema en calderas. Otras alternativas son la confección de tabiques, puertas y muebles, para esto es necesario triturarlas y agregarles una pequeña porción

de resina y prensarlas en caliente (Coste, 1970). A pesar de esto, el gran volumen de desecho que se genera cada año hace necesario crear nuevas alternativas de manejo que sean remunerables.

1.6. PASTO *Lolium perenne* L

Este pasto también llamado rye-grass inglés o ballico perenne es una planta perenne que pertenece a la familia de las gramíneas, tiene hojas sin pelos y envés muy brillante, de color verde oscuro, crece en matas densas con gran número de tallos, donde la base es de color rojizo. Las hojas son en forma de V, tienen aurículas pequeñas y lígula sin pelos, membranosa transparente y pegada al tallo. La inflorescencia es erecta en forma de espiga con espiguillas dispuestas en posición alternante a lo largo del tallo (Mustera y Ratera, 1991).

Dadas sus características morfológicas y fisiológicas las hacen adecuadas para forraje de animales ya que es rico en azúcares y proteínas; otra cualidad de este pasto es una digestividad superior a las demás gramíneas perennes lo cual ayuda a optimizar la producción animal (Gros,1976). Es de fácil establecimiento por la gran adaptación a diferentes tipos de suelos, crece bien en suelos con altos contenidos de nitrógeno, de pH ligeramente ácido ($\text{pH} < 7$), aunque soporta suelos alcalinos, las variables restrictivas en su desarrollo son condiciones bajas de humedad y temperaturas por arriba de los 25°C teniendo su desarrollo óptimo entre 18 y 20°C (Mustera y Ratera, 1991).

La cantidad óptima recomendada de semillas por hectárea varía según los autores pero la mayoría coincide en agregar 30 kg ha^{-1} (Guerrero, 1992). La fertilización del pasto recomendada es de 50 a 80 kg ha^{-1} de nitrógeno y de 60 a 100 kg ha^{-1} de fósforo. En zonas áridas donde las características físicas proporcionan una baja retención de humedad y nutrimentos se recomienda la adición de materia orgánica, (INIP-CIPES, 1980). Ha sido objeto de muchas investigaciones científicas debido a que tiene un fácil establecimiento, una germinación rápida, y un rebrote fácil después de un corte y responde rápidamente a un abonado (Gros,1976).

Zaragoza (2000) evaluó el rendimiento del pasto *Lolium perenne* L. en tres diferentes frecuencias de corte o defoliación a las 2,4 y 6 semanas durante cinco meses (octubre-febrero), evaluando la acumulación del forraje mediante el peso en base seca. Esto tuvo como resultados una mejor producción al cosechar cada 28 días con un 30% más con respecto a dos tiempos. El rendimiento total de materia seca cosechada cada 28 días fue en promedio 3273.7 kg MS ha⁻¹. y cosechando cada 14 y 42 días fue de 2612.4 y 2730.2 kg MS ha⁻¹.

Al evaluar la dinámica de crecimiento de *Lolium perenne* en tres periodos de cultivo en un suelo ligeramente alcalino (pH 7.8) y 240 kg ha⁻¹ de materia orgánica, Velasco (2001) reportó en primavera una acumulación de forraje base en materia seca (MS) de 5500 kg MS ha⁻¹; en verano alcanzó un rendimiento de 3400 kg MS ha⁻¹, mientras que en otoño e invierno el forraje acumulado fue de 3200 kg MS ha⁻¹.

1.7 OBJETIVOS E HIPOTESIS

Objetivo general:

- ❖ Acelerar la madurez de vermicomposta a base de cáscara de cacahuate por enriquecimiento con N y P.

Objetivos particulares:

- ❖ Determinar efecto de fertilizantes fosfatados y nitrogenados en la producción de vermicomposta con cáscara de cacahuate.
- ❖ Evaluar en contenido Carbono Orgánico Total, N, P, Ca, Mg, Na, K, pH, actividad de ureasa y fosfatasa en el vermicomposteo.
- ❖ Evaluar los efectos de la vermicomposta sobre el desarrollo del pasto *Lolium perenne* L.

Hipótesis:

- ❖ Al adicionar N y P a la cáscara de cacahuate se acelerará la descomposición del sustrato favoreciendo su función como vermicomposta en el aumento del rendimiento del pasto.

CAPITULO II

MATERIAL Y MÉTODO.

El sustrato utilizado para la elaboración de vermicomposta fue la cáscara de cacahuete procedente del municipio de San Pedro Yeloixtlahuacan que se localiza en el estado de Puebla entre los 18° 07' LN y 98° 04' LO, aproximadamente a 1220 msnm. Este colinda al norte con Acatlán y San Pablo Anicano, al sur con Oaxaca, al oeste con Guadalupe de Santa Ana y al este con Petlalcingo y Chila, tiene una superficie de 164.59 km² (Los municipios de Puebla, 1988)

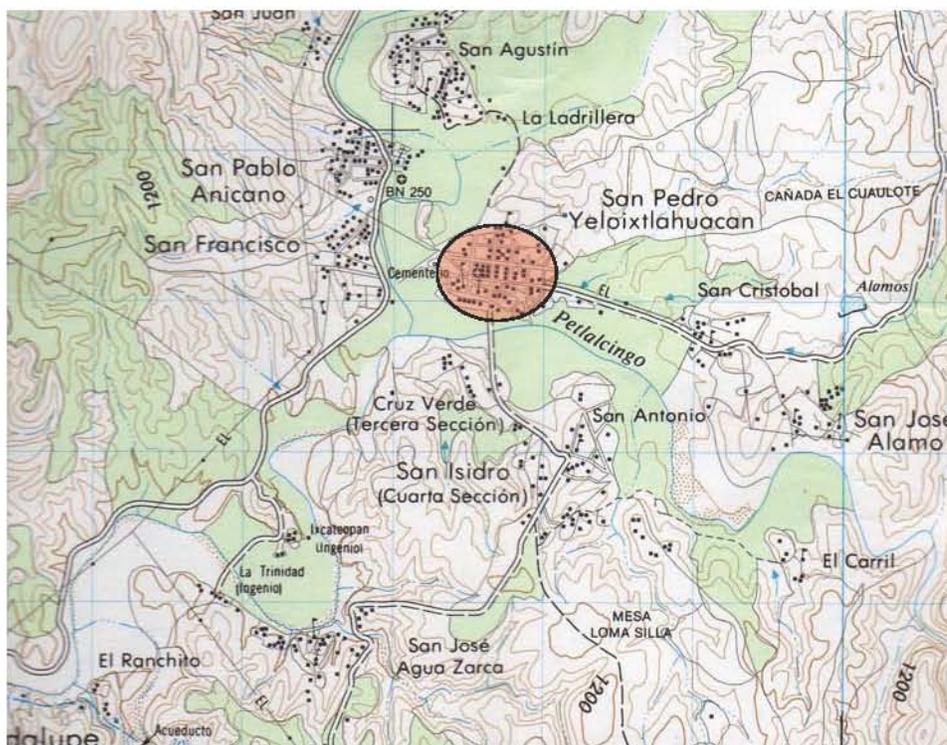


Figura 2. Localización geográfica de San Pedro Yeloixtlahuacan

El precomposteo y vermicomposteo se efectuó en el Centro de Compostaje de la UNAM bajo sobra del 80%, una vez terminado el proceso de vermicompostaje se caracterizó químicamente una muestra compuesta. Posteriormente se realizó la prueba P-50L (Ferruzzi, 1994) para conocer la

adaptación de las lombrices a la cáscara. Para el vermicomposteo se estableció un diseño experimental con diferentes dosis de fertilizante empleando urea y superfosfato simple. A este proceso se le hizo un seguimiento de maduración y evaluación de calidad tomando como indicadores parámetros químicos y enzimáticos.

La evaluación de la eficiencia de la vermicomposta, como abono, se efectuó mediante la producción de biomasa del pasto *Lolium perenne* L. a nivel de invernadero, en la Facultad de Ciencias UNAM; como sustrato se empleó el suelo de la zona de San Pedro Yeloixtlauacan, Puebla, que se caracterizó física y químicamente. Además, se determinó la eficiencia de germinación de las semillas del pasto en cámaras de ambientes controlados.

2.1. Pre-Composteo

El proceso de pre-composteo de la cáscara de cacahuete se llevó a cabo colocándola en un contenedor de plástico con sistema de aireación, consistente en tubos de PVC de 15 cm de diámetro por 1.30 m de altura con perforaciones de 5 cm de diámetro, a todo lo largo del tubo. El sustrato a pre-compostear se humedeció previamente entre 70 y 80%, manteniendo esta humedad durante todo el proceso. Dentro del contenedor se midió la temperatura con un termómetro digital modelo (Digi-Sence marca Cole – Parmer con sensores tipo K), se colocaron dos sensores a 0-15 y de 15-30 cm de profundidad; también se colocó un sensor fuera del contenedor para monitorear las variaciones de temperatura ambiental. Las lecturas se llevaron a cabo diariamente a las 13:00 h.

Una vez terminado el pre-composteo se realizó la prueba P-50L (Ferruzzi, 1994) colocando 50 lombrices cliteladas junto con la cascarilla en una caja de unicel de 18 litros, con tapa y ventilación. Las condiciones de humedad del sustrato fueron del 70 al 80% (las mismas que en el precomposteo). Después de 24 horas se observó el comportamiento de las lombrices y se valoró su sobrevivencia.

2.2. Vermicomposteo

El vermicomposteo se llevó a cabo con el sustrato precompostado, enriquecido con nitrógeno y fósforo; para esto se estableció un diseño experimental bifactorial con arreglo combinatorio completamente al azar (Tabla 2). Al sustrato se le agregaron dos dosis diferentes de nitrógeno y fósforo, lo cual resultó en 9 tratamientos y un testigo llamado COM sin lombrices y sin dosis de fertilizante, con tres repeticiones cada uno, lo que dió un total de 30 unidades experimentales. Los fertilizantes fueron agregados disueltos en agua dos días antes de inocular las lombrices. El fertilizante utilizado fue la urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ con 45% de N y el super fosfato simple con 19.5% P_2O_5 . La dosis empleadas fueron 60-40-00 y 80-60-00 kg ha^{-1} , respectivamente.

Para este experimento se utilizaron 30 cajas de unicel con una capacidad de 18 litros donde se pusieron 3.5 Kg. de peso seco de cáscara de cacahuate precompostada y enriquecidas con las dosis de urea y superfosfato simple; además se inocularon 50 lombrices cliteladas en cada caja. Los tratamientos durante el experimento fueron colocados al azar (Tabla 3).

Durante el vermicomposteo se hizo el seguimiento de su maduración tomando muestras compuestas de cada uno de los tratamientos, para tener una muestra homogénea, para su análisis. La primer toma de muestras fue a los 46 días y la segunda fue al final del proceso a los 92 días.

Tabla 2 Tratamientos del diseño experimental bifactorial con arreglo combinatorio al azar

Dosis	P0	P1	P2
N0	P0N0	P1N0	P2N0
N1	P0N1	P1N1	P2N1
N2	P0N2	P1N2	P2N2

N0 (00 kg ha⁻¹); N1 (60 kg ha⁻¹); N2 (80 kg ha⁻¹); P0 (00 kg ha⁻¹); P1(40 kg ha⁻¹); P2 (60 kg ha⁻¹).

Tabla 3. Disposición en el diseño al azar de los tratamientos, del sustrato y de los fertilizantes, con sus repeticiones.

N2P2	N0P0	N0P2	COM	N0P1
N0P2	COM	N2P1	N2P0	N2P1
N1P0	N1P1	N1P2	N0P0	N2P2
N0P1	N2P1	N0P1	N2P0	N1P0
N1P1	N0P1	N1P2	COM	N1P1
N1P2	N1P0	N0P0	N2P0	N0P2

N0 (00 kg ha⁻¹); N1 (60 kg ha⁻¹); N2 (80 kg ha⁻¹); P0 (00 kg ha⁻¹); P1(40 kg ha⁻¹); P2 (60 kg ha⁻¹), COM (COMPOSTA).

Análisis de laboratorio.

El análisis químico y bioquímico de la vermicomposta se llevó a cabo en dos fases en muestras húmedas y secas. En la primera fase se determinó el porcentaje de humedad, pH en agua en relación 1:10 y la actividad enzimática, en muestras húmedas almacenadas a 4° C para detener la actividad microbiológica. A continuación se describen las técnicas empleadas para los análisis.

2.2.1 Análisis de la vermicomposta en húmedo.

- % de humedad por gravimetría: (Van Reeuwijk; 2002).
- pH en H₂O por el método del potenciómetro relación 1:10 (Van Reeuwijk, 2002).

2.2.2 Análisis enzimático

- Determinación de la actividad de la fosfomonoesterasa (fosfatasa ácida) por el método Tabatabai y Vermner (Kassen y Nannipieri, 1995)
- Determinación de la actividad ureasica por el método Kandeler y Gerber . (Kassen y Nannipieri, 1995)

2.2.3 Análisis de la vermicomposta seca a 60°C

La segunda fase del análisis de laboratorio fue el secado de la vermicomposta a 60°C empleando una estufa (Elisa); posteriormente las muestras se molieron en un molino para café (Moulinex). A las muestras se les determinó el contenido de carbono orgánico total por pérdida por ignición, nitrógeno total (Nt), fósforo disponible(PO₄), calcio (Ca²⁺), sodio (Na⁺), potasio (K⁺), y magnesio (Mg²⁺) intercambiable utilizando las siguientes técnicas de análisis.

- N total por Kjeldahl. Para la digestión se utilizó la técnica de TMECC 2002; en la determinación de nitrógeno se utilizó la técnica de (Van Reeuwijk, 2002)
- P disponible. Por el método de Bray. (Van Reeuwijk, 2002)
- Carbono por pérdida de Ignición (Burés, 1997).
- Bases intercambiables (Van Reeuwijk, 2002).

2.3 Eficiencia de la vermicomposta de cáscara de cacahuate en el desarrollo del pasto *Lolium perenne* L.

La evaluación de la eficiencia de la vermicomposta se llevó a cabo mediante la producción del pasto *Lolium perenne* tomando como variables dependientes el peso en base seca y las variables independientes fueron los diferentes tratamientos. El diseño experimental fue trifactorial completamente al azar. Los tratamientos consistieron en composta, vermicomposta, fertilizante y testigo, con tres repeticiones cada tratamiento. El arreglo al azar de los tratamientos se presenta en la Tabla 4

Tabla 4. Diseño bifactorial con arreglo combinatorio al azar de las vermicompostas con sus diferentes dosis de fertilizante, con testigos.

N1P2	N2P2	N1P1	COM	N2P1	S.V
COM	N0P1	N1P0	S.V	N2P2	N0P0
N0P2	FERT	N1P1	N0P0	N1P2	S.V.
N0P1	N2P1	FERT	N2P0	N2P1	N1P0
N1P0	N2P2	N1P1	COM	N2P0	N0P2
N2P0	FERT	N0P2	N0P0	N1P2	N0P1

Tratamientos: N0 sin dosis Nitrógeno; N1 con dosis baja Nitrógeno; N2 con dosis alta de Nitrógeno; P0 sin dosis de fósforo; P1 con dosis baja de fósforo; P2 con alta de fósforo; FERT. fertilizante; S.V. sin fertilizante y sin vermicomposta; COM testigo

Antes de iniciar el bioensayo se realizó una prueba de germinación que consistió en colocar 100 semillas en cajas petri esterilizadas, humedeciendo las semillas con una solución de KNO_3 al 2% (Thompson, 1979). Estas se incubaron en una cámara de ambientes controlados a una temperatura de $25 \pm 1^\circ C$, con una humedad entre 25 y 30%, un fotoperiodo de 16x8 y una intensidad de luz 2110 lux, obteniendo una germinación del 85% para el lote de semillas que se utilizaron para este bioensayo.

El experimento se realizó en macetas de plástico con capacidad de 1kg. Se agregaron 100 g de tezontle fragmentado; colocado en el interior de la base, para asegurar un buen drenaje, luego se colocó sobre el tezontle 1Kg de suelo.

Posteriormente se incorporó al suelo el fertilizante y la vermicomposta de cada uno de los tratamientos. La dosis de fertilizante fue 80-60-00 Kg ha⁻¹, y la dosis de vermicomposta fue de 2% por kg de suelo (Almendros com. pers.) En cada maceta se sembraron 50 semillas y después de la germinación se aclarearon a 11 plántulas por maceta, teniendo una densidad de semillas de 30 kg por ha, recomendada para el cultivo de este pasto (Guerrero, 1992). Se realizaron tres cortes de la parte aérea del pasto, cada dos meses o antes de la espigación. El pasto fue pesado en fresco y secado en bolsas de papel a 60°C durante 12 hrs y posteriormente pesados en una balanza granataria digital

2.4 Caracterización de las muestras de suelo

En el terreno se realizó y describió un perfil edafológico en la zona y se tomaron muestras de cada horizonte, se le hicieron análisis de laboratorio, los resultados se encuentran en el ANEXO 1. El sustrato fue tomado del perfil y se homogenizó revolviendo hasta obtener una muestra compuesta.

Para el análisis del suelo fue necesario secarlo a temperatura ambiente y tamizarlo con malla no. 10 para los siguientes análisis:

- Pedregosidad.
- D. A por el método de la probeta, (Baver 1956)
- D. R. Por el método del picnómetro (Baver 1956)
- % porosidad, por relacion entre densidad aparente y densidad real.
- determinación de conductividad eléctrica (Allison, *et al.*, 1949)

- pH utilizando una relación 1:2.5 y 1:5 con H₂O y KCl 1M pH 7 potenciómetro Corning, (Jackson 1982)
- color con comparación con las tablas Munsell 1990.
- textura por el método de hidrómetro de Bouyoucos.
- C. I. C por centrifugación y valoración con EDTA (Jackson, 1970)
- Cationes intercambiables por el método de Versenato EDTA (Black *et al.*, 1965)
- % materia orgánica. Por el método de Walkley y Black (Black *et al.*, 1965)
- N total por Kjeldahl (Black *et al.*, 1965)
- P asimilable por el método Olsen (Black *et al.*, 1965)

2.5. Pruebas estadísticas.

El análisis estadístico utilizado para poder detectar el efecto entre los tratamientos fue el análisis de varianza (ANOVA no paramétrica de Kruskal Wallis, y para encontrar cuales son los tratamientos que difieren se hizo una comparación múltiple de Dune. (Conover,1999, Dickinson, 2003, Wayne, 2004)

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1 PRECOMPOSTEO

El precomposteo de la cáscara de cacahuate se evaluó mediante el cambio de la temperatura en la cáscara y en el ambiente (Figura 1). Este proceso duró 23 días, con una temperatura de 20.5°C y disminuyó durante los tres primeros días hasta 10.3°C lo cual correspondió a la baja de la temperatura ambiental, Posteriormente hubo un ascenso de la temperatura hasta alcanzar 63.1°C en el día 13, en días subsecuentes descendió la temperatura hasta 14°C, la temperatura fue igual a la del ambiente en el día 23.

Durante el precomposteo la pila presentó olor a amoníaco en el día 5, se observó el crecimiento de micelios de hongos, durante los días 11, 12 y 13 correspondientes a la fase termófila, posteriormente la temperatura bajo hasta el día 17 que corresponde a la fase de enfriamiento del proceso con la disminución de micelios de hongos y la fructificación de los mismos, así como la disminución de olor a amoníaco. Finalmente se continuó el proceso hasta el día 23, correspondiendo esto al inicio de la fase de madurez.

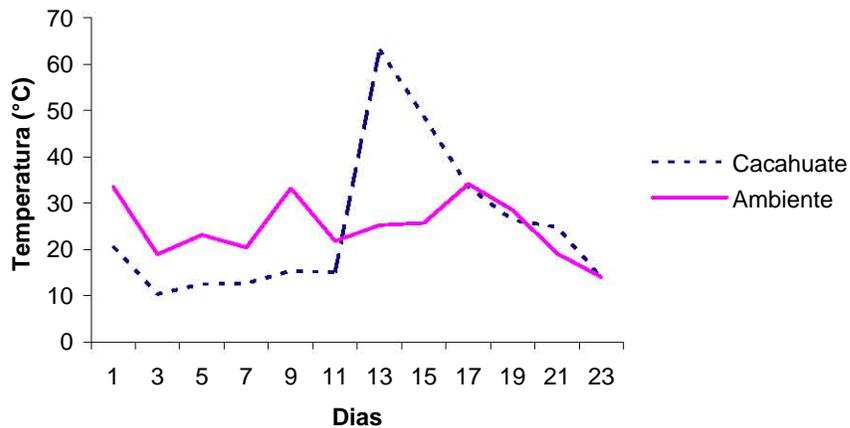


Figura 3. Gráfica de la variación de temperatura durante el proceso de pre-composteo, de la cascarilla de cacahuete

Los resultados de la cascarilla de cacahuete precomposteadas muestran que es un sustrato ligeramente básico con pH en agua de 7.5, con un contenido de carbono de 548 g kg^{-1} y un contenido de nitrógeno de 30.34 g kg^{-1} , obteniendo con ello una relación C:N de 15.5, con un contenido de fósforo asimilable de 7.7 mg kg^{-1} y un porcentaje de humedad de 67.9.

3.2 Prueba P-50L

La adaptabilidad de las lombrices a la cascarilla de cacahuete precomposteadas fue positiva, ya que las 50 lombrices colocadas en la cascarilla después de 24 hrs se encontraron vivas y con un aspecto saludable; su reacción a estímulos de luminosidad y contacto físico desencadenaron un rápido movimiento hacia sitios de baja luminosidad y fuera del alcance del estímulo (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados de la prueba P50L

	Vivas	Muertas	saludables	No saludables
No de lombrices Después de 24hrs.	50	0	50	0

3.3 Prueba de germinación

Se obtuvo una germinación del 85% para el lote de semillas que se utilizaron para este bioensayo.

3.4 Vermicomposteo

El resultado positivo en la prueba P-50L permitió proseguir con el proceso de vermicomposteo, el cual duró 92 días. Durante este tiempo los tratamientos mostraron una humedad entre el 70 y 80%.

El crecimiento poblacional de las lombrices, las características físicas, químicas y enzimáticas de la vermicomposta se describen a continuación

3.4.1 Crecimiento de Población de Lombrices

Durante el periodo de vermicomposteo al día 70 las lombrices cliteladas comenzaron a salirse de las cajas

En la tabla 6 se presenta el promedio del crecimiento poblacional de las lombrices y el número de huevos encontrados en cada tratamiento en la vermicomposta de cacahuate.

Tabla 6. (Número de lombrices y huevos por tratamiento)

tratamientos	lombrices	huevos
N1P1	2000	696
N2P2	1144	312
N0P0	1624	648
N1P2	1048	216
N0P2	1424	376
N2P1	1368	400
N0P1	1736	456
Composta	0	0
N1P0	1408	576
N2P0	1688	456

3.4.2 Resultados Físicos y Químicos

La caracterización química de los tratamientos de vermicomposta se presenta a continuación:

El contenido de nitrógeno total varió de 15.9 a 20.4 g Kg⁻¹ en los tratamientos COMP y N2P0 respectivamente, para el tiempo T2 y de 17.8 hasta 23.9 g Kg⁻¹ en los tratamientos N0P1 y NIP2 respectivamente, para el tiempo T3 (Tabla 7), hubo un aumento en el contenido de nitrógeno total en T3 con respecto a T2 en todos los tratamientos.

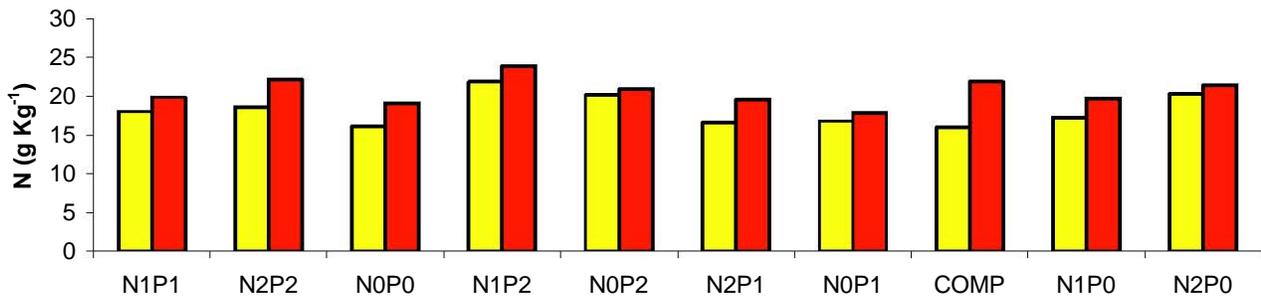
El contenido de fósforo asimilable varió de 141.3 a 266.2 mg kg⁻¹ en los tratamientos N2P0 y N0P1 respectivamente para el tiempo T2 y de 53.0 hasta 144.9 mg kg⁻¹ en los tratamientos N2P2 Y COMP respectivamente para el tiempo T3 (tabla 7). Hubo un menor contenido de fósforo asimilable en T3 con respecto a T2 en todos los tratamientos,(figura 3B).

El contenido de potasio intercambiable osciló de 1783 hasta 33.39 cmol_c kg⁻¹ en los tratamientos N0P2 Y N0P1 respectivamente, para el tiempo T2 y de 11.09 hasta 19.90 cmol_c kg⁻¹ en los tratamientos N0P2 y N0P1 respectivamente para el tiempo T3, (Tabla 7) La tendencia fue de disminución en el contenido de potasio asimilable de T2 con respecto a T3 en todos los tratamientos (Figura 3C).

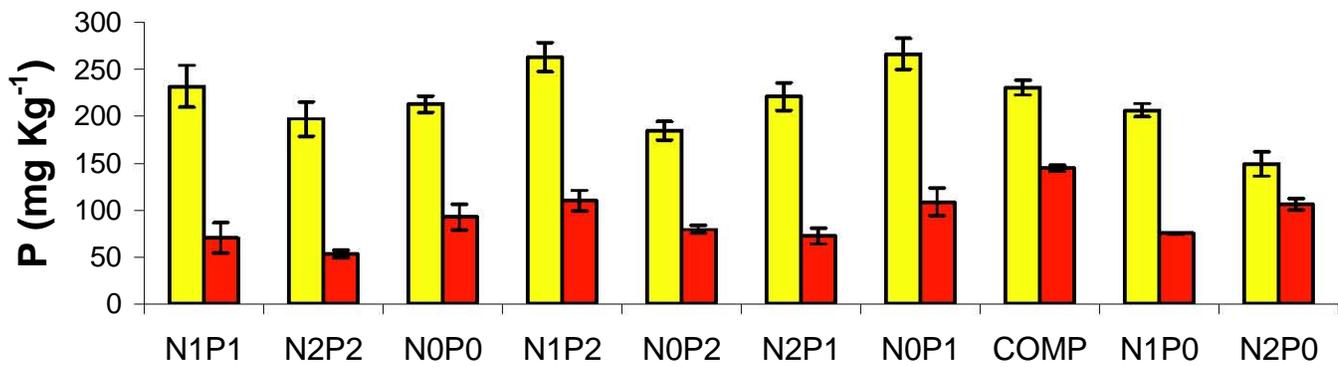
Tabla 7 Valores máximos y mínimos en composta de cacahuete del contenido de Nitrógeno total, Fósforo asimilable, Potasio intercambiable, en dos tiempos de maduración T2 y T3.

Tratamientos	Nitrógeno		Fósforo,		Potasio	
	g Kg ⁻¹		mg Kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹	
	T2	T3	T2	T3	T2	T3
N1P1	18.0	19.9	231.8	70.3	21.69	18.78
N2P2	18.6	22.2	197.1	53.0	19.54	16.41
N0P0	16.1	19.1	212.9	92.4	22.22	11.51
N1P2	21.9	23.9	262.9	109.9	29.26	13.68
N0P2	20.01	21.0	184.6	79.3	17.83	11.09
N2P1	16.6	19.6	221.1	72.3	20.48	15.13
N0P1	18.8	17.8	266.2	108.5	33.39	19.90
COMP	15.9	21.9	230.4	144.9	20.84	12.98
N1P0	17.2	19.7	206.3	75.2	25.68	19.60
N2P0	20.4	21.4	149.3	106.2	28.39	18.12

A



B



C

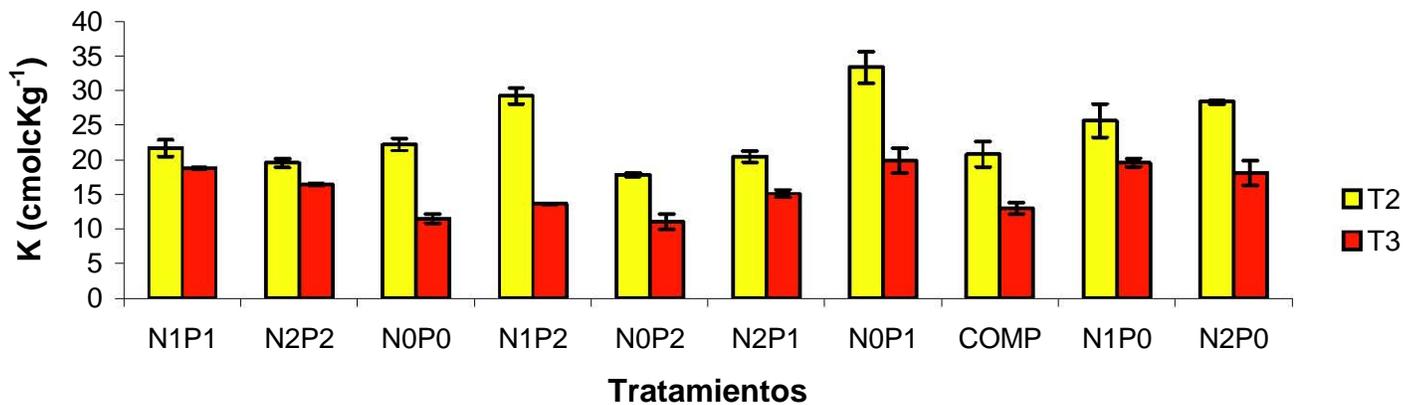


Figura 4. Propiedades químicas de las vermicompostas en dos tiempos de maduración T2 y T3. (A) Contenido nitrógeno total. (B) Contenido de fósforo asimilable. (C) Resultado del contenido de potasio intercambiable.

Los intervalos del contenido de carbono total fueron de 530,3 g Kg⁻¹ hasta 534,3 g Kg⁻¹ en los tratamientos N1P1 y N2P2 respectivamente, para el tiempo T2 y de 518,8 g Kg⁻¹ hasta 526,9 g Kg⁻¹ en los tratamientos N1P1 y N0P2 respectivamente, para el tiempo T3 (Tabla 8), El contenido de carbono de total de T3 fue menor que el de T2 en todos los tratamientos (figura 4A).

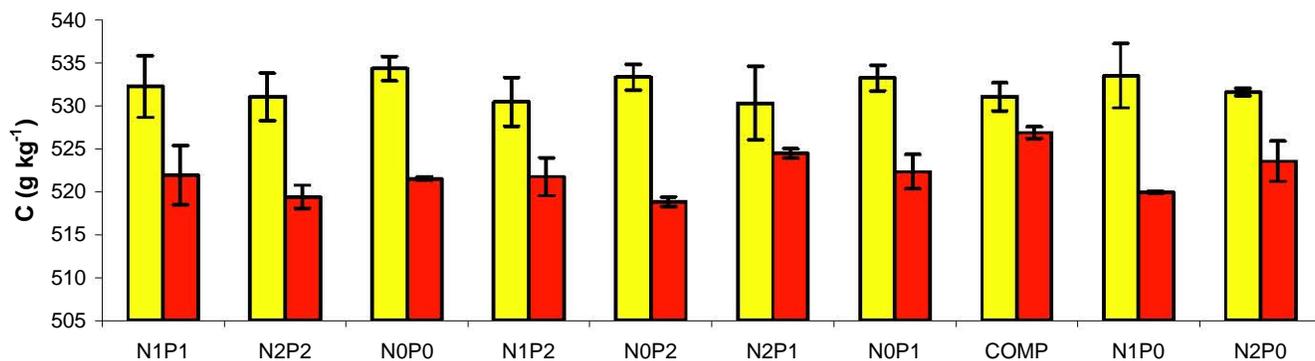
La relación de C:N varió entre 24,2 y 33,4 en los tratamientos N2P0 y COMP respectivamente, para el tiempo T2 y de 21,8 hasta 29,3 respectivamente en los tratamientos N0P1 y N1P2, para el tiempo T3 (Tabla 8), encontrándose una tendencia de disminución en la relación C:N de T3 con respecto de T2. (figura 4B).

El pH en H₂O 1:10 (v/v) fue de valores entre 3,63 a 4,77 en los tratamientos N0P1 y N1P2 respectivamente, para el tiempo T2 y de 4,71 hasta 5,18 en los tratamientos N1P0 y N0P1 respectivamente, para el tiempo T3 (Tabla 8), encontrándose una tendencia de aumento en el pH en H₂O 1:10 (v/v) en todos los tratamientos (figura 4C).

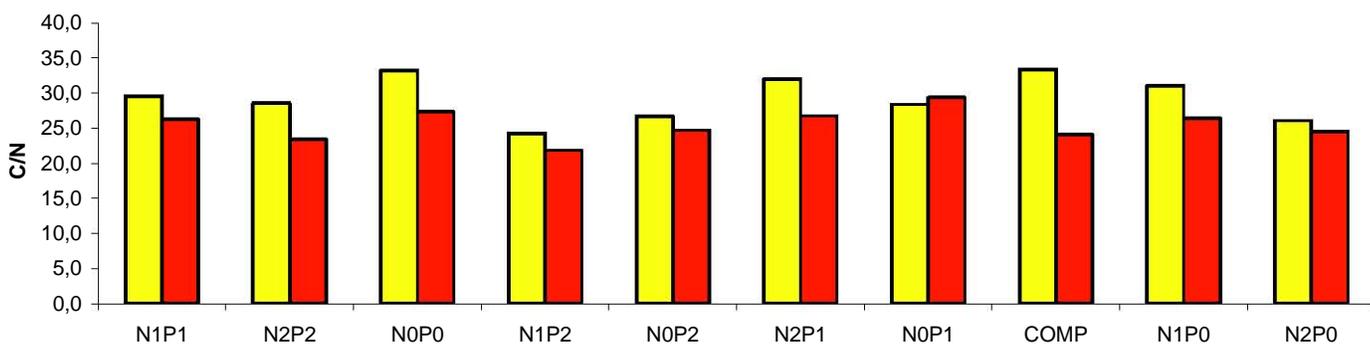
Tabla 8 Valores máximos y mínimos en vermicompostas de cacahuete del contenido de carbono total, Relación C:N y pH en H₂O, en dos tiempos de maduración T2 y T3)

Tratamientos	Carbono		Relación C/N.		pH H ₂ O	
	g. Kg ⁻¹		T2	T3	1:10 (v/v)	
	T2	T3			T2	T3
N1P1	532,2	521,9	29,6	26,2	4.23	5.08
N2P2	531,0	519,4	28,6	23,4	4.60	5.04
N0P0	534,3	521,5	33,2	27,3	4.25	5.08
N1P2	530,4	521,7	24,2	21,8	4.77	5.06
N0P2	533,3	518,8	26,7	24,7	3.97	4.92
N2P1	530,3	524,5	31,9	26,8	3.93	5.11
N0P1	533,2	522,3	28,4	29,3	3.63	5.18
COMP	531,0	526,9	33,4	24,1	3.97	4.77
N1P0	533,5	519,9	31,0	26,4	3.73	4.71
N2P0	531,6	523,5	26,1	24,5	4.07	4.75

A



B



C

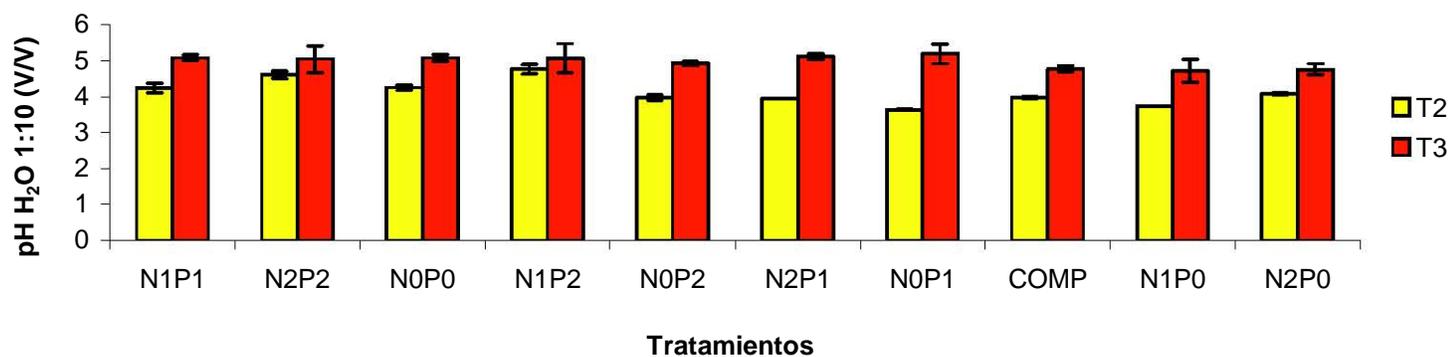


Figura 5 Propiedades químicas de las vermicompostas en dos tiempos de maduración T2 y T3. (A) Contenido Carbono total. (B) relación Carbono: Nitrógeno. (C) pH en H₂O 1:10 (V/V).

El calcio intercambiable mostró intervalos entre 34.03 hasta 43.99 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ respectivamente en los tratamientos N2P2 y NIP2 para el tiempo 2 y de 41.44 hasta 56.19 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ para los tratamientos N0P2 y NIP2 para el tiempo 3, (Tabla 9).Hubo un aumento en el contenido de calcio intercambiable de T3 con respecto de T2, excepto en el tratamiento N2P1, el cual disminuyó de 43.02 a 42.07 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$, (figura 5 A).

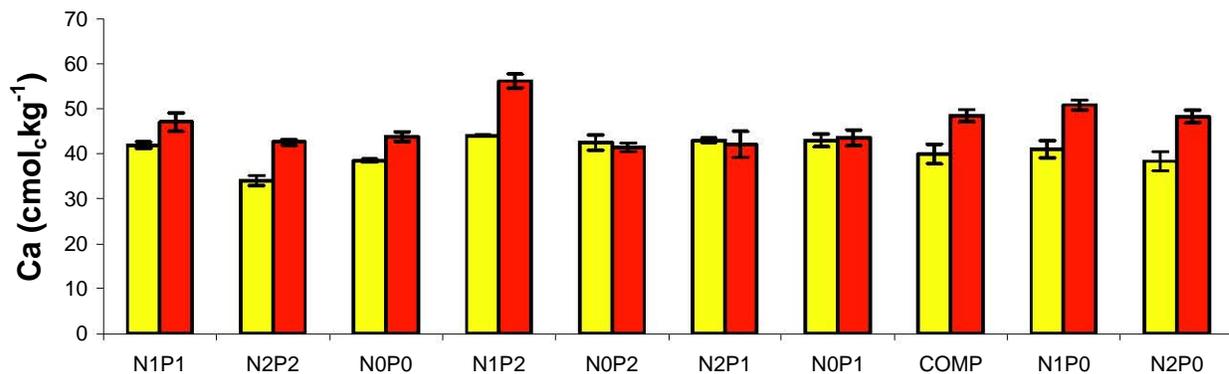
El contenido de magnesio intercambiable cambio dentro de valores de 3.01 hasta 5.45 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ en los tratamientos N1P2 y N2P0 respectivamente para el tiempo 2 y de 4.12 hasta 6.46 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ para los tratamientos NOP2 y COMP respectivamente para el tiempo 3, (Tabla 9), la tendencia fue de aumento en el contenido de magnesio intercambiable de T3 con respecto de T2, excepto en los tratamientos N1P2, N2P1 y NOP1, los cuales disminuyeron de 5.45 a 5.23, 4.78 a 4.72 y 5.09 a 4.35 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$, (figura 5 A).

El contenido de sodio intercambiable se estableció entre 15.03 hasta 26.81 $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ en los tratamientos N1P1 y N0P1 respectivamente para el tiempo 2 y 10.94 hasta 15.00 $\text{Cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ para los tratamientos N0P2 y N2P2 para el tiempo 3, (Tabla 9), encontrándose una tendencia de disminución en el contenido de sodio intercambiable de T3 con respecto a T2, (figura 5 C).

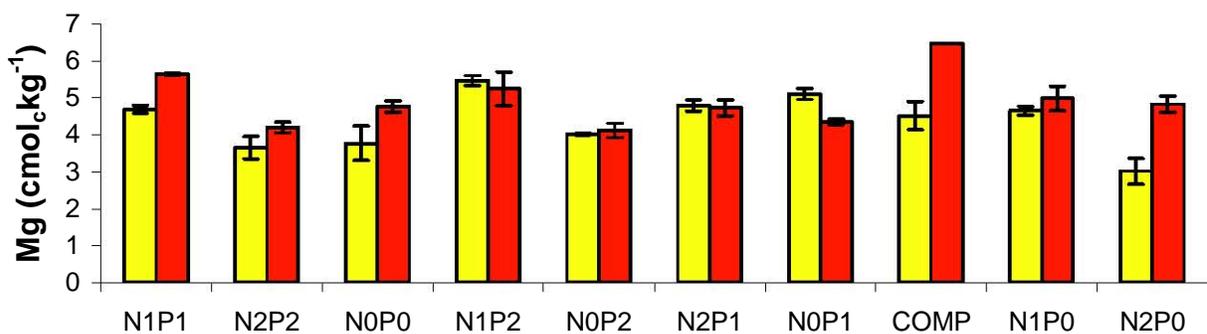
Tabla 9 Valores del contenido de calcio, magnesio y sodio intercambiable de diferentes tratamientos de vermicomposta, en dos tiempos de maduración T2 y T3.

Tratamientos	Ca (cmol _c Kg ⁻¹)		Mg (cmol _c Kg ⁻¹)		Na (cmol _c Kg ⁻¹)	
	T2	T3	T2	T3	T2	T3
N1P1	41.85	47.07	4.68	5.64	15.03	13.95
N2P2	34.03	42.56	3.64	4.19	17.18	15.00
N0P0	38.48	43.79	3.76	4.76	23.47	12.28
N1P2	43.99	56.19	5.45	5.23	24.90	11.14
N0P2	42.53	41.44	4.01	4.12	22.87	10.94
N2P1	43.02	42.07	4.78	4.72	20.39	11.93
N0P1	42.91	43.52	5.09	4.35	26.81	12.93
COMP	39.94	48.47	4.51	6.46	21.13	13.57
N1P0	40.94	50.86	4.64	4.98	19.70	12.90
N2P0	38.37	48.27	3.01	4.82	20.51	13.19

A



B



C

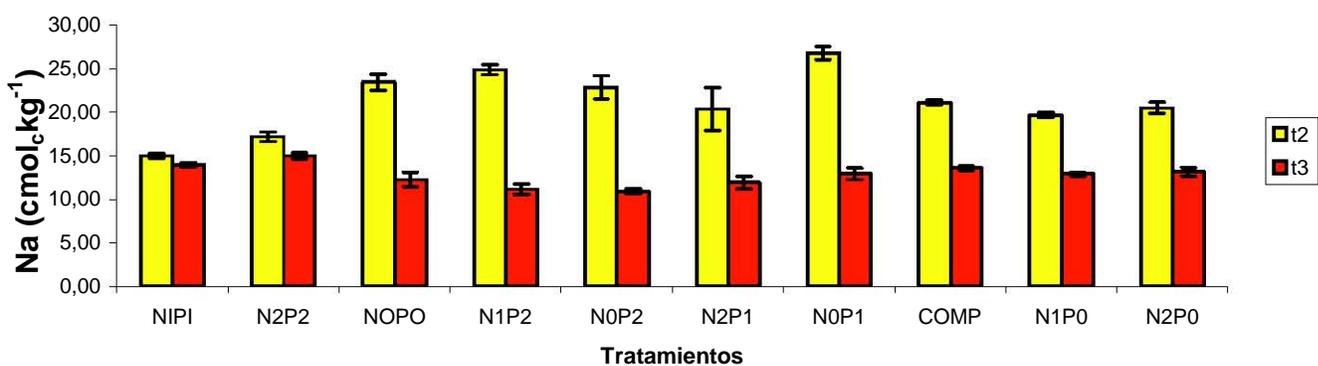


Figura 6. Propiedades químicas de las vermicompostas en dos tiempos de maduración T2 y T3. (A) Contenido de Calcio intercambiable. (B) Contenido de Magnesio intercambiable. (C) Contenido de Sodio intercambiable .

3.4.3 Actividad Enzimática

La actividad enzimática de la fosfomonoesterasa ácida durante el vermicomposteo varió entre 41.0 y 105.0 mg p-nitrofenol MS h⁻¹ en los tratamientos COMP y N1P2, para el tiempo T2 y de 39.3 hasta 107.4 mg p-nitrofenol MS h⁻¹ respectivamente para los tratamientos COMP y N1P0. La actividad enzimática de la fosfomonoesterasa ácida se mantuvo constante en los tiempos de maduración T2 y T3.

La actividad enzimática de la ureasa durante el vermicomposteo osciló entre 35.7 hasta 73.1 μg N-NH₄ MS h⁻² en los tratamientos N0P0 y N2P1 para el tiempo de maduración T2 y de 153.5 a 345.4 μg N-NH₄ MS h⁻² respectivamente en los tratamientos N1P1 y N0P2 para el tiempo T3. La tendencia fue de un aumento en la actividad de la ureasa de T3 respecto a T2.

La prueba estadística de Kruskal Wallis, realizada a la actividad enzimática no fue sensible al tipo de datos que se generan por el análisis enzimático.

Tabla 10 Valores de la actividad enzimática de la Fosfomonoesterasa ácida y la Ureasa en tiempos de maduración (T2 y T3)

Tratamiento	Ureasa $\mu\text{g N-NH}_4 \text{ MS h}^{-2}$		Fosfatasa $\text{mg p-nitrofenol MS h}^{-1}$	
	T2	T3	T2	T3
N1P1	58,7	153,5	87,7	96,1
N2P2	49,2	209,2	66,2	63,6
N0P0	35,7	270,0	96,1	94,0
N1P2	64,5	344,4	105,0	104,9
N0P2	73,7	345,4	104,8	101,9
N2P1	73,1	321,7	83,2	83,8
N0P1	71,0	156,3	80,2	89,3
COMP	63,6	243,7	41,0	39,7
N1P0	43,8	230,5	93,7	107,4
N2P0	44,6	259,7	47,4	63,9

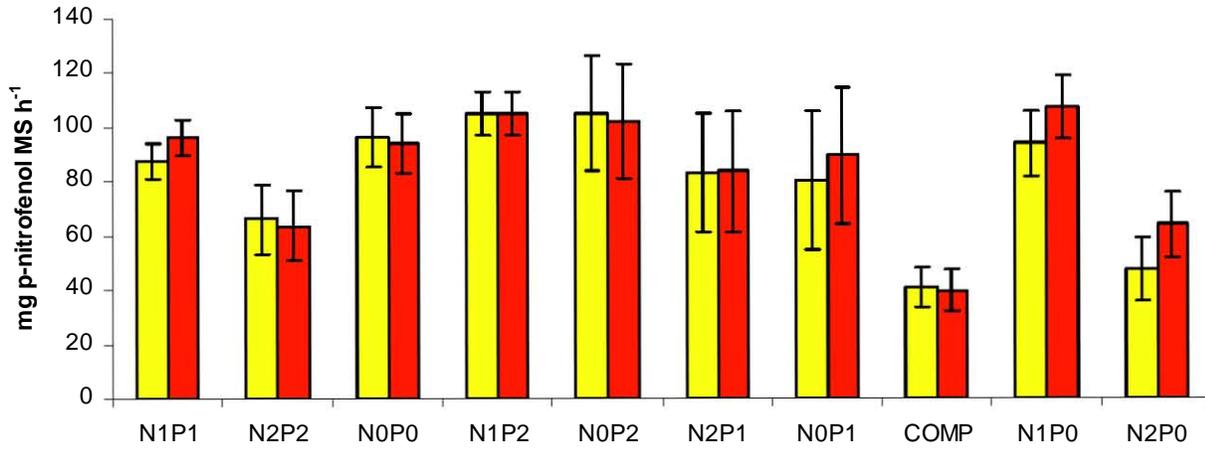
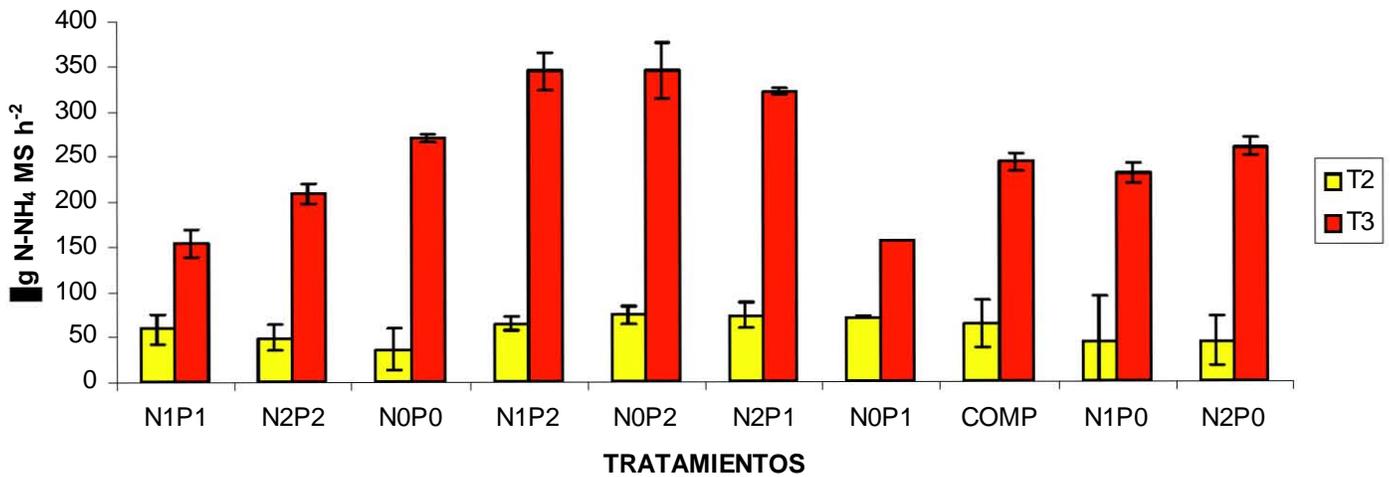
A**B**

Figura 7. Actividad enzimática durante el vermicomposteo de cáscara de cacahuete de la Fosfomonoesterasa ácida (A) y de la Ureasa (B) en dos tiempos de maduración (T2 y T3)

3.4.4 Producción de materia seca del pasto *Lolium perenne* L

La producción de materia seca del pasto *Lolium perenne* L. osciló entre 1568,0 kg. Ha⁻¹ hasta 2649,3 kg. Ha⁻¹ en los tratamientos N2P2 y COMP respectivamente, para el corte 1 y de 2707,2 kg. Ha⁻¹ hasta 3999,9 kg. Ha⁻¹ en los tratamientos N2P1 y COMP respectivamente, para el corte 2, finalmente para el Corte 3 se estableció entre 1571,8 kg. Ha⁻¹ hasta 2411,2 kg. Ha⁻¹ en los tratamientos N2P1 y COMP respectivamente (Tabla 12), Hubo un aumento en materia seca del corte 1 con respecto al corte 2, y una disminución del corte 3 con respecto al corte 2 (figura 7).

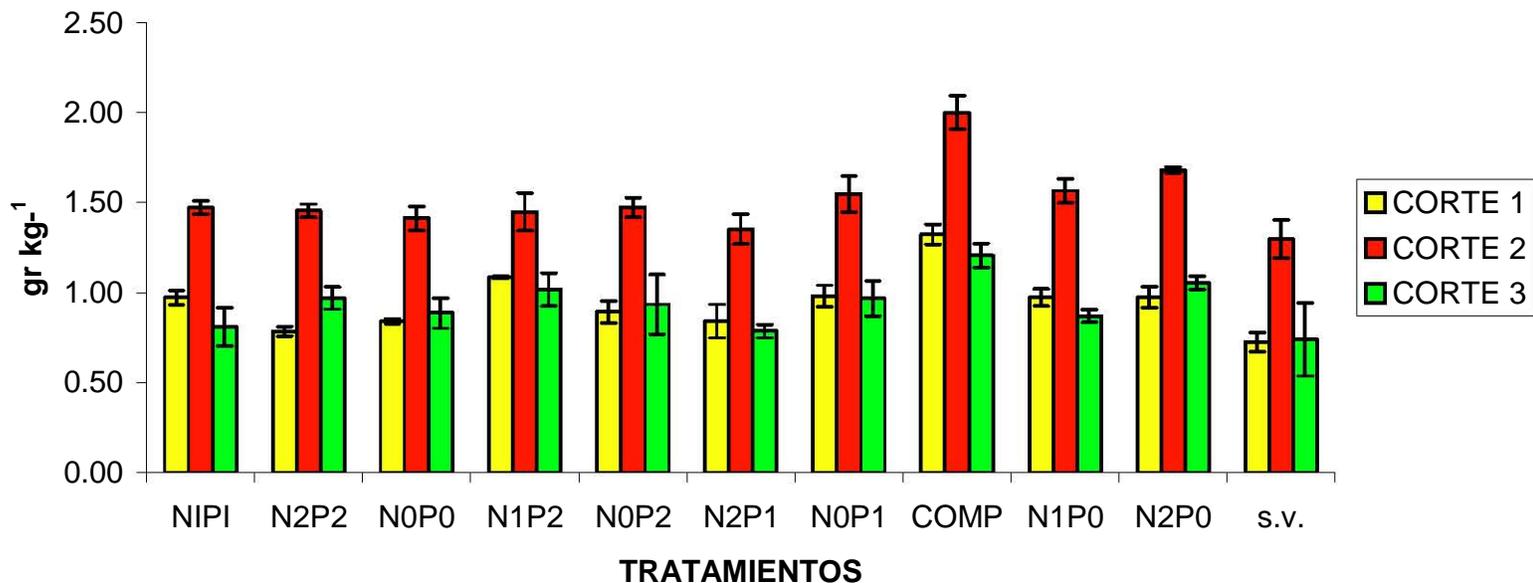


Figura 8. Producción de materia seca del pasto *Lolium perenne* L. en 3 cortes del área foliar.

Tabla 12 Valores máximos y mínimos usando vermicomposta de cacahuate de la producción de materia seca del pasto *Lolium perenne* L.

MATERIA SECA			
Tratamientos	gr maceta ⁻¹		
	corte 1	corte 2	corte 3
N1P1	0,97	1,47	0,81
N2P2	0,78	1,45	0,97
N0P0	0,84	1,41	0,89
N1P2	1,09	1,45	1,02
N0P2	0,89	1,47	0,93
N2P1	0,84	1,35	0,79
N0P1	0,98	1,55	0,97
COMP	1,32	2,00	1,21
N1P0	0,97	1,57	0,87
N2P0	0,97	1,68	1,05
S.V	0,73	1,30	0,74

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

4.1. Precomposteo.

Las temperaturas registradas durante el precomposteo describen un comportamiento normal descrito en la literatura, ya que presenta una etapa mesófila del día 1 al 4 en donde el sustrato se humedece y comienza a ser colonizado por microorganismos, una etapa termófila del día 5 hasta el 13 en donde los microorganismos como hongos y bacterias termófilos se multiplicaron obteniéndose un aumento de temperatura, durante esta fase, la mayoría de los componentes de fácil degradación como los azúcares, almidones y grasas son consumidos por estos microorganismos (Labrador *et al.*, 1996) y se alcanza un máximo de temperatura de 63.5 °C, y finalmente una fase de enfriamiento, en donde los microorganismos termófilos comienzan a morir por falta de alimento fácilmente disponible ya que quedan mayoritariamente materiales celulósicos y hemicelulósicos a partir del día 14 al 23, en donde se alcanzó la temperatura ambiente. Previo a este día una vez se había alcanzado la temperatura ambiente en el día 19, pero para asegurar que la temperatura no subiese otra vez, se realizó un volteo que facilitó la aireación, lo que provocó un aumento de 5.7 °C por encima de la temperatura ambiente en el día 21, y debido a que este aumento solo duró un día y bajó de nuevo hasta alcanzar la temperatura ambiente, se aseguró que el sustrato no se calentase de nuevo una vez inoculadas las lombrices, evitando así que éstas pudiesen verse afectadas o morir por un calentamiento mayor a los 30° C.

El día 13 se alcanzó un máximo de temperatura, después de este día se inició la fase de enfriamiento. El precomposteo continuó hasta que la temperatura bajó a casi a la temperatura ambiental, lo cual ocurrió el día 23 finalizando la etapa de enfriamiento.

Durante el precomposteo la materia orgánica cambió sus características tanto físicas como químicas muchas veces produciendo condiciones que las lombrices no toleran como un pH muy básico o muy ácido, por eso fue necesario realizar la prueba P-50L de adaptabilidad al sustrato, esta prueba demostró que el sustrato no era tóxico, que el pH de 7.57 la humedad de 67.9% y la temperatura 14 °C que tenía la cáscara precomposteadada no causaba ningún efecto negativo en las lombrices ya que las 50 lombrices que se pusieron se encontraron vivas y con adecuadas reacciones a los estímulos de luz y contacto físico, esto permitió seguir con el experimento del vermicomposteo

4.2. Prueba P-50L

Los resultados positivos de la prueba de adaptación al sustrato P-50L indicaron que el sustrato estaba en condiciones favorables para el desarrollo de las lombrices, ya que ninguna presentó signos de malestar.

4.3. Cantidad de Lombrices y Huevos.

La cantidad de lombrices observada después de la inoculación de las 150 lombrices adultas por tratamiento representó un aumento de la población de 762 a 1333 %, similar a la reportada por Santamaría y Ferrera (2002) en vermicompostas de desechos orgánicos de mercado, en donde obtuvieron un 1244 % de incremento en la población de lombrices. Sin embargo las lombrices que se encontraban más delgadas y pequeñas al final del proceso que cuando

se inocularon, lo que se atribuye a una falta de condiciones óptimas para su crecimiento.

4.4. Resultados Químicos

A continuación se discutirán los resultados químicos que se midieron durante el vermicompostaje.

Carbono Orgánico Total (COT)

Los resultados del análisis de carbono orgánico total (COT) muestran que la cáscara de cacahuete es un material rico en este elemento ya que se obtuvo un valor de 548 g kg^{-1} después del precomposteo este valor es superior a 517 g kg^{-1} reportados por (Tiquia *et al.*, 2002) para materiales lignocelulósicos como desechos de podas de árboles. Como se muestra en la Tabla 3 la cantidad de COT disminuyó a través del proceso de vermicompostaje, esta disminución se debe a la pérdida de carbono en forma de CO_2 por medio de la respiración de los microorganismos y las lombrices presentes durante todo el proceso de vermicomposteo, ya que estos toman de la cáscara de cacahuete lo que necesitan para su metabolismo y como producto final expulsan el carbono en forma de CO_2 Santamaría *et al.*, (2001). Sin embargo no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos tanto para el Tiempo 2 como para el Tiempo 3 con una $p > .05$,

Relación Carbono : Nitrógeno

La relación Carbono:Nitrógeno que presentó la cáscara después del precomposteo fue de 18.1 esta relación se encuentra entre los valores de 16.0 a 33.4 reportados por (Magdoff 1996 y Santamaría, *et al.*, 2001) . para diferentes materiales a compostear, sin embargo esta relación no se comportó como las reportadas, ya que en todos los casos siempre disminuye la relación final con

respecto de la inicial, debido a la pérdida de carbono en el proceso de compostaje, en el caso de la cáscara de cacahuate existe un aumento de la relación final con respecto de la inicial, debido a que se perdió una tercera parte del nitrógeno durante los primeros 46 días de vermicomposteo esta pérdida fue debida a la mineralización del nitrógeno en forma de NH_4^+ como lo reporta Timothy 1994 en donde encontró que las excretas de lombriz frescas contienen altas cantidades de NH_4^+ y conforme pasa el tiempo se pierde NH_4^+ y aumenta los NO_3 , además los materiales altamente porosos como la cáscara de cacahuate presentan una pérdida por desnitrificación como lo explica Peterson y Stanley 1995.

Esta pérdida de nitrógeno se presenta en las primeras siete semanas debido a que los microorganismos se alimentan principalmente de los materiales mas fácilmente degradables, dejando para las próximas semanas los compuestos de mas difícil degradación como la celulosa que compone a la cáscara de cacahuate en un 60% (Coste 1970), teniendo al final una pérdida de N en todos los tratamientos.

También se observa que la adición de dos dosis diferentes de N en los tratamientos no tuvo efecto significativo en el vermicompostaje ya que estos fueron rápidamente consumidos por los microorganismos presentes en los primeros días los cuales corresponden a las etapas mas reactivas del vermicompostaje, como lo observan Parkin y Berry (1994) las fuentes de nitrógeno de rápida degradación se pierden hasta en un 87% en los primeros 12 días por el consumo de las lombrices junto con los microorganismos. Y por lo tanto no se logró ver el efecto de las dosis de nitrógeno para el día 46 que fue la primera toma de muestra.

pH en agua

Los análisis estadísticos no muestran diferencias entre los tratamientos en los diferentes tiempos, sin embargo existe un cambio en el pH inicial de 7.57

ligeramente básico, para el día 46 los tratamientos disminuyeron su pH entre 3.63 a 4.77 indicativo en una acidificación de la cáscara, debido al aumento en la concentración de los iones hidronios H_3O^+ provenientes de la degradación de la celulosa, los compuestos proteicos y los ácidos grasos de la cáscara de cacahuete produciéndose posiblemente ácidos orgánicos como lo reporta Francou et al., (2005); conforme el tiempo transcurrió el pH fue aumentando Figura (4A), tendiendo a la neutralidad indicando que las vermicompostas están madurando y estabilizándose (Cooperband et al., 2003)

Fósforo disponible

Aunque las pruebas estadísticas no mostraron alguna diferencia entre tratamientos, se observa una disminución de fósforo disponible en todos los tratamientos; esta disminución es debida posiblemente al consumo de este por la actividad biológica presente, como lo reportan Felton *et al.*, (2004). Autores como Fuentes (1989) reportan que a pH bajos el P-disponible reacciona con elementos como Fe y Al, los cuales producen fosfatos hidroxilados insolubles, dando como resultado la disminución observada. En comparación con otras compostas y vermicompostas el fósforo disponible se encuentra dentro de los niveles reportados de 207 y 2407 $mg\ kg^{-1}$ para vermicompostas, y para composta de 127 $mg\ kg^{-1}$ Tognetti *et al.*, (2005).

Calcio magnesio, sodio y potasio disponibles

En calcio disponible no se encontraron diferencias estadísticas para el tiempo 2, en cuanto al tiempo 3 si hubo diferencias estadísticas en N2P1, N0P2 entre N1P2, estas diferencias se dieron entre los valores más bajos contra el más alto, en este caso es N1P2 (Tabla 9), esto se atribuyó a que este tratamiento tenía mayor contenido de Ca disponible y a que para ese tiempo las lombrices y los microorganismos probablemente habían degradado mejor las formas disponibles para este elemento. Pero se puede observar en la Figura 5, que el comportamiento del calcio en los tratamientos fue aumentar su contenido por

acción del vermicompostaje. La descomposición de sustratos orgánicos va acompañada de la mineralización, muchos de los elementos químicos se encontraban contenidos en formas de tejidos o compuestos orgánicos, que al liberarse pueden quedar en forma de sales minerales como es el caso de Ca^{++} . Capistran *et al.*, (1999).

El contenido de Mg intercambiable no mostró diferencias estadísticas en los tratamientos para en tiempo T2, sin embargo para el tiempo T3 hubo diferencia entre COMP y(N2P2 ,N0P2) estos dos últimos tuvieron menor contenido de Mg intercambiable y el COMP el tratamiento con mayor contenido, la estadística solo comparo el valor más alto contra los mas bajos. No obstante el magnesio tuvo un aumento en los tratamientos durante el vermicompostaje (Figura 5 C), lo que concuerda lo reportado por Orozco *et al.*, (1996), quienes al vermicompostear pulpa de café obtuvieron un aumento en los contenidos de Mg y Ca asimilables, relacionándolo al vermicompostaje, debido a que estas formas asimilables van aumentando durante el proceso.

En cuanto al sodio disponible la prueba estadística no mostró diferencias para el tiempo 2, pero si para tiempo 3 entre N2P2 y N0P2, también entre N1P1 y N0P2, también compara los dos valores mas altos contra el más bajo (Tabla 9), pero el comportamiento de este elemento durante el vermicompostaje es contrario a las otras dos bases, ya que este disminuyó conforme transcurrió el tiempo. Atribuyéndolo a que la cáscara de cacahuate tiene un tamaño promedio mayor a los 4 mm ocasionando una alta porosidad y mayor filtración por lo tanto una perdida. Este comportamiento lo presentó el potasio disponible, el cual también presentó diferencias estadísticas solo para el tiempo 3 entre N1P0 que es el valor más alto y N0P2, N0P0 que son los valores mas bajos (Tabla 7), Orozco *et al.*, (1996) encuentra el mismo comportamiento del potasio y lo relaciona a una alta filtración y pérdida de potasio comparándola con otros cationes.

4.5. Actividad Enzimática

En cuanto a la actividad enzimática de la ureasa en el tiempo 2 no se encontraron diferencias estadísticas con un $p > .05$, pero en cuanto al tiempo 3 si se encontraron diferencias estadísticas, las cuales se muestran en la Tabla 10.

Las diferencias encontradas en la tabla 10 no tienen una relación directa con la dosis aplicadas de nitrógeno ya que tanto las dosis N2, N1 como las N0 presentaron valores altos y bajos en su actividad (Tabla 10), se esperaba que los tratamientos con dosis alta(N2) fueran los de mayor actividad pero no ocurrió, debido a que el comportamiento durante los 92 días del vermicompostaje fue fluctuante, la mayor o menor actividad no dependieron de las cantidades de fertilizante agregadas.

Quintero *et al* (2003) reportan valores de $400 \mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ MS } 2\text{h}^{-1}$ para la actividad enzimática de la ureasa en paja de avena a los 92 días de vermicomposteo, estos valores son mas altos que los obtenidos con cáscara de cacahuate. El comportamiento de la actividad ureásica que reporta Quintero, *et al.*, (2003) durante el vermicompostaje, no corresponde al descrito por la cáscara de cacahuate, debido a que esta presenta un aumento del 437 % de T3 respecto de T2, en cambio la paja molida presenta una ligera disminución al final del vermicompostaje.

La actividad de la ureasa no fue un buen indicador de la eficiencia de la vermicomposta de cáscara de cacahuate ya que los tratamientos con mayor actividad no presentaron un aumento en la producción del pasto *Lolium perenne*.

La actividad de la fosfomonoesterasa ácida no presentó diferencias estadísticas con una $p > .05$, sin embargo el comportamiento de mantenerse

estable durante el vermicompostaje , corresponde a los reportados por (Quintero *et al.* , 2003 y Tiquia, *et al.*, 2002) , quienes la midieron en vermicompostas de distinto origen. Los valores que presentaron las vermicompostas de cáscara de cacahuete en relación con los reportados para paja de avena (Quintero, *et al.*, 2003) son mas altos, sin embargo la actividad no presentó una relación con la eficiencia de la vermicomposta, debido a que los tratamientos con los valores mas altos no presentaron mayor producción de biomasa.

4.6 Eficiencia de la Vermicomposta

La producción de materia seca de los pastos para el primer corte en función de las diferentes dosis de las vermicompostas, produjeron diferencias estadísticas con una $P = .01$, las cuales se describen a continuación

Se encontraron diferencias entre el tratamiento al que no se le aplicó vermicomposta (S.V.) y todos los tratamientos exceptuando N2P2 y N0P0, los cuales son los dos tratamientos con menor cantidad de materia seca, esto nos demuestra que la adición de vermicomposta incrementa la producción de materia seca del pasto *Lolium perenne* L.

Se encontraron diferencias entre el tratamiento (COMP) y todos los demás tratamientos exceptuando el tratamiento N1P2 el cual es el segundo tratamiento con mayor cantidad de materia seca. Lo que nos indica que el COMP es una composta mas reactiva que las demás, ya que todavía se encuentra en una fase menos estable en donde existe la mayor liberación de compuestos volátiles como el NH_4 que las compostas a las que se les inoculó con lombrices (vermicompostas) Almendros 2002; y por lo consiguiente las vermicompostas

aunque tuvieron una menor producción que el COMP son mas estables, menos reactivas y mas maduras.

En el segundo corte las diferencias estadísticas entre tratamientos mantienen un comportamiento similar; en donde el tratamiento COMP tiene diferencias con todos los demás tratamientos excepto con el tratamiento N2P0, el cual es el segundo valor mas alto de producción de vermicomposta y que también tiene diferencias estadísticas con todos los tratamientos.

El testigo SV que no se le aplicó enmienda es estadísticamente diferente a los demás tratamientos comprobando que la adición de enmiendas orgánicas al suelo mejora la producción del pasto *Lolium perenne* L.

Los valores obtenidos de la producción de materia seca del pasto *Lolium perenne* L. son similares a los reportados por (Velasco 2001 y Zaragoza 2000) ya que se encuentran entre (2666-3700) kg Ha⁻¹.

CAPÍTULO V

CONCLUSIÓN

5.1 Conclusiones

No existe efecto significativo de las dosis agregadas de nitrógeno y fósforo, en la madurez de las compostas por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada.

La actividad enzimática de la ureasa y fosfatasa no fue indicativa de la madurez de la vermicomposta de cáscara de cacahuete.

La aplicación de enmiendas de composta y vermicomposta de cáscara de cacahuete al suelo aumenta la producción de materia seca del pasto *Lolium perenne* L.

El desarrollo del pasto *Lolium perenne* L. fue menor al aplicar la vermicomposta que la composta de cáscara de cacahuete.

La cáscara de cacahuete fue un buen medio para la reproducción de la lombriz *Eisenia andrei* Bouché sin embargo no lo es para su crecimiento.

5.2 Recomendaciones:

La adición de nitrógeno y fósforo no solo debe realizarse al inicio si no también a través de todo el proceso para poder ver su efecto.

Al evaluar una vermicomposta es mejor realizar muestreos cada semana para determinar mejor el comportamiento de las distintas variables, ya que estas varían en periodos cortos de tiempo

ANEXO 1

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL.

En la descripción en campo del perfil se encuentra descrito en la tabla 15. El terreno es muy pedregoso y relieve cóncavo, con epipedon eutrico y poca materia orgánica. Los resultados físico-químicos del perfil se encuentran representados en las tablas 16 y 17.

Tabla 15 Descripción de campo del perfil.

Horizontes	Descripción
Ap	La profundidad es de 0-20 cm, la transición a la siguiente capa es media y horizontal, con condición seca, pH 7, no reacciona al NaS y HCl, Si reacciona con H ₂ O ₂ por lo que hay presencia de materia orgánica. La textura arena migajosa, la consistencia en seco es suelta y en húmedo firme; en muy húmedo es ligeramente adhesivo y no plástico. Color en seco es 7.5 YR 4/4. Se encontraron abundantes raíces y finas. Muy pedregoso
B	La profundidad es de 20 a 55cm, la transición a la siguiente capa es media y horizontal, condición seca, con pH 7, no reacciona con NaS, HCl. Si reacciona con H ₂ O ₂ por lo que hay presencia de materia orgánica. La textura es arcillo arenoso, la consistencia en seco es dura y en húmedo es firme, en muy

	húmedo es ligeramente adhesivo y ligeramente plástico. Color en seco es 7.5 YR 4/4. Se encontraron raíces comunes y finas, pedregoso
C	La profundidad es de 55 a 103 cm, la transición a la siguiente capa es media y horizontal, condición ligeramente húmedo, con pH 6, no reacciona con a lo fano, HCl. Si reacciona con H ₂ O ₂ por lo que hay presencia de materia orgánica. La textura es arenoso, la consistencia en seco y en húmedo es suelta; en muy húmedo no es adhesivo ni plástico. Color en seco es 5YR 4/4. Se encontraron pocas raíces y finas, extremadamente pedregoso
Ab	La profundidad es de 103 a 140 cm, la transición a la siguiente capa es media y horizontal, condición ligeramente húmedo, con pH 7, no reacciona con a lo fano, HCl. Si reacciona con H ₂ O ₂ por lo que hay presencia de materia orgánica. La textura es arcillo arenoso, la consistencia es en seco suelto y en húmedo es firme; en muy húmedo es adhesivo y plástico. Color en seco es 2.5 YR 2.5/2. Se encontraron muy pocas raíces delgadas. Pedregoso

Tabla 16. Resultados físicos y químicos del perfil

Horizonte	Color en seco	Textura	Arena %	Limos %	Arcillas %	Poros %	D.A. gr/cm ³	D.R. gr/cm ³	pH 1:2.5 H ₂ O	%M. O.	% C	C.E. dS.m ⁻³
AP 0-20 cm	7.5 YR 4/4	Arena migajosa	85.5	11.0	3.6	52	1.5	2.9	7	1.15	0.88	0.24
B 20-55 cm	7.5 YR 4/4	Migajón arcillo	63.6	18.2	18.2	51	1.3	2.5	7	0.81	0.47	0.31

		arenoso										
C55-103	5 YR	Arena	89.1	3.7	7.3	63	1.5	2.3	6	0.27	0.16	0.02
cm	4/4	migajosa										
Ab	5 YR	Migajon	74.6	16.4	9.0	49	1.3	2.6	7.6	0.38	0.20	0.11
103-140	3/4	arenoso										
cm												

Tabla 17 Resultados químicos de perfil

Horizonte	Ca ⁺⁺ cmol/100g	Mg ⁺⁺ cmol/100g	Na ⁺ cmol/100g	K ⁺ cmol/100g	C.I.C. cmol/100g	% SB
Ap	5.5	4.0	0.54	0.38	10.34	100.77
B	8.5	5.0	.5.0	0.26	18.48	101.46
C	6.5	4.0	.5.0	.23	15.9	98.93
Ab	7.0	3.0	.54	.26	15.30	70.58

El suelo fue determinado como un **Cambisol eutrico esquelético** según la clasificación del Word Reference Base (WRB 1999)



1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



11



12



13



14



15



16



17



18



19



20



21



22



23



24



25



26



27

1-cáscara de cacahuete. **2**-Trituración de la cáscara de cacahuete. **3**-comparación de la cáscara con y sin triturar. **4**- sensores y tubo de aireación. **5 y 6**- pre-composteo de la cáscara termofila. **7**- lombrices *Eisenia Andrei* Bouche. **8**- pilas de vermicomposta en el Centro de Postgraduados Campus Montecillos. **9**- distribución espacial para vermicomposteo. **11**- cajas de unicel con la cáscara de cacahuete pre-composteada. **12**- inoculación de lombrices a la cáscara pre-composteada. **13**- 50 semillas de *Lolium perenne* en una maceta con 1 kg de suelo (diseño experimental invernadero) **15**- maceta con suelo de vermicomposta. **16 y 17**- siembra del pasto. **18**- aclareo a 11 plántulas. **19**- primer corte. **22, 23, 24**- segundo corte. **25, 26, 27**- tercer corte.

Bibliografía

- Almendros, G. 2000. Procesos de transformación de la Materia Orgánica en ecosistemas agrícolas e inalterados. En: Quintero.R., Trujillo, T., Corlay, L., Huerta, A., García N. Investigación y educación hacia la sostenibilidad edáfica para el tercer milenio. Ed. C.P., UNAM, UACH, México. pp.330-342.
- Bellaport, V, C. 1998. Agricultura biológica en equilibrio, con la agricultura química, fertilización natural. Aedos Barcelona
- Bollo, T, E. 1999. Lombricultura, una alternativa para el reciclaje. Quito Ecuador
- Bouché, M. 1984. Los gusanos de tierra. Mundo Científico. Vol. 40.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Agrotécnicas F. L. España
- Capistrán, F; Aranda, E; Romero, J. C. 1999. Manual de reciclaje, compostaje y Lombricompostaje. Comité Editorial del Instituto de Ecología, Xalapa Veracruz.
- Carta Topográfica E14 B83, 1987. Acatlán de Osorio, escala 1: 50000, INEGI, México.
- Cepeda, D. 1991. Química de Suelos. Trillas.
- Coste, R. 1970. El cacahuate o maní. Editorial Blume, España.
- Compagnoni, L; Putzolu, G. 1995. Cría moderna de las lombrices y su utilización rentable del humus. De vecchi, España.
- Conover, W. J. 1999. Practical nonparametrics statistic. John Wiley & Sons INC. E.U.A.
- Cooperband, L. R. Stone, A. G. Fryda, Ravet J. 2003. Relating compost measures of stability and maturity to plant. Growth. Compost Science and Utilization, 11., (2): 113-124.
- Dickinson, G. J. 2003. Nonparametrics statistical Inference. Marcel Dekker. New York
- Dougherty , M. 2002. Field guide to on-farm composting. NRAES-114 EUA

- Eggen y T Vethe, O. 2001. Stability Indices for Different Compost. Compost Science & Utilization. Vol 9. no 1. 19-26
- Ferruzi, Carlo.1994. Manual de lombricultura. Ediciones Mundi-Prensa. España
- Frederickson, J; Butt, R.K; Morris, M. R. 1997. Combining vermiculture with traditional green wastes composting system. Soil Biology and Biochemistry. Vol. 29, No. 3/4, pp 725-730
- García, C .N. E. 2000. Lombricultura alternativa en la agricultura sustentable. En: Martínez C. y Ramírez L. Lombricultura Técnica Mexicana Mexico.
- Gros, A. 1976. Abonos, guía práctica para su fertilización. Mundi- Prensa España
- Guerrero, A. 1992. Cultivos herbáceos extensivos. 5^a edición. Editorial Mundi-Prensa Madrid
- INIP-CIPES. 1980. Recomendaciones y conclusiones sobre zacate Ballico italiano. Departamento de forrajes. Centro de Investigaciones Pecuarias del estado de Sonora-CIPES. Ciclo de conferencias realizadas en noviembre de 1978 en CIPES y en la ciudad Hermosillo Sonora. Boletín no. 13
- Kassen, A. y Nannipieri, P. 1995. Methods in applied soil, microbiology and biochemistry. Academic Press Ltd. U.K.
- Kononova, M. M. 1982. Materia Orgánica del Suelo. Oikos Taus España.
- Labrador, M. J. 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Mundi Prensa España
- Los Municipios de Puebla. 1988. Enciclopedia de los municipios de México. Centro estatal de estudios municipales de Puebla. Secretaria de Gobernación y Gobierno del estado de Puebla.
- Magdoff, M. A., Tabatabai. Hanlon E. A. 1996. Soil organic matter: Análisis and Interpretation. Soil Science Society of America. USA
- Martínez, C, C. 1996. Potencial de la lombricultura. Lombricultura Técnica Mexicana

- Martínez, C. 2000. Lombricultura, alternativa en la agricultura sustentable. En: Martínez C. y Ramírez L. Lombricultura Técnica Mexicana. México pp 135-153
- Mazzani, B. 1963. Plantas Oleaginosas. Salvat Editores Barcelona
- Navarro, P. Moral, H. Gómez, L. Mataix, B. 1995. Residuos orgánicos y agricultura. Universidad de Alicante. España.
- Munsell. 1990 soil color charts. Macbeth Division of Kollmorgen Corporation
- Mustera, P, E, & Ratera, G, C. 1991. Praderas y forrajes, producción y aprovechamiento. 2ª edición, Editorial Mundi-Prensa Madrid.
- Orozco, F, H. Cegarra, J. Trujillo, L, M. Roing, A. 1996. Vermicomposting of coffee pulp using *Eisenia faetida*: Effects on C and N contents and availability of nutrients. Biol Fertil Soils. 22: 162-166.
- Parkin, B. T. Berry, C. E. 1994. Nitrogen transformations associated with earthworm casts. Soil Biol. Biochem. Vol. 25, (9). 1233-1238.
- Pérez, B. M. T. 2001. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del Ballico perenne a diferentes alturas de corte. Tesis de maestría. Montecillos Texcoco Edo. de México
- Peterson, B. Stanley, A. Barber, J. 1995. Soil nutrient bioavailability. John Wiley Sons. USA
- Porta C. J., López A. M, Roquero C. 1999. Edafología para agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa España.
- Quintero, L, R; Ferrera-Cerrato, R; Etchevers, B, García; C; Rodriguez, K; Alcantar, G; Aguilar, S. 2003. Enzimas que Participan en el Proceso de Vermicompostaje. Terra 21: 73-80
- Reyes, O, A. 2002. Calidad del Suelo. Indicadores Microbiológicos, Propiedades Bioquímicas y Actividad Enzimática. Curso Diplomado Internacional de Edafología “ Nicolás Aguilera”. Facultad de Ciencias UNAM
- Romero, L, R. 2000. Agricultura orgánica. Elaboración y aplicación de abonos orgánicos. En: Lombricultura y Agricultura Sustentable.

(compiladores: Martínez, Ramírez). Lombricultura, Técnica Mexicana. pp. 125-134

- SAGARPA- SIAP. 2001. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos por Estado.
- Sánchez P. 1999. Cultivos Oleaginosos, manuales para educación agropecuaria. Editorial SEP-Trillas, 4ª Edición
- Santamaría, R. S. Ferrera- Cerrato, R. Almaraz, S J. J. Galvis, S. A. Barois, B. I. 2001. Dinámica y relación de microorganismos, C- orgánico, N-total durante el composteo y vermicomposteo. Vol. 35 (4):. 337-384
- Santamaría, R, S; Ferrera-Cerrato, R. 2002. Dinámica poblacional de *Eisenia andrei* (Bouche 1972) en diferentes residuos orgánicos. Terra vol. 20, número 3.
- Stepherson W.K. 1995. Introducción a la Bioquímica. Limusa S.A de C.V. México. pp 270.
- Tabatabai, A. 1994. Methods of Soils Analysis. SSSA. Soil Science of America, Madison, Wis
- Tate III, R,L. 1992. Soil Organic Matter, Biological and Ecological Effects. Krieger Publish Company Malabar Florida. pp 291.
- Thompson, J.R. 1979 Introducción a la tecnología de semillas. Edit. Acribia. México.
- Tiquia, M. S. Wan, H. C. J. Tam, F. Y. N. 2002. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. Compost Science and Utilization. Vol. 10 (2):150-161
- Tognetti, C. Laos, F. Azzarino, M. Hernandez, M. 2005. Composting vs. Vermicomposting, a comparison of end product quality. Compost science & Utilization. 13(1) 6-13
- Van Reevmijk. 2002. Procedures for soil analysis. ISRIC- FAO. The Netherlands
- Velasco, M. 2001. Dinámica del crecimiento, rendimiento, y calidad de praderas de *Lolium perenne* L. y *Dactylis glomerata* L. en respuesta a la defoliación. Tesis doctoral. Montecillos Texcoco Edo. de México

- Wayne, W. D. 2004. Bioestadística. Limusa Wiley México. pp 755.
- WRB 1999, Base Referencial Mundial del Recurso del Suelo. FAO, ISRIC, SICS. 99 pp.
- Zaragoza, E. J. Anastasio. 2000. Crecimiento y acumulación de forraje de los pastos Ballico y Ovillo a diferentes frecuencias de corte. Tesis de Maestría. Montecillos, Texcoco, estado de México.