



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

“VERMICOMPOSTA PRODUCIDA POR LA  
LOMBRIZ Eisenia andrei Bouché UTILIZANDO  
COMO SUSTRATO DESECHOS DEL  
DESPULPADO DE Coffea arabica L.”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G A

P R E S E N T A:

MARIA YAZMIN RIVERA URIA



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  
AVENIDA 14  
MEXICO

**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 Eisenia andrei Bouché  
utilizando como sustrato desechos del despulpado de Coffea arabica L."  
realizado por Maria Yazmin Rivera Uria

con número de cuenta 09436893-8 , 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 M. en C. María del Socorro Galicia Palacios.

Suplente M. en C. Iván Emmanuel Reyes Solis.

Suplente Biól. Elizabeth Fuentes Romero.

Consejo Departamental de Biología

M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA  
DE BIOLOGIA

Dedicada a:

A mi mamá Julia, papá Ricardo y hermano Ivan por el apoyo, consejos y dedicación.

A mis Abuelitas Amparo y Naty, tíos Bety, Beto y Paty, a mis primos Omar, Montse, Alan, Viviana, a mi cuñada Magaly. Y al pequeño ángel de la familia Itzel.

A Jaime, por estar conmigo en las buenas y en las malas y no dejarme sola.

CON MUCHO AMOR

## 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.

Con respeto y admiración a la Dra. Norma E. García Calderón por su dirección en el presente trabajo, por su paciencia y amistad.

Quiero dar mi profundo agradecimiento al jurado por haberme guiado en éste desarrollo de tesis hasta su culminación:

Dra. A. Laura Reyes Ortigoza

M. en C. Iván Reyes Solís

M. en C. Maria del Socorro Galicia Palacios

Biól. Elizabeth Fuentes Romero

Gracias

Al Dr. Ferrera-Cerrato por la proporción de las lombrices, del Colegio de posgraduados Montecillos.

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

Con mucho respeto a Dr. David Flores, Dr. Roberto Quintero y al Dr. Gonzalo Almendros por su calidez con la me aconsejaron.

Al Dr. Pavel Krasilnikov y a los tesisistas del Laboratorio de Edafología con los que compartí y aprendí.

Al dueño de la finca Sinaí Diego Woddrich por proporcionarme la pulpa de café.

A mis amigos de licenciatura: Gabys, Gabilonda, Violeta, Karla, Fernando, Laurita, Tania, Ana Laura y Jaime que creamos una amistad que perdurara.

Familia Díaz Ortega gracias por los consejos y apoyo que me han brindado en todos los sentidos y en especial gracias a la Sra. Eloy y Sra. Celia Ortega, con cariño y respeto.

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	I
<b>CAPITULO I Introducción</b> .....	1
1.1. Presentación .....	1
1.2. Marco Teórico.....	2
1.2.1. Materia Orgánica.....	2
1.2.2. Vermicompostaje.....	3
1.2.3. Indicadores de madurez de las compostas.....	5
1.2.4. Lombriz composteadora.....	8
1.2.5. El Café .....	10
1.2.6. Pasto <i>Lolium perenne</i> .....	11
1.3. Planteamiento del problema.....	14
1.4. Objetivos e hipótesis.....	14
<b>CAPITULO II Material y Método</b> .....	15
2.1. Precomposteo.....	16
2.2. Vermicomposteo.....	17
2.2.1. Análisis de laboratorio.....	19
2.2.2. Análisis de la vermicomposta en húmedo.....	20
2.2.3. Análisis enzimático.....	20
2.2.4. Análisis de la vermicomposta seca a 60° C.....	20
2.3. Eficiencia de la vermicomposta de la pulpa de café en el desarrollo del pasto <i>Lolium perenne</i> L.....	21
2.4. Caracterización de las muestras de suelo.....	22
2.5. Análisis estadístico.....	23
<b>CAPITULO III Resultados</b> .....	24
3.1. Pre-composteo.....	24
3.2. Prueba P-50L.....	25
3.3. Vermicomposteo.....	25
3.3.1. Cantidad de lombrices y huevos.....	25
3.3.2. Resultados químicos.....	27
3.3.3 Resultados enzimáticos.....	36

3.4. Desarrollo del pasto <i>Lolium perenne</i> L. a nivel de invernadero.	39
<b>CAPITULO IV Discusiones</b> .....	42
4.1. Pre-composteo.....	42
4.2. Número de lombrices y huevos.....	43
4.3. Parámetros físicos y químicos.....	43
4.3.1. Humedad.....	44
4.3.2. pH.....	44
4.3.3. Carbono orgánico total.....	45
4.3.4. Nitrógeno disponible.....	45
4.3.5. Fósforo disponible.....	46
4.3.6. Calcio, magnesio y sodio disponibles.....	47
4.4. Parámetros enzimáticos.....	48
4.5. Desarrollo del pasto <i>Lolium perenne</i> L.....	50
<b>CAPITULO V Conclusión</b> .....	52
<b>ANEXO 1</b>	54
<b>ANEXO 2</b> .....	57
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	61



## RESUMEN

Se vermicomposteó pulpa de café (*Coffea arabica* 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 bioensayo utilizando el pasto *Lolium perenne* L. a nivel de invernadero. Los resultados químicos mostraron que el pH aumentó con valores por arriba de 8 durante el proceso, COT disminuyó durante el vermicompostaje. La tendencia encontrada en N-total fue un aumento relativo durante el vermicompostaje aunque se observa que al final la mayoría de los tratamientos disminuyeron o se mantuvieron. Para el fósforo disponible no se encontraron diferencias relacionadas con las dosis de fertilizante aplicadas, pero se observa que durante el vermicompostaje el contenido de fósforo disponible disminuye posiblemente por la elevación del pH y el aumento del  $\text{Ca}^{++}$ . En cuanto a Mg, Na y Ca disponibles todos los tratamientos aumentaron excepto la composta. La actividad enzimática de la fosfatasa y ureasa no fueron indicativas de madurez. En la evaluación de la eficiencia en el pasto, la enmienda de composta tuvo mayor producción posiblemente a consecuencia de la reactividad con el suelo, ocasionando una mayor liberación de nutrientes, con respecto a las vermicompostas donde la liberación de los nutrientes para su asimilación por los pastos fue menor.

# CAPITULO 1

## Introducción

### 1.1. Presentación

Se puede definir como residuo a los materiales derivados de actividades de producción y consumo que no han alcanzado ningún valor económico (Navarro, 1995).

Actualmente el manejo, aprovechamiento y destino de varios subproductos orgánicos, originados en el medio agrícola, agroindustrial, urbano y pecuario, se ha convertido en un problema por la generación de basura y fuentes contaminantes del ambiente. Por esto es necesario implementar técnicas que permitan manejar los desechos para su mejor uso y aprovechamiento. Una alternativa de revaloración de estos subproductos es su transformación en abonos mediante procesos de compostaje.

El presente trabajo se encuentra en la línea de estudios de caracterización química y enzimática de la vermicomposta producida por la lombriz de tierra *Eisenia andrei* (Bouché) a partir del residuo de pulpa de café. Así como la evaluación de su eficiencia como abono en la producción del pasto *Lolium perenne L.*

## **1.2. Marco Teórico**

En los siguientes apartados se llevará a cabo una revisión teórica de la importancia de la materia orgánica en el suelo, biotecnología del vermicompostaje, indicadores de maduración de la composta, descripción de la especie de lombriz utilizada en el vermicomposteo, la cereza del café su procesamiento y la fuente de residuos orgánicos que se generan.

### **1.2.1. Materia Orgánica**

La materia orgánica del suelo (MOS) es un sistema complejo de sustancias heterogéneas, con un dinamismo determinado por la incorporación de residuos orgánicos originados en el suelo y su transformación continua por acción de distintos grupos de microorganismos y ciertos representantes de la fauna, además de la acción de factores químicos, físicos y la transformación directa de las precipitaciones atmosféricas, los cambios de temperatura, desintegración mecánica. La MOS se encuentra en mayor cantidad en los horizontes superficiales (Kononova, 1982; Cepeda, 1991).

“El humus es un producto de la descomposición de restos orgánicos y síntesis microbiana”. La descomposición y biodegradación de la materia orgánica por los microorganismos 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 dando lugar a nuevos complejos órgano minerales más difíciles de biodegradar, provocando la estabilidad de las sustancias húmicas y su lenta mineralización (Porta *et al.*, 1999).

La materia orgánica tiene un papel muy importante sobre el suelo, regula los procesos químicos como: i) La liberación y el intercambio de nutrientes asimilables por las plantas, como resultado del proceso de mineralización ii) Actúa como amortiguador en los cambios de pH. iii). forma compuestos materia orgánica-metal favoreciendo la disponibilidad de algunos micronutrientes que son importantes para las plantas tales como Fe, Mn, Cu. 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 siendo el nutriente y energía de los microorganismos, ii) puede estimular el crecimiento de plantas por la presencia de sustancias que afectan los mecanismos fisiológicos de las plantas, iii) es importante en los fenómenos de adsorción y neutralización de plaguicidas e insecticidas (Bellaport, 1998; Navarro *et al.*, 1995). Suelos con contenidos adecuados de materia orgánica como enmienda ayuda a mejorar las propiedades físicas del suelo como una mejor permeabilidad, fáciles de trabajar, menor susceptibilidad a la sequía, etc. (García, 2000)

### **1.2.2. Vermicompostaje**

La palabra composta proviene del latín “componere” que significa mezclar, por lo que la composta es la biomasa digerida producto de la transformación por actividad biológica de los residuos orgánicos; el diccionario de la Real Academia Española define la palabra “*compost*” como humus obtenido artificialmente por la descomposición bioquímica en caliente de residuos orgánicos, la palabra “*verme*” lombriz.

El compostaje lo realizan microorganismos tales como hongos y bacterias los cuales fermentan aeróbicamente los materiales, dando como resultado

cambios bioquímicos y físicos en el material original (Romero, 2000), estos cambios alcanzan una estabilidad caracterizada por diferentes parámetros tanto físicos, químicos y biológicos. Los cambios físicos que ocurren en el compostaje son la reducción del tamaño del residuo, apariencia, color y consistencia del material inicial, en donde, los restos de materiales vegetales y animales se van transformando a formas semilíquidas y pastosas teniendo como resultado materia oscura, porosa, ligera y sin olor. En cuanto a los cambios bioquímicos son un conjunto de procesos complejos donde las sustancias y compuestos que forman los restos de vegetales y animales como proteínas, lípidos, carbohidratos etc, los cuales se transforman a compuestos más simples como cationes, sales minerales, sin embargo otras se transforman en sustancias pre-húmicas (Capistran *et al.*, 1999).

Existen varias técnicas de compostaje en la mayoría de ellas, dependiendo del tamaño y del origen del material se tritura para aumentar el área de contacto con los microorganismos; después el material se coloca en pilas, camas o contenedores, y se les implementa aireación que puede ser por sistema de aire forzado, o aireación por volteos. También en algunas técnicas se inoculan cepas de hongos, bacterias, lombrices o microorganismos del suelo, que aceleran la transformación de los desechos (Dougherty, 2002).

“El composteo de desechos orgánicos mediante la acción de las lombrices es llamado vermicompostaje, dando como un producto final materia orgánica compuesta, en su mayoría, por las excretas de la lombriz” (Martínez, 1996). Esta biotecnología es muy utilizada debido a que acelera la descomposición y madurez del sustrato alcanzando la estabilidad del producto en menor tiempo, que en una composta tradicional, como lo demostró Frederickson *et al.*, (1997). Este grupo de trabajo evaluó la estabilidad de los desechos de pastos por medio de la reducción de sólidos volátiles en el composteo y vermicomposteo. La reducción de los sólidos volátiles en el vermicomposteo se produjo a las 6 semanas y en el composteo a las 8

semanas. Como producto secundario puede obtenerse carne de lombriz, utilizada como suplemento proteínico en las industrias agropecuarias porcina, avícola y piscícola.

La vermicomposta o humus de lombriz es considerada por un lado fertilizante biológico por la composición de su materia orgánica y la población microbiana que la constituye, pero también se puede considerar como un mejorador del suelo ya que equilibra los procesos biológicos del humus. Entre los componentes más importantes que determinan su acción como fertilizante son: i) La microflora, que constituye el paso obligatorio para la transformación de todos los nutrientes que utiliza la planta, activa los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno, fósforo y azufre, por lo tanto si el suelo no tiene flora bacteriana suficiente, el sistema radicular de las plantas no podrá extraer los nutrientes que necesita , ii) La vermicomposta es rica en fitohormonas como las citoquininas, que actúan sobre las células vegetales estructurales transformándolas a células reproductivas dando origen a raíces, giberelinas y auxinas que actúan sobre el desarrollo de los sistemas vascular y foliar (Compagnoni y Putzolu, 1995).

### **1.2.3. Indicadores de madurez de las compostas**

En los últimos tiempos se ha investigado que características constituyen la madurez de la composta. Sin embargo todavía no existe un método aplicable para cuantificar la madurez en todos los tipos de compostas. Y en algunos casos también los ensayos con plantas no resultan un buen indicador, ya que para poder conocer un buen resultado se necesita de mucho tiempo. La madurez o estabilidad de la composta depende de su origen y se puede evaluar mediante diferentes indicadores (Rynk, 2003).

Eggen y Vethe (2001) encontraron una correlación entre la respiración microbiana y el contenido de carbono orgánico total con la estabilidad de

compostas de diferente origen, donde se demostró 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.

Orozco *et al.*, (1996), vermicompostearon pulpa de café utilizando la lombriz *Eisenia fetida* durante 98 días en cuatro tratamientos, evaluando los contenidos de N, C y P. Durante el vermicompostaje se encontró que el contenido de C total disminuyó durante el proceso, con pruebas de pérdida por ignición demostraron la pérdida de materia orgánica y el incremento en la mineralización. El contenido de N total al inicio del proceso tuvo un incremento pero disminuyó el contenido, debido al incremento de la población de lombrices, cuya demanda de este elemento para su crecimiento. En los demás parámetros medidos, también se encontró que en uno de los tratamientos el pH fue elevado ocasionando un bajo contenido de fósforo disponible, ya que altos valores de pH inmoviliza al fósforo, pero en los demás tratamientos hubo un aumento con respecto a su contenido inicial ya que su pH final fue cercano a la neutralidad.

Felton *et al.*, (2004) evaluaron las dinámicas del nitrógeno y del fósforo en dos sustratos diferentes, durante 63 días. Encontraron que el comportamiento del fósforo total aumentó significativamente durante el proceso, en cuanto al nitrógeno total, disminuyó durante el compostaje. Esta dinámica coincide con Orozco *et al.*, (1996).

También Fontavine *et al.*, (2002) encontraron relaciones similares al compostear dos diferentes residuos orgánicos en donde los contenidos de materia orgánica y carbono orgánico total (COT) disminuyeron y el contenido de nitrógeno total aumento obteniendo una relación C N < a 20, siendo un buen indicador de madurez.

Aparte de los parámetros físicos y químicos que se miden como índices de madurez en las compostas la actividad enzimática, que se han investigado, en los últimos años, como indicadores de calidad. Esto se encuentra relacionado a que son susceptibles a perturbación o contaminación por varias fuentes. También han sido estudiadas por su relación con la fertilidad del suelo y la producción (Dick 1994 en Reyes, 2002).

Se ha reportado que vermicomposteando y composteando paja de avena molida la actividad enzimática aumenta en un inicio, pero conforme van avanzando estos procesos la actividad tiende a disminuir encontrando una relación entre la actividad y la maduración. Llegando a la conclusión, que 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 durante 91 días en sistemas de aire forzado desechos de poda de pasto y de gallinero; analizaron 19 enzimas entre ellas la fosfatasa ácida y alcalina, además de diferentes grupos de microorganismos. La actividad de la  $\beta$ -galactosidasa fue la que mas correlación estadística tuvo con las poblaciones microbianas, además se encontró que la fosfatasa ácida y alcalina tuvo una mayor actividad que las demás enzimas, desde el inicio del compostaje, y su máxima actividad se presento en el día 14, aunque bajo durante los 91 días de evaluación. Esto se relaciona con la calidad y cantidad de materia orgánica que estimuló el crecimiento de bacterias aeróbicas y la subsiguiente síntesis de la fosfatasa y peptidasa. La fosfatasa al ser una enzima extracelular generalmente incrementa conforme el compostaje avanza, indicando que los microorganismos son capaces de sintetizar rápidamente enzimas requeridas para la degradación de sustancias poliméricas como la lignina, celulosa y hemicelulosa.



Tognetti *et al.*, (2005) comenta que las enzimas de la fosfatasa y ureasa son exoenzimas, y están activas aun cuando las bacterias han muerto, por lo que su actividad no esta relacionada con la población de los microorganismos

#### 1.2.4. Lombriz composteadora

El empleo de las lombrices en el proceso de compostaje de residuos orgánicos inició a principios de los cincuentas en E.U.A. y, posteriormente, se desplazó a Asia, 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, rápido desarrollo, alta voracidad, ii) ser tolerantes a situaciones de estrés y manipulación, iii) 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 foetida*, *Perionix excavatus*, *Eisenia andrei*, etc. (Martínez 1996; Martínez, 2000; Ferruzi, 1994).

Una especie de gran importancia en el vermicompostaje es *Eisenia andrei* Bouché clasificada como epigea y saprófaga, debido a que se alimenta de materia orgánica en descomposición que se encuentra en la superficie del suelo. Dada su habilidad para poder descomponer grandes cantidades de desechos orgánicos por lo que ha sido estudiada como compostera (Bouché, 1984).

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

Phylum	Anélida
Clase	Oligochaeta
Orden	Opisthoporos

Familia	Lumbricidae
Genero	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>andrei</i>

El tamaño de *Eisenia andrei* (Bouché) es de 6 a 9 cm, con un peso de entre 0.3 a 1 g y una 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 ultimo 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 fecundados, cada capullo puede desarrollarse de 2 a 20 individuos los cuales son ovipositados cada semana. Estos eclosionan aproximadamente en dos a tres semanas, una vez nacidas las lombrices son sexualmente maduras a los 90 días (Bollo, 1999).

Existen varios factores que influyen en el desarrollo de la lombriz tales como la temperatura, humedad y el pH del sustrato, en los que si no se encuentra en sus condiciones óptimas se verá afectada su reproducción y actividad. Cuando la temperatura del sustrato está por debajo de los 16°C las lombrices dejan de producir capullos, por su baja actividad metabólica. Por otra parte las temperaturas altas, alrededor de los 30° C, causan desecación y la muerte de los organismos. 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 el 70 y 80 %, ya que es un nivel adecuado para su actividad, debido a que es importante que las lombrices mantengan su cuerpo en un medio húmedo para que pueda tener un intercambio gaseoso con el medio (Bollo, 1999, Martínez, 1996, Santamaría *et al.*, 2002)

El pH es un factor muy importante para las lombrices composteadoras, ya que se ve reflejado en su presencia en el sustrato. Las lombrices pueden soportar un rango de pH entre 5 y 8, pero su óptimo es cercano a la neutralidad (Capistran *et al.*, 1999). Se ha reportado que *Eisenia andrei* puede soportar pH de 8.1 hasta 9.5 por encima de este valor se ve afectado su desarrollo, actividad, reproducción y puede causar su muerte (Santamaría *et al.*, 2002). Si bien el género *Eisenia* es muy tolerante al pH alcalino en cambio, se ha observado que 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).

Romero (1999) vermicomposteó pulpa de café y bagazo, utilizando a *Eisenia andrei*, agregó 2 kg de lombriz al inicio, se observó al final del proceso que la pulpa de café es donde tuvo un mejor crecimiento poblacional de 330% El pH inicial fue de 5.9 y aumentó hasta 7.2, y la duración fue de 86 días. En cambio el bagazo fue en donde menor crecimiento poblacional tan solo de 180 %, y el vermicompostaje fue mas lento durando 143 días. Llegando a la conclusión que la pulpa de café fue el mejor sustrato para la lombriz que el bagazo, por que tuvo un mejor crecimiento y el tiempo de vermicompostaje fue mas corto.

#### **1.2.5. Café *Coffea arabica* L.**

El café es una planta perenne que pertenece a la familia de las rubiaceas, dentro del género *Coffea*, destacan dos especies; *Coffea arabica* y *C. canephora*. Estas dos especies difieren entre si en su desarrollo final, altura de la planta que puede ser de unos centímetros hasta 15 m, su ramaje y hojas. Los frutos del café se desarrollan con bastante rapidez (Anexo 2-A) una vez fecundado el óvulo, pero el tiempo que transcurre entre la floración y la maduración del fruto de *C. arabica* es de seis a ocho meses (Coste, 1975). El ovario fecundado da una drupa o cereza considerada como un fruto carnoso de forma ovoidea, subglobulosa, entre 10 y de 15 mm de diámetro por 16 a 18 mm

de largo (Fuller *et al.*, 1972), las partes que constituyen el fruto, son las siguientes:

- Exocarpio, es una piel delgada de color rojo cuando esta madura.
- Mesocarpio es grueso y carnoso también llamado pulpa.
- Endocarpio o pergamino, envolviendo a la semilla.
- Perispermo
- Embrión.

La obtención del grano de café comprende la remoción de todas sus capas por vía húmeda. Lo primero es eliminar la pulpa, para esto se somete a la cereza a fuerzas de fricción y presión, teniendo en contacto dos superficies una móvil y una inmóvil (Ardila, 1999). El proceso se realiza con corriente de agua que es utilizada para la recepción, transporte hidráulico de los frutos, al despulpador, y para la eliminación de la pulpa; después del despulpado el grano de café todavía sigue teniendo recubrimientos mucilaginosos pegados al pergamino, su eliminación se hace por vía mecánica. Para poder limpiar el grano, al final de estos procesos se lava sumergiendo los granos al chorro de agua, mediante este método se obtiene el café pergamino. El lavado produce que el grano tenga un 60 % de humedad, aproximadamente, por lo que tiene que ser secado. La manera tradicional de secado es poner los granos al sol hasta lograr una humedad de 12%, aproximadamente (Coste, 1975).

De todo el fruto solo el 5% que es el grano, se utiliza en la industria del café, y el restante 95%, que es la pulpa, es un subproducto de desecho (Ardila, 1999). De acuerdo con el Sector Alimentario en México (2002) para el año 2001 a nivel nacional se tiene registrada una producción total de cereza de café de 1,645, 822 toneladas; si tomamos en cuenta que solo se aprovecha el 5% del fruto entonces se obtienen subproductos de desechos 1, 563, 530 ton de pulpa para ese año. La pulpa de café se ha convertido en un problema ya que causa

contaminación en los ríos y terrenos cercanos al lugar donde se procesa el grano. Por esta razón a partir de los años ochenta se ha empezado a darle una utilidad a este subproducto. En México, una de las alternativas encontradas es promover su descomposición para poder usarlo como abono (Aranda, 1988).

#### **1.2.6. PASTO *Lolium perenne* L.**

Este pasto también conocido como Ballico perenne es una planta 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, 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).

Sus características morfológicas y fisiológicas las hacen adecuadas para animales rumiantes 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, es de fácil establecimiento por la gran adaptación a diferentes tipos de suelos, tiene una germinación rápida, y un rebrote fácil, después de un corte, y responde rápidamente al abonado. También se ha visto que este pasto es tolerante al pisoteo y pastoreo severo. por lo que es objeto de muchas investigaciones (Gros,1976; Pérez, 2001).

La producción del *Lolium perenne* es estacional, entre primavera y otoño (Duthil, 1989), crece bien en suelos con altos contenidos de nitrógeno, de pH ligeramente ácido (pH<7), aunque soporta suelos alcalinos. Las variables restrictivas en su desarrollo son condiciones bajas de humedad y alta temperatura por arriba de los 25° C teniendo su desarrollo óptimo entre 18 y 20° C (Mustera y Ratera, 1991). Cuando hay fluctuaciones de estas variables se afecta el crecimiento dando como resultado una producción pobre, por lo cual se

recomienda su cultivo en regiones templadas o con inviernos no muy rigurosos, ya que las heladas retardan el crecimiento del pasto (Velazco, 2001).

La cantidad óptima recomendada de semillas por hectárea varia según los autores pero la mayoría coincide en agregar 30 kg ha<sup>-1</sup> (Guerrero, 1992). La fertilización del pasto recomendada es de 50 a 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno y de 60 a 100 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo. En zonas áridas donde las características físicas proporcionan una baja retención de humedad y nutrientes se recomienda la adición de materia orgánica,. (INIP-CIPES, 1980).

Zaragoza (2000) evaluó el rendimiento del pasto *Lolium perenne* en tres diferentes frecuencias de corte o defoliación a las 2, 4 y 6 semanas, durante cinco meses (octubre-febrero). Evaluó la acumulación del forraje, obteniendo el peso en base seca, teniendo como resultado una mejor producción al cosechar cada 28 días, superando a las otras dos con un 30% respectivamente. El rendimiento total de materia seca cosechada cada 28 días fue en promedio 3273.7 kg MS ha<sup>-1</sup>. y cosechando cada 14 y 42 días fue de 2612.4 y 2730.2 kg MS ha<sup>-1</sup>.

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



### 1.3. Planteamiento del Problema

Debido al gran problema de contaminación con residuos orgánicos se han buscado alternativas para su re-utilización, como el promover su descomposición natural para convertirlo en un abono orgánico (composta), siendo una de las mejores encontradas el vermicomposteo debido a la rapidez de descomposición de los materiales, beneficiando directamente al ambiente, reduciendo la contaminación de los lugares, favoreciendo la economía, además de mejorar la fertilidad del suelo. Para este trabajo se utilizó la pulpa de café, y aunque ya existen reportes de la producción de esta vermicomposta, lo que se buscó fue mejorar la calidad nutrimental del producto y acelerar su descomposición.

### 1.4. Objetivos e Hipótesis

Objetivo General:

- Acelerar la madurez de la vermicomposta de pulpa de café mediante el enriquecimiento con N y P.

Objetivos Particulares:

- Efecto de fertilizantes minerales fosfatados y nitrogenados en la producción de pulpa de café a vermicompostear.
- Evaluar la cinética de COT, N, P, Ca, Mg, Na, K, pH, actividad ureasica y fosfatasa de la pulpa de café durante el proceso de vermicompostaje.
- Evaluar los efectos de la vermicomposta sobre el desarrollo del pasto *Lolium perenne*

Hipótesis:

- Al adicionar N y P a la pulpa de café a vermicompostear se acelera la descomposición del sustrato favoreciendo su función como composta en el aumento del rendimiento del pasto

## CAPITULO II

### Material y Método.

La pulpa fue pre-compostada y vermicompostada en el Centro de Compostaje de la UNAM, una vez terminado el proceso se caracterizó químicamente una muestra compuesta. Posteriormente realizó la prueba P-50L (Ferruzzi, 1994) para conocer la adaptación de las lombrices a la pulpa. 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 su calidad tomando como indicadores parámetros químicos y enzimáticos.

La evaluación de la eficiencia de la vermicomposta, como abono, se efectuó con un diseño experimental 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. El suelo 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 sustrato utilizado para la elaboración de vermicomposta fue la pulpa de café (Anexo 2-B) procedente de la Finca el Sinaí del municipio Los Santos Reyes Nopala que se ubica al suroeste del estado de Oaxaca (Figura 1). Los Santos Reyes Nopala es uno de los doce municipios que pertenecen al distrito de Juquila, Oaxaca. Este municipio se localiza a los  $16^{\circ}8'$  de latitud norte y a los  $93^{\circ}18'30''$  de longitud oeste; sobre 460 msnm. Limita al norte con los municipios de Santa María Temaxcaltepec y San Juan Lachao, a sur con el municipio de San Pedro Mixtepec y el Océano Pacífico y al este con el municipio de San Gabriel Mixtepec (Pérez, 1997)

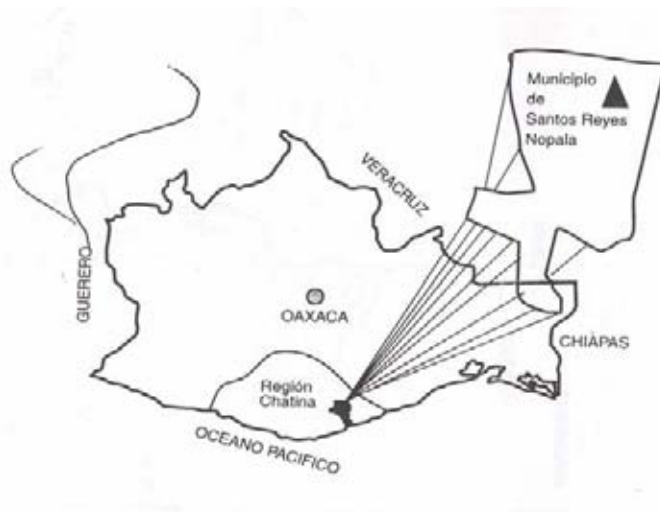


Figura 1. Mapa del estado de Oaxaca

El pre-composteo llevó acabo con el fin de que el sustrato a utilizar no perjudicara a las lombrices por la elevación de la temperatura que ocurre por actividad microbiana.

El proceso de pre-composteo de la pulpa de café se llevó a cabo colocándola en un contenedor de plástico con sistema de aireación; este consistió 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 el 70 y 80%, manteniendo esta humedad durante todo el proceso. Dentro del contenedor se colocaron dos sensores de temperatura Digi-Sense tipo K (Cole Parmer) a dos profundidades de 0-15 y de 15-30 cm; también se colocó un sensor fuera del contenedor para monitorear las variaciones de temperatura ambiente. Las lecturas se llevaron a cabo diariamente a las 13:00 hrs (Anexo 2-C, D).

Una vez terminado el pre-composteo que es cuando disminuye la fase termófila se realizó la prueba P-50L (Ferruzzi, 1994), con las lombrices, obtenidas en el Colegio de Posgraduados Chapingo (Anexo 2-E). Esta prueba consistió en colocar en una caja con tapa y ventilación, el sustrato y 50 lombrices cliteladas. Las condiciones de humedad del sustrato fueron del 70 al 80% (las mismas que en el pre-composteo). Después de 24 horas se observó el comportamiento de las lombrices y se valoró su sobrevivencia. También se tomaron varias muestras a diferentes profundidades del contenedor de plástico y se hizo una muestra compuesta para analizarla químicamente

## **2.2. Vermicomposteo**

El vermicomposteo se llevó a cabo con el sustrato precomposteadado, enriquecido con nitrógeno y fósforo; en un diseño experimental bifactorial con arreglo combinatorio completamente al azar, obteniendo 9 tratamientos con tres repeticiones (Tabla 1). A la pre-composta se le agregaron dos dosis diferentes

de nitrógeno y fósforo, Los fertilizantes utilizados fueron la urea  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  y súper fosfato simple  $\text{P}_2\text{O}_5$ , las dosis empleadas de N-P fueron 60-40 y 80-60  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente. También se realizó un composteo (C) para comparar; con tres repeticiones, teniendo un total de 30 tratamientos. Los fertilizantes fueron agregados disueltos con agua dos días antes de inocular las lombrices.

**Tabla 1.** Diseño experimental bifactorial con arreglo combinatorio al azar de las dosis de fertilización.

Dosis	P0	P1	P2
N0	N0P0	N0P1	N0P2
N1	N1P0	N1P1	N1P2
N2	N2P0	N2P1	N2P2

N0 (00  $\text{kg ha}^{-1}$ ); N1 (60  $\text{kg ha}^{-1}$ ); N2 (80  $\text{kg ha}^{-1}$ ); P0 (00  $\text{kg ha}^{-1}$ ); P1(40  $\text{kg ha}^{-1}$ ); P2 (60  $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Para este experimento se utilizaron 30 cajas de unisel con una capacidad de 18 litros donde se puso la pulpa de café precompostada y 50 lombrices cliteladas (Anexo 2 F, G, H), en cada caja. Los tratamientos durante el experimento tuvieron un arreglo al azar (Tabla 2).

**Tabla 2.** Disposición espacial del diseño al azar con sus repeticiones.

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

Durante el vermicomposteo se mantuvo la humedad de todos los tratamientos entre 70 y 80 % a temperatura ambiente. Se tomaron muestras compuestas de cada uno de los tratamientos, para tener una muestra homogénea, la primera toma de muestras fue a los 46 días (T2) y la segunda fue a los 92 días (final del proceso, T3).

### **2.2.1 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 relación 1:10 en agua y en KCl 1N. En la actividad enzimática las muestras se almacenaron a 4° C para detener la actividad microbiológica. 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, y se pasaron por una malla No.20 para la determinación de nitrógeno. A las muestras se les determinó el contenido de carbono por pérdida por ignición, nitrógeno total (Nt), fósforo disponible (P), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) intercambiables. A continuación se describen las técnicas empleadas para los análisis.

### **2.2.2. Análisis de la vermicomposta en húmedo.**

- % humedad por gravimetría: (Van Reeuwijk; 2002).
- pH por el método del potenciómetro relación 1:10 con  $\text{H}_2\text{O}$  y KCl 1N pH 7. (Van Reeuwijk, 2002).

### **2.2.3. Análisis enzimático**

- Determinación de la actividad de la fosfomonoesterasa (fosfatasa alcalina) por Tabatabai y Bremner (Kassen y Nannipieri, 1995)
- Determinación de la actividad ureásica por Kandeler y Gerber (Kassen y Nannipieri, 1995)

### **2.2.4 Análisis de la vermicomposta seca a 60°C**

- N total por Kjeldahl. Para la digestión de las muestras se utilizó la técnica de TMECC 2002; para la determinación de nitrógeno se utilizó la técnica de Van Reeuwijk, 2002
- P disponible. Determinación por el método de Olsen (Van Reeuwijk, 2002)
- COT por pérdida por ignición (Burés 1997).
- Bases intercambiables (Van Reeuwijk, 2002).

### 2.3. Eficiencia de la vermicomposta de pulpa de café en la producción 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 seco. Y las variables independientes los diferentes tratamientos. Los tratamientos consistieron en composta, las diferentes vermicompostas y un testigo sin enmienda, cada tratamiento con tres repeticiones. El arreglo al azar de los tratamientos se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Arreglo espacial del diseño bifactorial con arreglo combinatorio al azar de las vermicompostas y sus testigos

N1P2	N2P2	N1P1	<sup>c</sup>	N2P1	S.V.
<sup>c</sup>	N0P1	N1P0	S.V.	N2P2	N0P0
N0P2	N2P1	N1P1	N0P0	N1P2	S.V.
N0P1	N2P2	N1P1	N2P0	N2P1	N1P0
N1P0	N0P2	<sup>c</sup>	N2P0	N0P2	
N2P0	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; s.v. testigo sin enmienda; COMP composta.

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  $\text{KNO}_3$  al 2% (Thompson, 1979). Estas se incubaron en una cámara de ambientes controlados a una temperatura de  $25 \pm 1^\circ \text{C}$ , con una humedad entre 25 y 30%, un fotoperiodo de 16×8 y una intensidad de luz 2110 lux.

El experimento se realizó en el invernadero de la Facultad de Ciencias UNAM. Se utilizaron macetas de plástico con capacidad de 1 kg a las que se le agregaron 100 g de tezontle fragmentado en la base, para asegurar un buen drenaje, luego se colocó sobre el tezontle 1 kg de suelo (Anexo 2-K). Posteriormente se incorporaron los diferentes tratamientos las dosis de composta (C) y vermicompostas (Anexo 2-L) que fueron de 20g por kg de suelo (Almendros com. Pers.).

En cada maceta se sembraron 50 semillas (Anexo2-M) y después de la germinación se aclarearon a 11 plántulas por maceta, teniendo una densidad de semillas de  $30 \text{ kg por ha}^{-1}$  (Guerrero, 1992). Se realizaron cortes de la parte aérea del pasto, cada dos meses o antes de la espiración (Anexo 2, N, Ñ, O). El pasto fue pesado en fresco y secado en bolsas de papel a  $60^\circ \text{C}$  y pesados en una balanza digital.

#### **2.4. Caracterización de las muestras de suelo**

El suelo utilizado para este bioensayo, como sustrato, se obtuvo del municipio San Pedro Yeloixtlauaca, Puebla; que se localiza en la latitud  $18^\circ 07'$ , longitud  $98^\circ 04'$  y 1120 msnm, colindando al norte con Acatlan y San Pablo Anicano, al sur con Oaxaca, al oeste con Guadalupe de Santa Ana y al este con Petlalcingo y Chila (Los Municipios de Puebla, 1988).

Su caracterización se basa en la descripción de un perfil edafológico en la zona, se tomaron muestras de cada horizonte y se le hicieron análisis en laboratorio, los resultados se encuentran en el Anexo 1. El sustrato para la

producción del pasto fue la mezcla de las muestras de los diferentes horizontes, se homogenizaron obteniendo una muestra compuesta

Para el análisis del suelo fue necesario secarlo a temperatura ambiente y se tamizó con malla No. 10 para los siguientes análisis descritos en su mayoría en Black *et al.* 1965:

- Pedregosidad.
- D. A por el método de la probeta, (Baver 1956)
- D. R. Por el método del picnómetro (Baver 1956)
- % porosidad, por relación entre densidad aparente y densidad real.
- Determinación de conductividad eléctrica (Black *et al.*, 1965)
- pH utilizando una relación 1:2.5 y 1:5 con H<sub>2</sub>O y KCl 1M pH 7 (potenciómetro Corning,) Jackson, 1982
- Color con comparación con las tablas Munsell 1975.
- Textura por el método de hidrómetro de Bouyoucos
- C. I. C. por centrifugación y valoración con EDTA (Jackson, 1982)
- 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. Análisis estadístico.**

El análisis estadístico utilizado para encontrar diferencias entre los tratamientos fue la ANOVA no paramétrica de Kruskal Wallis y para diferenciar los tratamientos se hizo una comparación múltiple de Dune. (Conover, 1999; Dickinson, 2003; Wayne, 2004).



## CAPITULO III

### Resultados

#### 3.1. Precomposteo

El proceso de precomposteo de la pulpa de café se evaluó mediante el seguimiento de cambio de temperatura tanto ambiental como la del proceso de precomposteo, (Figura 2). El proceso duro 23 días, la pulpa inicio con una temperatura de 16.5 °C por debajo de la temperatura ambiente que fue de 33.5 °C; al quinto día la temperatura de la pulpa todavía estaba baja con 15.2 °C con respecto a la ambiental de 23.1 ° C. El incremento de la temperatura se dio al séptimo día con 40.5 °C, alcanzó un máximo de 46.6°C en el día trece. En los días subsecuentes se dio una disminución gradual de la temperatura, pero nunca la temperatura estuvo por debajo de la temperatura ambiente.

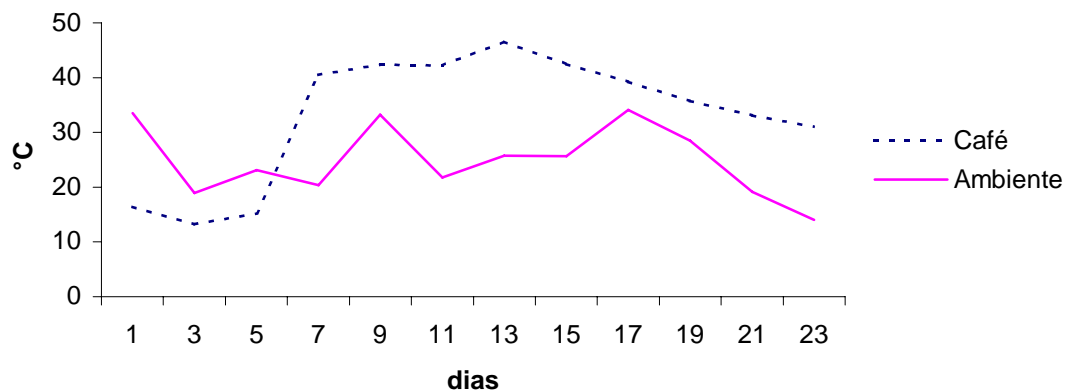


Figura 2. Gráfica de variación de temperatura durante el precomposteo de pulpa de café

Los resultados obtenidos del pre-composteo de la pulpa de café son: pH básico de 8.8, humedad del 62.3 %, nitrógeno total de 30.2 g kg<sup>-1</sup>, carbono orgánico total de 620 g kg<sup>-1</sup>, con una relación C/N de 20.5 y un contenido de fósforo disponible de 6.2 %.

### 3.2. Prueba P-50L

La prueba de adaptabilidad de las lombrices a la pulpa pre-composteadada fue positiva ya que las lombrices no se encontraron muertas y ninguna faltaba, estaban saludables reaccionando adecuadamente a estímulos de luminosidad y contacto físico, observándose un buen movimiento.

Tabla 5. Resultado de la prueba P-50L

	<b>Vivas</b>	<b>muertas</b>	<b>saludables</b>	<b>No saludables</b>
<b>No. de lombrices después de 24 horas</b>	50	0	50	0

### 3.3 Vermicomposteo

El vermicomposteo duró 92 días desde el primer día que se inocularon las lombrices, el proceso se midió a los 46 (T2) y 92 días (T3). A continuación se describen detalladamente las características físicas y químicas de la vermicomposta y el crecimiento poblacional de las lombrices.

#### 3.3.1. Cantidad de lombrices y huevos

La cantidad de lombrices al final del vermicompostaje se muestra en la Tabla 6, el tratamiento que presentó un mayor crecimiento fue N1P0 con un promedio de 18816 individuos, y el tratamiento que tuvo un menor crecimiento fue N1P1 con 10176. El número de huevos presentes al final del vermicompostaje también se presentan en la Tabla 6 en donde se observa que N1P1 es el que presentó en

promedio un mayor número de huevos con 2624; y por el contrario N2P1 presentó en promedio la menor cantidad de huevos en el sustrato con 1024.

**Tabla 6.** Promedio del número de lombrices y huevos al final del vermicompostaje

tratamiento	No. lombrices	No. huevos
N1P1	<b>10176</b>	<b>2624</b>
N2P2	13653	1280
N0P0	13739	1792
N1P2	17552	1920
N0P2	13696	2304
N2P1	12544	<b>1024</b>
N0P1	17237	2133
C	0	0
N1P0	<b>18816</b>	2192
N2P0	13952	1536

### 3.3.2. Resultados químicos

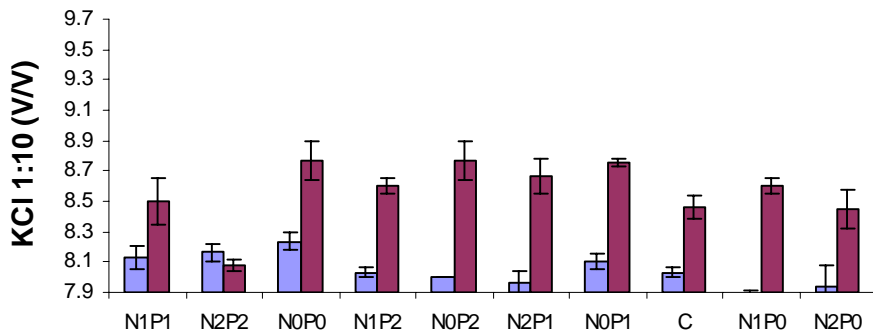
El pH con KCl relación 1:10 se estableció entre 7.8 en N1P0 y 8.2 en N2P2, N0P0 para T2 ; para T3 de 8.1 en N2P2 y 8.8 en N0P0, N0P1 ( Tabla 7). La tendencia encontrada en todos los tratamientos fue el aumento de pH en KCl durante el vermicompostaje (Figura 3). En general se observa que el pH de todos los tratamientos es básico, los valores están por arriba de 7.8 en los dos tiempos T2 y T3. En cuanto a los resultados estadísticos no se encontraron diferencias con una **p=.08** para T2 y para T3 **p=.09**

El pH H<sub>2</sub>O relación 1:10 los tratamientos se establecieron en 8.7 en N2P2 y 9.2 N0P2, C para T2; y en 8.8 N2P0 y 9.4 N0P2 para T3 (Tabla 7). La tendencia de N1P1, N2P2, N0P0, N2P1 es un aumento de pH en H<sub>2</sub>O, en los tratamientos N1P2, N0P2, N0P1, N2P0, C, N1P0 no se encontraron cambios de pH en los dos tiempos T2 y T3 (Figura 3). Se observa que el pH con H<sub>2</sub>O en los dos tiempos de vermicomposteo es básico, los valores se encuentran por arriba de 8.8. Tampoco se encontraron diferencias estadísticas con una **p=.08** en T2 y **p=.32** en T3

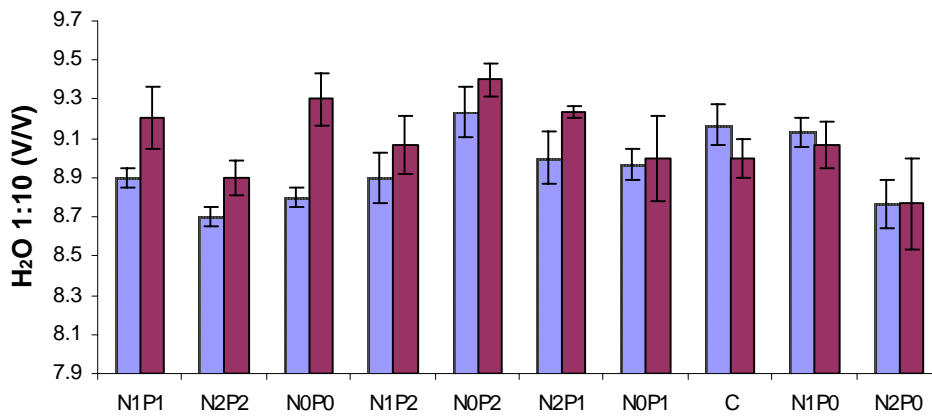
El porcentaje de humedad establecida en T2 fue de 79.83 en N0P1 y 84.77 en C; para T3 de 78.17 en N2P2 y 84.10 en N2P0 (Tabla 7). Se observa en la Figura 3 que el porcentaje de humedad durante el vermicomposteo se estableció entre el 75 y 85 %

**Tabla 7.** Promedio de pH KCl, pH H<sub>2</sub>O, y porcentaje de humedad en diferentes tratamientos de vermicomposta en dos tiempos de maduración T2 y T3

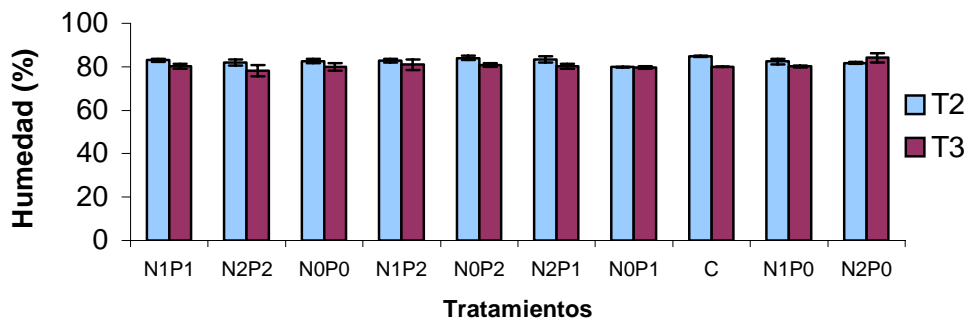
Tratamientos	pH KCl		pH H <sub>2</sub> O		Humedad	
	1:10 (V/V)		1:10 (V/V)		%	
	T2	T3	T2	T3	T2	T3
N1P1	8.1 <sup>a</sup>	8.5 <sup>a</sup>	8.9 <sup>a</sup>	9.2 <sup>a</sup>	83.03	80.20
N2P2	<b>8.2<sup>a</sup></b>	<b>8.1<sup>a</sup></b>	<b>8.7<sup>a</sup></b>	8.9 <sup>a</sup>	81.93	<b>78.17</b>
N0P0	<b>8.2<sup>a</sup></b>	<b>8.8<sup>a</sup></b>	8.8 <sup>a</sup>	9.3 <sup>a</sup>	82.60	80.00
N1P2	8.0 <sup>a</sup>	8.6 <sup>a</sup>	8.9 <sup>a</sup>	9.1 <sup>a</sup>	82.80	81.07
N0P2	8.0 <sup>a</sup>	8.8 <sup>a</sup>	<b>9.2<sup>a</sup></b>	<b>9.4<sup>a</sup></b>	84.07	80.80
N2P1	8.0 <sup>a</sup>	8.7 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	9.2 <sup>a</sup>	83.40	80.13
N0P1	8.1 <sup>a</sup>	<b>8.8<sup>a</sup></b>	9.0 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	<b>79.83</b>	79.70
N1P0	<b>7.8<sup>a</sup></b>	8.6 <sup>a</sup>	9.1 <sup>a</sup>	9.1 <sup>a</sup>	82.43	80.13
N2P0	7.9 <sup>a</sup>	8.45 <sup>a</sup>	8.8 <sup>a</sup>	<b>8.8<sup>a</sup></b>	81.70	<b>84.10</b>
C	8.0 <sup>a</sup>	8.5 <sup>a</sup>	<b>9.2<sup>a</sup></b>	9 <sup>a</sup>	<b>84.77</b>	79.90



A



B



C

**Figura 3.** Tendencia de las propiedades físicas y químicas de la vermicomposta en dos tiempos de maduración T2 y T3. (A) pH KCl, (B) pH H<sub>2</sub>O, (C) porcentaje de humedad.

El contenido de nitrógeno total de los tratamientos se estableció entre los valores 31.65 y 43.27 g Kg<sup>-1</sup> en T2, y para T3 de 32.79 y 41.03 g Kg<sup>-1</sup> (Tabla 8) encontrándose una tendencia de aumento durante el vermicompostaje en N1P1, N1P2, N2P1, N0P1. Para los tratamientos N2P2, N0P0, C, N2P0 su tendencia fue la disminución del nitrógeno total de T3 con respecto a T2. En N0P2 y N1P0 no se encontraron cambios en la concentración de nitrógeno total en los dos tiempos (Figura 4). Para nitrógeno total no se pudo realizar una prueba estadística ya que las muestras fueron compuestas y solo se tiene un resultado por tratamiento

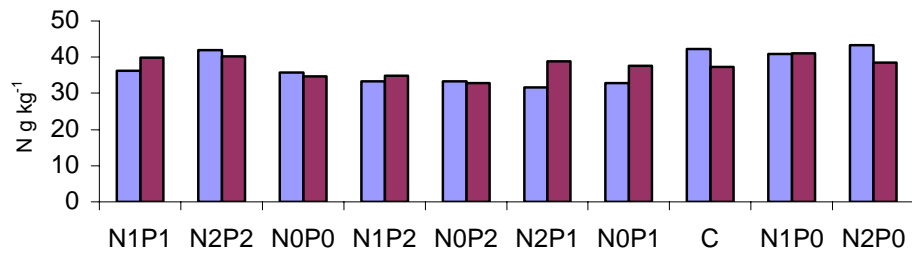
Los valores del fósforo asimilable de los tratamientos se establecieron para T2 en 1191.6 en N2P1 y 1398 mg kg<sup>-1</sup> en N1P1; para T3 de 899.1 en N2P2 y 1164.8 mg kg<sup>-1</sup> en C (Tabla 8). La tendencia de los tratamientos fue la disminución del contenido de fósforo disponible de T2 a T3 (Figura 4). El tratamiento que tuvo una menor pérdida de fósforo con el tiempo fue C presentando el valor más alto en T3. En cuanto a las pruebas estadísticas las diferencias encontradas en T2 es N1P1 entre N2P2, N2P1 con una **p=.02**, y para T3 no hay diferencias con **p=.38**.

En el contenido de carbono orgánico total COT los valores en T2 se establecieron entre 381.2 en C y 545.1 g kg<sup>-1</sup> en N2P2 y de 396.3 en N2P0 y 410.8 g kg<sup>-1</sup> N1P0 para T3 (Tabla 8). En C se encontró una tendencia de aumento de T3 con respecto a T2, en N0P1 no se encontraron cambios en el contenido de COT en los dos tiempos, en los demás tratamientos la tendencia encontrada fue la disminución del COT durante el vermicomposteo (Figura 4). Para en T2 las diferencias estadísticas encontradas solo entre N2P2 y C con una **p=.04**, y al final no se encontraron diferencias **p=.79**.

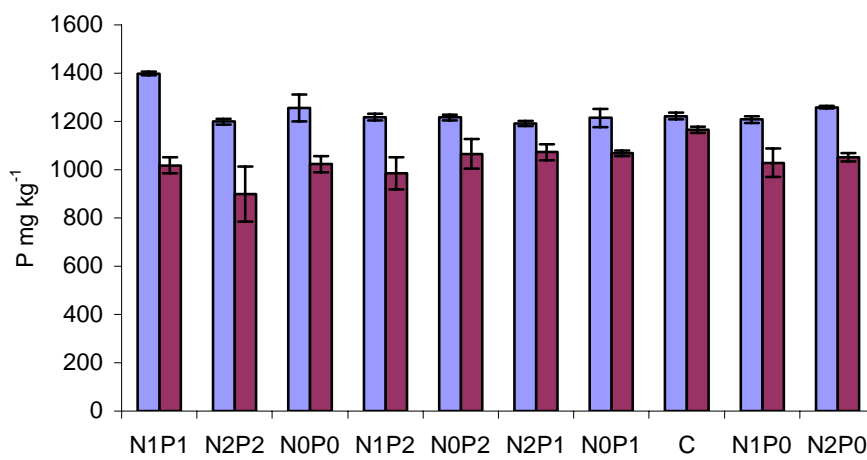
**Tabla 8.** Nitrógeno total valores de muestra compuesta. Promedio de fósforo asimilable, carbono orgánico total. En diferentes tratamientos de vermicomposta en dos tiempos de maduración T2 y T3.

Tratamientos	N		P		COT	
	g Kg <sup>-1</sup>		mg Kg <sup>-1</sup>		g Kg <sup>-1</sup>	
	T2	T3	T2	T3	T2	T3
N1P1	36.29	39.88	<b>1398.0</b> <sup>ab</sup>	1017.5 <sup>a</sup>	419.44 <sup>a</sup>	399.56 <sup>a</sup>
N2P2	41.97	40.26	1199.0 <sup>ac</sup>	<b>899.1</b> <sup>a</sup>	<b>545.13</b> <sup>a</sup>	409.45 <sup>a</sup>
N0P0	35.67	34.72	1255.2 <sup>a</sup>	1023.1 <sup>a</sup>	404.61 <sup>a</sup>	385.38 <sup>a</sup>
N1P2	33.34	34.95	1218.2 <sup>a</sup>	984.8 <sup>a</sup>	426.79 <sup>a</sup>	404.96 <sup>a</sup>
N0P2	33.42	<b>32.79</b>	1216.2 <sup>a</sup>	1065.5 <sup>a</sup>	415.22 <sup>a</sup>	407.30 <sup>a</sup>
N2P1	<b>31.65</b>	38.80	<b>1191.6</b> <sup>ac</sup>	1072.1 <sup>a</sup>	414.47 <sup>a</sup>	305.97 <sup>a</sup>
N0P1	32.88	37.65	1214.1 <sup>a</sup>	1068.6 <sup>a</sup>	400.05 <sup>a</sup>	406.04 <sup>a</sup>
C	42.27	37.34	1222.5 <sup>a</sup>	<b>1164.8</b> <sup>a</sup>	<b>381.28</b> <sup>ac</sup>	401.52 <sup>a</sup>
N1P0	40.96	<b>41.03</b>	1207.9 <sup>a</sup>	1028.5 <sup>a</sup>	423.31 <sup>a</sup>	<b>410.81</b> <sup>a</sup>
N2P0	<b>43.27</b>	38.57	1259.1 <sup>a</sup>	1051.7 <sup>a</sup>	418.21 <sup>a</sup>	<b>396.31</b> <sup>a</sup>

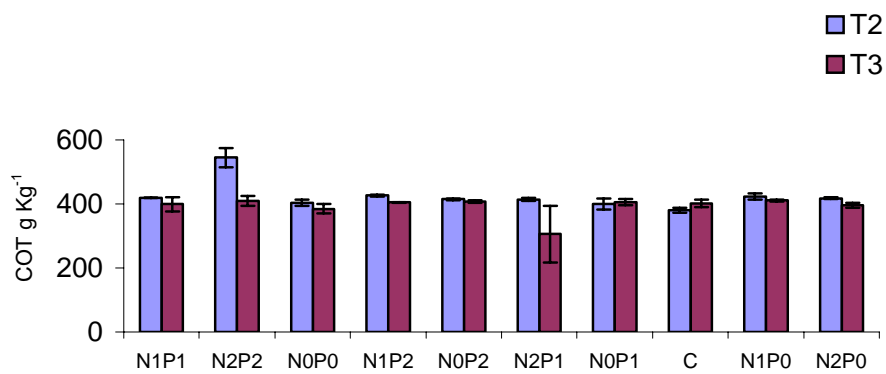




A



B



C

**Figura 4.** Tendencia de las propiedades químicas de la vermicomposta en los tiempos de maduración T2 y T3. (A) Nitrógeno total, (B) Fósforo asimilable, (C) Carbono orgánico total.

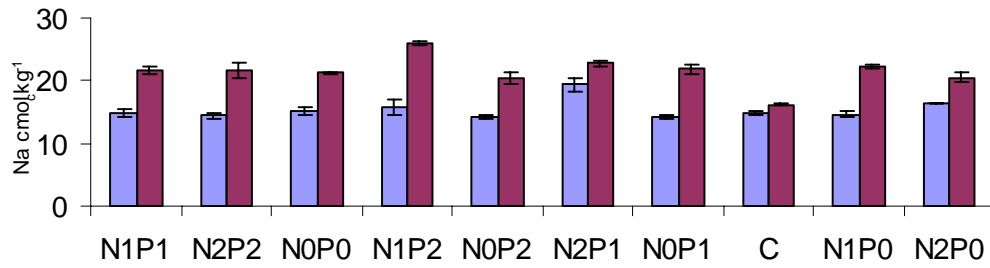
Durante el T2 el contenido de sodio disponible se estableció entre 14.18 en N0P2, N0P1 y 19.4  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  en N2P1; para T3 los valores se establecieron entre 16.19 en *C* y 26.03  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  en N1P2. *C* no tuvo un aumento considerable durante el proceso, su valor en T3 fue el más bajo, en cambio los demás tratamientos aumentaron considerablemente su contenido durante el vermicomposteo, situándose por arriba de los 20  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (Tabla 9). La tendencia en las vermicompostas fue de aumento del contenido de sodio de T3 con respecto a T2 (Figura 5). Las pruebas estadísticas no encontraron diferencias con una **p=0.1**, pero en T3 si con una **p= 0.03** entre N1P2, N2P1 con *C*.

El contenido de magnesio disponible para T2 se estableció entre 5.13 en N2P1 y 6.84  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  en N1P1; para T3 los valores se establecieron entre 4.76 en *C* y 7.45  $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$  en N2P0 (Tabla 9). Se encontró una tendencia de aumento en el contenido de magnesio de T3 con respecto a T2 en todos los tratamientos menos para N1P1 y *C* (Figura 5). En el caso de N1P1 se mantuvo constante en los dos tiempos con 6.84  $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$  respectivamente, y *C* en T2 fue el único tratamiento que disminuyó el contenido de magnesio. En T2 las diferencias estadísticas encontradas fue N1P1 entre N1P2, N2P1, *C* con una **p=0.01**, y en T3 una diferencia entre *C* y N0P1 con una **p=0.04**.

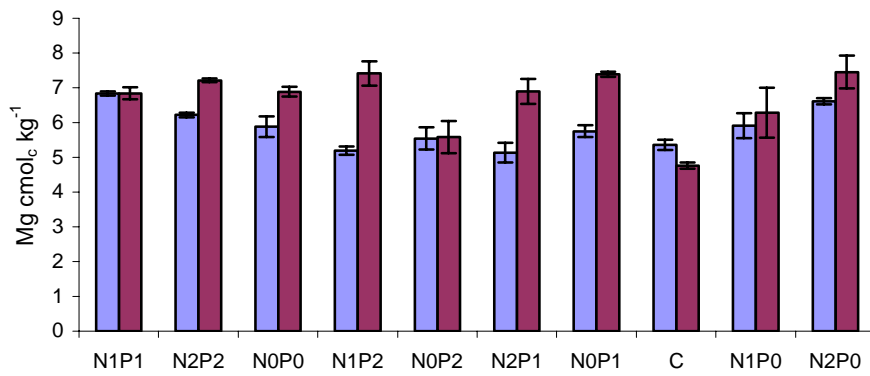
El contenido de calcio asimilable en T2 se estableció entre 61.2 en N2P1 y 72.33  $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$  en N1P1; en T3 se estableció entre 50.25 en *C* y 81.7  $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$  en N1P2 (Tabla 9). Se encontró un aumento en el contenido de calcio en T3 con respecto a T2 en todos los tratamientos menos para *C* (Figura 5), que fue el único tratamiento que disminuyó el contenido de calcio durante el proceso, teniendo el valor más bajo en T3, los demás tratamientos presentan valores por arriba de 76  $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ . Las pruebas estadísticas no encontraron diferencias entre los tratamientos con una **p=0.4** en T2 y **p=0.1** en T3.

**Tabla 9.** Promedio de Na, Mg, Ca asimilables en diferentes tratamientos de vermicomposta en dos tiempos de maduración T2 y T3.

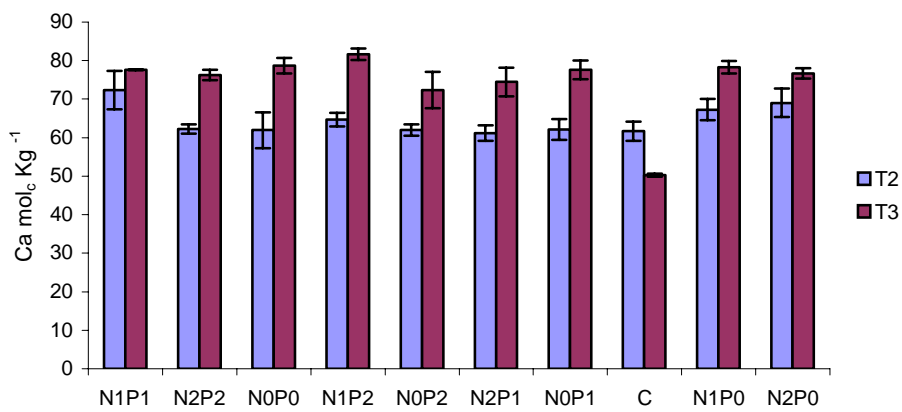
Tratamientos	Na		Mg		Ca	
	cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup>	
	T2	T3	T2	T3	T2	T3
N1P1	14.89 <sup>a</sup>	21.74 <sup>a</sup>	<b>6.84</b> <sup>ab</sup>	6.84 <sup>a</sup>	<b>72.33</b> <sup>a</sup>	77.57 <sup>a</sup>
N2P2	14.44 <sup>a</sup>	21.70 <sup>a</sup>	6.22 <sup>a</sup>	7.21 <sup>a</sup>	62.22 <sup>a</sup>	76.25 <sup>a</sup>
N0P0	15.21 <sup>a</sup>	21.24 <sup>a</sup>	5.88 <sup>a</sup>	6.89 <sup>a</sup>	61.93 <sup>a</sup>	78.66 <sup>a</sup>
N1P2	15.84 <sup>a</sup>	<b>26.03</b> <sup>ac</sup>	5.20 <sup>ac</sup>	7.41 <sup>a</sup>	64.67 <sup>a</sup>	<b>81.70</b> <sup>a</sup>
N0P2	<b>14.18</b> <sup>a</sup>	20.45 <sup>a</sup>	5.54 <sup>a</sup>	5.59 <sup>a</sup>	61.94 <sup>a</sup>	72.36 <sup>a</sup>
N2P1	<b>19.40</b> <sup>a</sup>	22.80 <sup>ac</sup>	<b>5.13</b> <sup>ac</sup>	6.90 <sup>a</sup>	<b>61.20</b> <sup>a</sup>	74.50 <sup>a</sup>
N0P1	<b>14.18</b> <sup>a</sup>	21.81 <sup>a</sup>	5.75 <sup>a</sup>	7.39 <sup>ab</sup>	62.12 <sup>a</sup>	77.57 <sup>a</sup>
C	14.79 <sup>a</sup>	<b>16.19</b> <sup>ab</sup>	5.36 <sup>ac</sup>	<b>4.76</b> <sup>ac</sup>	61.65 <sup>a</sup>	<b>50.25</b> <sup>a</sup>
N1P0	14.60 <sup>a</sup>	22.23 <sup>a</sup>	5.91 <sup>a</sup>	6.28 <sup>a</sup>	67.27 <sup>a</sup>	78.26 <sup>a</sup>
N2P0	16.28 <sup>a</sup>	20.57 <sup>a</sup>	6.61 <sup>a</sup>	<b>7.45</b> <sup>a</sup>	69.04 <sup>a</sup>	76.67 <sup>a</sup>



A



B



C

**Figura 5.** Tendencia de las propiedades químicas de la vermicomposta en los dos tiempos de maduración T2 y T3. (A) Sodio asimilable, (B) Magnesio asimilable, (C) Calcio asimilable.

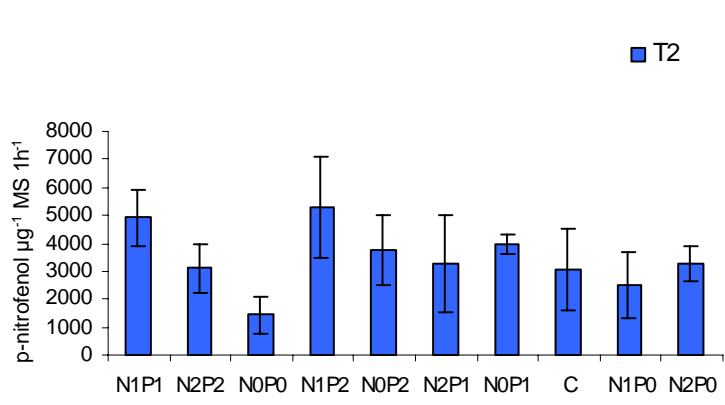
### 3.3.3. Resultados enzimáticos

La actividad enzimática de la ureasa para T2 los valores se situaron entre 1.5 en N2P1 y 75.2 en N2P2  $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{ml MS } 2 \text{ h}^{-1}$ . y para T3 entre 98.3 en N1P0 y 200.1 en N0P2  $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{ml MS } 2 \text{ h}^{-1}$  (Tabla 10). Se observa que la actividad ureásica aumento en todos los tratamientos durante el vermicompostaje que duro 92 días (T3) Figura 6 (C y D). Los resultados estadísticos mostraron diferencias con una **p=0.002** para T2, en cuanto a T3 ya no existen diferencias con una **p=0.6**

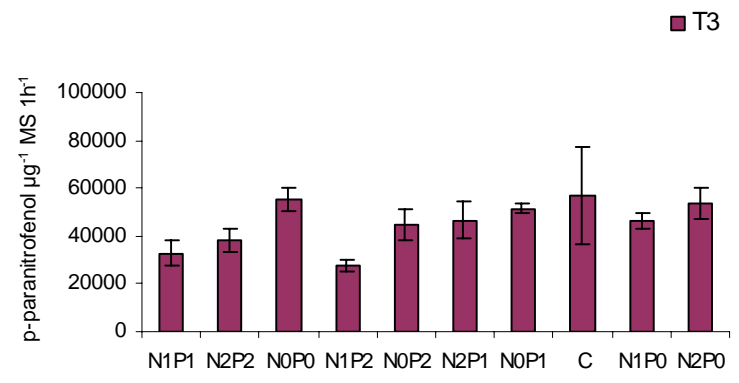
La actividad de la fosfatasa los valores se establecieron entre 1448.3 en N0P0 y 5306.8 en N1P2 p-nitrofenol  $\mu\text{g}^{-1} \text{ MS } 1\text{h}^{-1}$  para el T2, y para T3 entre 27369.9 en N1P2 y 56671.2 en C p-nitrofenol  $\mu\text{g}^{-1} \text{ MS } 1\text{h}^{-1}$  respectivamente, como se observa en la Figura 6 (A y B) la actividad de la fosfatasa de todos los tratamientos también aumento durante el vermicompostaje. No hay diferencias estadísticas para los dos tiempos con una **p=0.6** y **p=0.1**

**Tabla 10.** Promedios de la actividad enzimática de la fosfatasa alcalina y de la ureasa de los tratamientos en dos tiempos de maduración

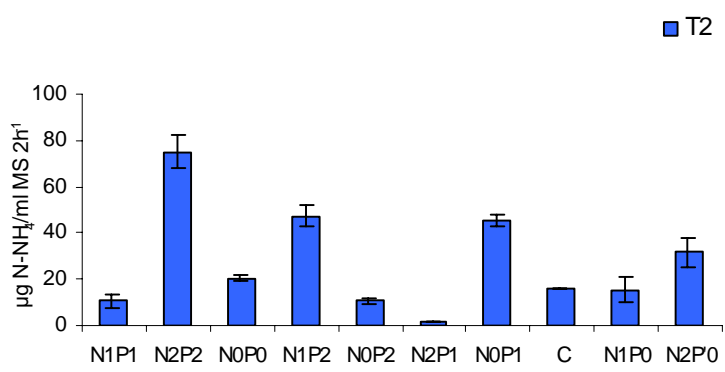
Tratamientos	Ureasa $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{ml MS } 2 \text{ h}^{-1}$		Fosfatasa $\text{p-nitrofenol } \mu\text{gg}^{-1} \text{ MS } 1\text{h}^{-1}$	
	T2	T3	T2	T3
N1P1	10.7 <sup>a</sup>	175.8 <sup>a</sup>	4912.4 <sup>a</sup>	32911.3 <sup>a</sup>
N2P2	<b>75.2</b> <sup>ab</sup>	113.7 <sup>a</sup>	3102.5 <sup>a</sup>	38211.5 <sup>a</sup>
N0P0	20.5 <sup>ab</sup>	106 <sup>a</sup>	<b>1448.3</b> <sup>a</sup>	55489.5 <sup>a</sup>
N1P2	47.5 <sup>ab</sup>	185.5 <sup>a</sup>	<b>5306.8</b> <sup>a</sup>	<b>27369.9</b> <sup>a</sup>
N0P2	10.6 <sup>a</sup>	<b>200.1</b> <sup>a</sup>	3755.4 <sup>a</sup>	44853.1 <sup>a</sup>
N2P1	<b>1.5</b> <sup>a</sup>	108.3 <sup>a</sup>	3267.4 <sup>a</sup>	46697.3 <sup>a</sup>
N0P1	45.4 <sup>ab</sup>	126.3 <sup>a</sup>	3976.1 <sup>a</sup>	51612.3 <sup>a</sup>
C	15.8 <sup>a</sup>	141.3 <sup>a</sup>	3046.0 <sup>a</sup>	<b>56671.2</b> <sup>a</sup>
N1P0	15.5 <sup>a</sup>	<b>98.3</b> <sup>a</sup>	2508.1 <sup>a</sup>	46370.1 <sup>a</sup>
N2P0	31.7 <sup>ab</sup>	123.2 <sup>a</sup>	3278.2 <sup>a</sup>	53639.3 <sup>a</sup>



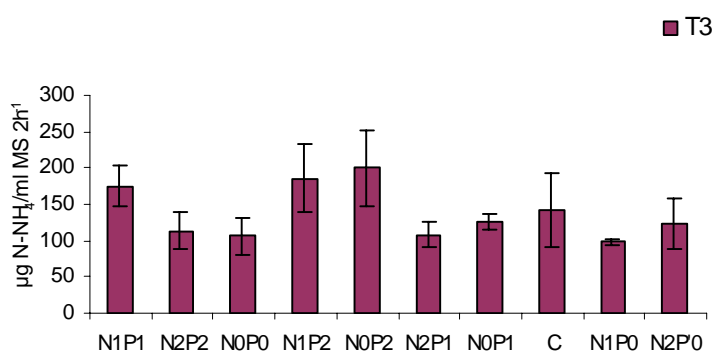
A



B



C



D

**Figura 6.** Grafica de las actividades de la fosfatasa en T2(A) y T3(B) y ureasa en T2(C) y T3(D)

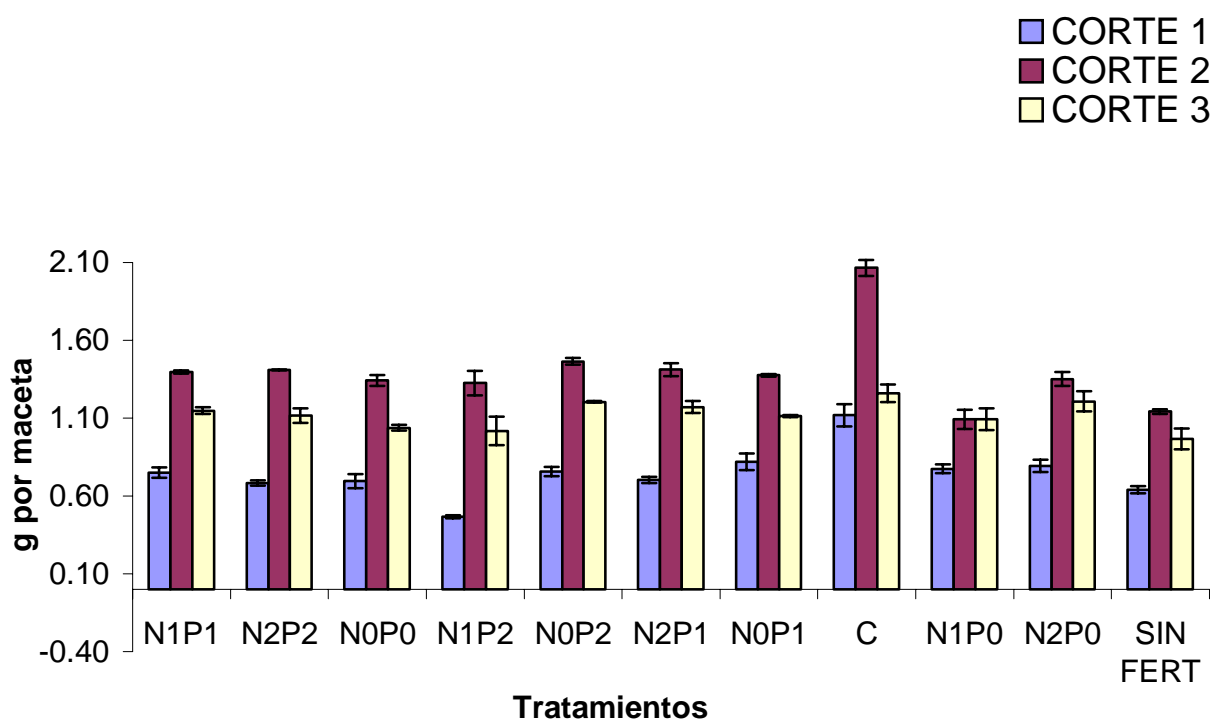
### 3.4. Desarrollo del pasto *Lolium perenne* L. a nivel de invernadero

En el primer corte el tratamiento que menos peso seco tuvo fue N1P2 con 0.47 g, C fue el tratamiento que más peso seco presentó con 1.12 gr. En el segundo corte el tratamiento que más pesó fue C con 2.07gr y el que menos pesó fue el tratamiento sin fertilizante con 1.14 g. En el tercer corte también C fue el tratamiento que más pesó con 1.26 g y el tratamiento de menor peso fue sin fertilizante (SIN FERT) con 0.97 g (Tabla 11).

**Tabla 11.** Promedios del peso de los tres cortes de los pastos.

Tratamientos	Peso seco a 60 °C		
	gr por maceta		
	1 <sup>er</sup> corte	2 <sup>o</sup> corte	3 <sup>er</sup> corte
N1P1	0.75	1.40	1.15
N2P2	0.68	1.41	1.12
N0P0	0.70	1.34	1.04
N1P2	<b>0.47</b>	1.33	1.02
N0P2	0.76	1.46	1.20
N2P1	0.70	1.41	1.17
N0P1	0.82	1.38	1.11
C	<b>1.12</b>	<b>2.07</b>	<b>1.26</b>
N1P0	0.77	1.09	1.09
N2P0	0.79	1.35	1.21
SIN FERT	0.64	<b>1.14</b>	<b>0.97</b>





**Figura 7.** Tendencia de crecimiento del pasto comparando todos los tratamientos

Las pruebas estadísticas encontraron diferencias en el primer corte con una  $p=0.009$ , para el segundo corte  $p=0.008$ , en cuanto al tercer corte ya no existen diferencias estadísticas con una  $p=0.1$ .

**Tabla 12.** Diferencias estadísticas entre los tratamientos para el primer y segundo corte

tratamientos	1 <sup>er</sup> corte	2 <sup>do</sup> corte
N1P1 <b>a</b>	<b>a</b> b, d, h, k	<b>a</b> e, h, i, k
N2P2 <b>b</b>	<b>b</b> d, e, g, h, i, j	<b>b</b> c, h, i, k
N0P0 <b>c</b>	<b>c</b> d, g, h, i, j	<b>c</b> e, f, h, i, k
N1P2 <b>d</b>	<b>d</b> e, f, g, h, i, j	<b>d</b> e, h, i, k
N0P2 <b>e</b>	<b>e</b> h, k	<b>e</b> g, h, k
N2P1 <b>f</b>	<b>f</b> g, h, i, j, k	<b>f</b> j, i, h, g, k
N0P1 <b>g</b>	<b>g</b> h, k,	<b>g</b> k, i, h
C <b>h</b>	<b>h</b> i, j, k	<b>h</b> k, j
N1P0 <b>i</b>	<b>i</b> k	<b>i</b> k, j
N2P0 <b>j</b>	<b>j</b> k	<b>j</b> k
SIN FERT <b>k</b>	<b>k</b>	<b>k</b>

## CAPITULO IV

### Discusión

#### 4.1. Precomposteo

En la fase de pre-composteo la pulpa de café tuvo un comportamiento en donde se identifican tres fases: mesófila, termófila y de enfriamiento Figura 2; la primera fase corresponde a la mesófila que fue del día 1 al día 6 en donde los microorganismos como hongos y bacterias se multiplicaron, obteniéndose como consecuencia un aumento paulatino de temperatura. Labrador (1996) comenta al respecto, la fase Mesófila corresponde a las primeras etapas del composteo donde las bacterias y hongos aumentan provocando que los componentes solubles sean atacados, provocando un aumento paulatino de temperatura.

Este aumento de temperatura correspondió el inicio de la fase termófila que fue desde el día 7 hasta el día 13, durante esta fase la mayoría de los componentes de fácil degradación como los azúcares, almidones y grasas son consumidos por los microorganismos, hasta alcanzar un máximo de temperatura que correspondió con el día 13 con 46.6 °C. Labrador (1996) denomina esto como fase Termófila, la cual la temperatura tiene un máximo provocando una sucesión de microorganismos, esta temperatura debe mantenerse por unos días para poder matar microorganismos patógenos y que los polímeros puedan ser atacados.

Después de este día se inició la fase de enfriamiento en donde los microorganismos termófilos comienzan a morir por falta de humedad quedando mayoritariamente materiales celulósicos y hemicelulósicos. El precomposteo continuó hasta que la temperatura bajó a casi la temperatura ambiente que

ocurrió a partir del día catorce la cual corresponde al inicio de la etapa de enfriamiento. Por ultimo la etapa de enfriamiento, la temperatura de la pila baja hasta casi alcanzar la ambiental y los microorganismos presentes decrecen (Labrador 1996).

Durante el precomposteo, la materia orgánica cambia sus características físicas y químicas, muchas veces se producen compuestos tóxicos o condiciones que las lombrices no toleran como un pH muy básico o muy ácido, por eso fue necesario realizar la prueba P-50L (Ferruzi 1994) de adaptabilidad al sustrato, esta prueba demostró que el sustrato no era toxico, que el pH de 8.8, la humedad de 62.3% y la temperatura no causaba ningún efecto negativo en las lombrices ya que las 50 lombrices que se agregaron 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. Número de lombrices y huevos**

El crecimiento poblacional de *Eisenia andrei* a los 92 días fue en general bueno ya que de las 150 lombrices adultas introducidas por tratamiento, se obtuvo al final un incremento de entre 6784 y 12544%, tomando en cuenta que se contaron lombrices adultas y juveniles (Anexo 2- I, J).

El aunque el pH de la pulpa de café fue por arriba de 8 en todos los tratamientos, este no fue un factor limitante en el desarrollo de las lombrices, ya que ningún tratamiento llego hasta pH de 9.5, donde las lombrices ya son afectadas llegando a causar la muerte (Santamaría *et al.*, 2002).

#### **4.3. Parámetros físicos y químicos**

A continuación se discutirán los parámetros medidos durante el vermicompostaje así también el desarrollo del pasto durante los tres cortes a los que sometió.

#### **4.3.1. Humedad**

Se encontró que para los dos tiempos de toma de muestra día 46 (T2) y 92 (T3), todos los tratamientos presentaron una humedad de alrededor del 80% como se ve en la Tabla 7. Era indispensable haber mantenido la humedad en esos rangos para un buen desarrollo de las lombrices, ya que para que puedan tener un buen intercambio gaseoso, necesitan como medio el H<sub>2</sub>O, ya que lo realizan a través de la piel, Santamaría *et al.*, (2002) y Martínez (1996) comentan, la humedad es considerada como un factor importante, por que con la humedad en sus paredes corporales realizan la respiración y a falta de agua pueden no tener un buen desempeño.

#### **4.3.2. pH**

El análisis estadístico no mostró diferencias entre los tratamientos. Se observa que todos los tratamientos presentaron un pH básico (Tabla 7), esto se debe a la cantidad de sales que se liberaron de la pulpa de café durante el vermicomposteo. Santamaría *et al.*, (2001) vermicompostearon y compostearon estiércol con paja de avena y al medir pH obtuvo valores de entre 8.5 y 8.6 al final de los procesos, explicando que estos valores se dieron por las concentraciones de sales y su alcalinidad, posteriormente Santamaría *et al.*, (2002) vermicompostearon 6 diferentes tipos de sustratos y al medir pH encontraron que todos eran superiores a 8.3 y sobretodo aquellos que tenían estiércol el pH aumento más. Es por ello que en el presente trabajo el aumento de pH puede haber influenciado el tipo de material utilizado, la cantidad de NH<sub>3</sub>, magnesio, sodio y potasio liberados durante el vermicompostaje de los tratamientos incluso en el compostaje que presento C

### **4.3.3. Carbono orgánico total**

El COT en T2 las diferencia entre N2P2 y C puede deberse a que hubo mayor degradación de la pulpa en C, que presentó una actividad por los microorganismos, en cambio N2P2 por ser un tratamiento con dosis altas de fertilizante y lombrices los microorganismos empezaron a alimentarse del fertilizante y les tomó tiempo iniciar la degradación la pulpa de café (Tabla 8). Para T3 (día 92) no hay diferencias estadísticas. Se observó que después del pre-composteo el COT era de 580 g kg<sup>-1</sup>, y disminuyó al final con valores de 401.5 a 409.4 g kg<sup>-1</sup>. La disminución de COT está asociada a la actividad aeróbica biológica (Cooperband *et al.*, 2003). Santamaría *et al.*, (2001) comenta que la evolución del CO<sub>2</sub> esta relacionada con el contenido de carbono orgánico del sustrato que se compostea por cualquier técnica (compostaje o vermicompostaje), también Eggen y Vethe (2001) encuentran una relación entre la respiración microbiana y el contenido de carbono, conforme va pasando el proceso el contenido de COT va disminuyendo.

El contenido de COT tuvo una mayor disminución en los primeros 46 días (T2), los cuales correspondió a la primera mitad del vermicomposteo, posteriormente el COT se mantuvo casi constante en la segunda mitad del vermicomposteo (T3); esto indicó que la mayor actividad biológica ocurrió durante los primeros 46 días, posterior a este tiempo bajo la actividad, debido a que el pH del sustrato aumento por arriba de 9 para algunos tratamientos, siendo esto una condición crítica para el desarrollo óptimo de los microorganismos.

### **4.3.4 Nitrógeno total**

Se observó que después el pre-composteo el contenido de N total fue de 30 g kg<sup>-1</sup>; y en todos los tratamientos aumentó para el día 46 (T2), pero al final del vermicompostaje (T3) mayoría disminuyó o se mantuvo constante, esto puede

deberse a que el crecimiento poblacional de las lombrices aumentó conforme fue avanzando el vermicompostaje, además no se les dio nuevo alimento y empezaron a utilizar este elemento para su propio metabolismo. Como lo demostró Orozco (1996) la población de lombrices fue tan grande que el contenido de Nitrógeno total disminuyó durante el vermicompostaje atribuyéndolo a que las lombrices empezaron a utilizar este recurso para su propio metabolismo. Santamaría *et al.*, (2001) relacionan la pérdida de nitrógeno total al pH, al vermicompostear y compostear estiércol de conejo con residuos de poda, encontró que en los dos procesos el pH aumento hasta 8.6, teniendo pérdidas de nitrógeno total y reportando a Irisson *et al.*, (1999) que vermicomposteo pulpa de café, el contenido de nitrógeno total aumentó y el pH alcanzó la neutralidad. Por lo que el pH alto y el crecimiento poblacional de las lombrices contribuyeron a que los contenidos de nitrógeno bajaran o se mantuvieran constantes al final del proceso y por lo tanto pocos son los tratamientos que aumentaron su contenido N1P1, N2P1 y N0P1 (Tabla 8).

También se encontró que las diferentes dosis de N agregadas al inicio se perdieron durante el vermicompostaje (Tabla 8), las muestras analizadas del día 46 (T2) mostraron que las dosis de los fertilizantes agregados se habían perdido. Esto se atribuye a que los microorganismos descomponedores, que tomaron el nitrógeno los primeros días poco después de la inoculación del fertilizante y la utilizaron por ser una fuente más disponible, al acabársela empezaron a utilizar los nutrientes de la pulpa de café.

#### **4.3.5. Fósforo disponible**

El fósforo disponible en T2 (día 46) la estadística muestra diferencias entre el valor mas alto N1P1 y los mas bajos N2P2, N2P1, pero no existe una relación con las dosis de fósforo agregadas. Para el día 92 (T3) no se encontraron diferencias estadísticas; sin embargo se aprecia en la Figura 5 la tendencia a disminuir el contenido de fósforo durante el vermicompostaje, esta disminución puede ser atribuida a concentraciones altas de calcio en el medio, debido a que

este lo fija inmovilizándolo y ya no esta disponible para las plantas, como lo cita Fuentes (1989): la solubilidad del fósforo está condicionada fundamentalmente por pH y presencia de iones como la del calcio y magnesio. Orozco *et al.*, (1996) vermicomposteando pulpa de café encontró que el tratamiento con pH mas alto presento el valor mas bajo de fósforo disponible atribuyéndolo directamente al pH. De igual forma en el presente trabajo el tratamiento que más contenido de P disponible tuvo al final fue C, aunque en general el fósforo disminuyó por lo descrito anteriormente, C tuvo menor cantidad de calcio disponible como se ve en la Figura 5, en cambio los nueve tratamientos al aumentar el nivel de calcio durante el vermicompostaje disminuye también la cantidad de fósforo,

#### **4.3.6. Calcio, magnesio y sodio disponibles**

Aunque estadísticamente todos los tratamientos son iguales en los dos tiempos, se observa en la Figura 5 que el calcio disponible de todos los tratamientos aumentaron excepto en C donde disminuyó; esto se atribuye a que las lombrices segregan carbonatos de calcio para neutralizar los ácidos que se van comiendo por lo que C al no tener lombrices disminuyó el contenido de calcio conforme fue avanzando el proceso (Quintero, 2002)

Para el Magnesio disponible en T2 las diferencias estadísticas de N1P1 entre N1P2, N2P1 y C indicando que hubo una mayor liberación de  $Mg^{2+}$  por acción de las lombrices en N1P1 que por los otros tres que son los que presentaron los valores más bajos. Para el final del vermicompostaje T3 la diferencia entre C y N0P1; siendo C el tratamiento con el menor contenido de magnesio ya que la descomposición fue más lenta (Tabla 9). Conforme avanza el vermicompostaje todos los tratamientos aumentaron las formas disponibles del magnesio como se puede ver en la Figura 5 lo que no ocurrió en C. Orozco *et al.*, (1996) encontró que al vermicompostear con *Eisenia fetida* el procesamiento de la pulpa de café del Ca y Mg fueron transformando a formas mas disponibles para las plantas, estos cationes incrementa en la vermicomposta comparada con la pulpa sin vermicompostear



En sodio intercambiable no se encontraron diferencias en T2 (día 46), pero al final del vermicompostaje las diferencias entre los siguientes tratamientos N1P2, N2P1 con C, siendo este el de menor cantidad de Na disponible (Tabla 9); este tratamiento la transformación de este material fue lenta, por lo tanto la cantidad de Na intercambiable fue menor en comparación con N2P1, N1P2 y los demás tratamientos que si presentaron una descomposición por acción de las lombrices. Irrison *et al.*, (1999) compararon diferentes lombrices entre ellas *Eisenia andrei* a vermicompostear pulpa de café, encontraron que todas las especies permiten mayor concentración de los nutrimentos entre estos el sodio que son necesarios para las plantas. Los elementos Mg y Na se van liberando en formas disponibles por la transformación y rompimiento de moléculas complejas a moléculas mas simples, Almendros (2002) comenta que hay una evolución en la concentración de nutrientes mayoritarios en formas asimilables en función del tiempo, (Figura 5), en donde Mg y Na aumentaron sus contenidos en cuanto al tiempo, pero C en ambos casos no, por que su actividad sigue siendo muy lenta

#### **4.4. Parámetros enzimáticos**

La actividad ureásica durante el tiempo 2 mostró que las diferencias estadísticas resultantes no existe relación entre las dosis de nitrógeno y la actividad ureásica, puesto que el fertilizante agregado en dosis altas y bajas, no aceleró la mineralización de la pulpa de café (Tabla 9), se esperaba que los tratamientos con dosis altas fueran los que presentaran mayor actividad durante el vermicompostaje sin embargo esto no ocurrió. El comportamiento en todos los tratamientos de la actividad ureásica durante los 46 días fue azaroso ya que la mayor o menor actividad no dependió de la cantidad del fertilizante, ya que para ese tiempo el efecto del fertilizante se perdió

En T3 (92 días), no se encontraron diferencias estadísticas. Todos los tratamientos tuvieron valores en promedio semejantes, la actividad enzimática

fue casi constante en todos los tratamientos incluso en C (Tabla 10). Se observa que en todos los tratamientos la enzima aumentó su actividad durante el vermicompostaje, ya que la ureasa es una exoenzima y están activas aun cuando las bacterias han muerto, por lo que la actividad no esta directamente relacionada con la actividad de los microorganismos vivos. Tognetti *et al.*, (2005).

Sin embargo los valores obtenidos para la pulpa de café no coinciden con los obtenidos por Quintero *et al.*, (2003) quienes vermicompostearon paja de avena donde reportan valores para la paja molida de  $440 \mu\text{g g}^{-1} \text{N-NH}_4 \text{dwt } 2\text{h}^{-1}$  (día 92) y para paja picada  $400 \mu\text{g g}^{-1} \text{N-NH}_4 \text{dwt } 2\text{h}^{-1}$ , estos valores están por arriba de los obtenidos en la pulpa de café (Tabla 10). La baja actividad en la pulpa de café se atribuye a que esta enzima tiene una actividad óptima a pH neutro de entre 6-7 Kassen y Nannipieri (1995) y los valores de pH en todos los tratamientos fueron aumentando hasta tener valores superiores a 8 llegando alrededor de 9 (Tabla 6) por lo que la actividad fue menor, esto pudiera estar indicando que el material se transformo lentamente pero gradualmente a lo largo del tiempo.

En cuanto a la actividad enzimática de fosfatasa no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos lo que indica que no hubo efecto del fertilizante en la actividad para estos días; sin embargo se observó que la actividad aumentó durante el vermicompostaje que duró 92 días (Figura 6), la actividad de la fosfatasa alcalina es mayor a pH entre 9 y 10 Kassen y Nannipieri (1995), y como el pH en todos los tratamientos fueron superiores a 8 a los 46 días y en el día 92 aumentaron teniendo valores alrededor de 9, ayudó a incrementar la actividad de la fosfatasa. Como lo menciona Quintero *et al.*, (2003) al vermicompostear paja de avena picada y molida encontraron que las actividades de las enzimas fosfatasa alcalina y ácida fueron mayores en fosfatasa alcalina que en la ácida durante todo el proceso de vermicompostaje que duró 148 días, esto lo atribuyó al incremento del pH de sus tratamientos.

La fosfatasa al ser una enzima extracelular incrementa su actividad conforme transcurre el proceso de vermicompostaje, por que los microorganismos sintetizan esta enzima para la degradación de materiales orgánicos en este caso la pulpa de café. Tiquia *et al.*, (2002) al evaluar la actividad de la fosfatasa ácida y alcalina, composteando desechos de jardín, encontraron una gran actividad durante todo el proceso que duró 91 días y atribuyeron esta actividad a la alta cantidad de nutrientes y materia orgánica en los desechos, y a que la actividad de las enzimas extracelulares generalmente incrementa conforme avanza el compostaje, indicando que los microorganismos son capaces de sintetizar las enzimas requeridas para la degradación de sustancias poliméricas a fragmentos mas pequeños para continuar su degradación, lo que coincide en el presente trabajo y con Tognetti *et al.*, (2005), la actividad de la fosfatasa de la pulpa de café también se incremento durante el vermicompostaje y compostaje, pero se observa que en los 10 tratamientos durante el vermicompostaje hubo valores por arriba de los reportados (Tabla 10) por Quintero *et al.*, (2003) con 2000 y 1790  $\mu\text{g g}^{-1}$  p-nitrofenol  $\text{dwt h}^{-1}$ .

#### **4.5. Desarrollo del pasto *Lolium perenne* L.**

En el primer corte el tratamiento que más biomasa se obtuvo en promedio fue C y el de menor producción de biomasa fue N1P2 (Tabla 11), en cuanto a la prueba estadística solo detectó dos diferencias, el valor más alto y el más bajo que tienen diferencias con todos los tratamientos, como se puede observar en la Tabla 12. (Anexo 2- Q, R, S, T).

El segundo corte en el que mas biomasa se desarrolló en todos los tratamientos, y C fue el tratamiento que mayor biomasa produjo de todos los tratamientos, en cuanto al tratamiento SIN FERT es el que menor rendimiento tuvo en el pasto. La prueba estadística detectó estas dos diferencias (Anexo 2- U, V)

Para el último corte ya no hay diferencias estadísticas y el rendimiento del pasto bajó en todos los tratamientos, pero sin llegar a los pesos del primer corte. Aunque no hay diferencias estadísticas se puede observar en la Tabla 11 que C es el tratamiento con mayor peso y SIN FERT el de menor rendimiento. (Anexo 2- W, X, Y, Z)

Se puede observar que si hay un efecto de las vermicompostas y composta sobre el desarrollo del pasto, ya que el testigo (SIN FERT) tuvo el menor rendimiento durante los cortes, como lo indica la estadística (Tabla 12), el rendimiento de estos tratamientos con vermicomposta y el tratamiento con composta, coinciden con los valores obtenidos por Velasco (2001) y Zaragoza (2000), ellos obtuvieron una producción promedio de 1.6 g MS kg (3200-3273 kg MS ha<sup>-1</sup>).

El desarrollo del pasto en los tratamientos con vermicompostas se encontró que no existe un efecto significativo sobre las diferentes dosis, ya que los fertilizantes agregados sobre las vermicompostas se perdió como se observa en la Figura 4, así como las bases y la actividad enzimática no se encontraron diferencias estadísticas ( Figuras 5 y 6)

En cuanto al tratamiento C (composta), dio al pasto el mejor desarrollo (Figura 7). Esto debido a que la composta no alcanzó a estabilizarse durante el tiempo que duró el diseño experimental, ocasionando que al agregarse al suelo la composta reaccionara de nuevo al reiniciarse su actividad biológica, produciendo una liberación de nutrientes más rápida que las vermicompostas, y los pastos pudieron asimilar mejor éstos con respecto a los de los otros tratamientos. Almendros (2002) comenta que la respuesta vegetal a lo largo del ciclo de la planta y la evolución del compost en el suelo, cuando está maduro tiende a incrementar menos la producción vegetal en función del tiempo (por el consumo de nutrientes) que el compost inmaduro (se van transformando en el suelo).

## CAPITULO V

### Conclusiones.

- N-total y P disponible no se encontraron diferencias entre los tratamientos en las dosis agregadas ya que se consumieron por la actividad biológica y no tuvieron efecto significativo sobre la madurez y el desarrollo de los pastos, por lo que se rechaza la hipótesis planteada.
- Por lo que la vermicomposta de pulpa de café utilizando a *Eisenia andrei* Bouché, fue menos reactiva al aplicarla al pasto *Lolium perenne* L que la composta
- El COT disminuyó durante el proceso de vermicompostaje.
- En cuanto al Ca, Mg y Na disponibles aumentaron en los tratamientos vermicomposteados por la mineralización de la pulpa de café
- Los valores de pH en las vermicompostas fueron altos, sin embargo normales para la pulpa de café.
- La actividad enzimática de la ureasa y fosfatasa no fue indicativa de la madurez de la vermicomposta de pulpa de café.
- La pulpa de café fue un buen medio para el crecimiento y desarrollo de la lombriz *Eisenia andrei* Bouche

**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 éstas varían en periodos cortos de tiempo.
- Es necesario tener una serie de repeticiones mas numerosa a las empleadas para el número de tratamientos utilizados, para poder tener un mejor resultado estadístico.

## Anexo 1

La descripción en campo del perfil se encuentra descrita en la Tabla 16. El terreno es muy pedregoso y relieve cóncavo, y poca materia orgánica. Los resultados físico-químicos del perfil se encuentran representados en las tablas 17 y 18. El suelo fue descrito como Cambisol eutrico esqueletico (WRB).

**.Tabla 16.** Descripción en campo del perfil

Horizontes	Descripción
Ap 0-20 cm	La transición a la siguiente capa es media y horizontal, con condición seca, pH 7, no reacciona al NaF y HCl, Si reacciona con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 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 20 a 55cm	La transición a la siguiente capa es media y horizontal, condición seca, con pH 7, no reacciona al NaF ni el HCl. Si reacciona con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 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 55 a 103 cm	La transición a la siguiente capa es media y horizontal, condición ligeramente húmedo, con pH 6, no reacciona al NaF ni al HCl. Si reacciona con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> por lo que hay presencia de materia orgánica. La textura es arenosa, 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 103 a 140 cm	La transición a la siguiente capa es media y horizontal, condición ligeramente húmedo, con pH 7, no reacciona con NaF ni con HCl. Si reacciona con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 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



Perfil San Perdo Yeoixtlauaca



Foto panorámica de la zona donde se realizo el perfil



**tabla 17.** Resultados físicos y químicos del perfil

Horizonte	Color en seco	Textura	%				D.A. gr/cm <sup>3</sup>	D.R .gr/cm <sup>3</sup>	pH 1:2.5 H <sub>2</sub> O	M.O. C		C.E. ds m <sup>-3</sup>
			Arena	Limo	Arcilla	Poros				g kg <sup>-1</sup>		
AP 0-20 cm	7.5 YR 4/4	Arena migajosa	85.5	11.0	3.6	52	1.5	2.9	7	115	88	0.24
B 20-55 cm	7.5 YR 4/4	Migajón arcillo arenoso	63.6	18.2	18.2	51	1.3	2.5	7	81	47	0.31
C 55-103 cm	5 YR 4/4	Arena migajosa	89.1	3.7	7.3	63	1.5	2.3	6	27	16	0.02
AB 103-140 cm	5 YR 3/4	Migajon arenoso	74.6	16.4	9.0	49	1.3	2.6	7.6	38	20	0.11

**Tabla 18.** Resultados químicos de perfil

Horizonte	Ca <sup>++</sup> c mol/ kg <sup>-1</sup>	Mg <sup>++</sup> c mol/ kg <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> c mol/ kg <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> c mol/ kg <sup>-1</sup>	C.I.C. c mol/ kg <sup>-1</sup>	% SB
Ap 0-20 cm	5.5	4.0	5.4	0.38	10.34	100.77
B 20-55 cm	8.5	5.0	5.0	0.26	18.48	101.46
C 55-103 cm	6.5	4.0	5.0	0.23	15.9	98.93
AB 103-140 cm	7.0	3.0	0.54	0.26	15.30	70.58

## **Anexo 2**



**A**



**B**



**C**



**D**



**E**



**F**



**G**



**H**



**I**



**J**



**K**



**L**



M



N



Ñ



O



P



Q



R



S



T



U



V



W



**X**



**Y**



**Z**

**A-** cereza de la planta de café. **B-** pulpa de café. **C-** pulpa de café utilizada para el pre-compostaje. **D-** sensores y tubo de aireación en el pre-compostaje. **E-** recolección de las lombrices en el Colegio de Postgraduados. **F-** pulpa de café en caja de uncel para el vermicompostaje. **G** y **H-** distribución espacial de los tratamientos para vermicompostaje. **I** y **J-** lombrices en la pulpa de café durante el vermicompostaje. **K-** maceta con 1kg de suelo. **L-** maceta con el suelo y 20g de vermicomposta. **M-** semillas de *Lolium perenne* L. **N** y **Ñ** – siembra. **O-** germinación de las semillas. **P-** aclareo a 11 plántulas por maceta. **Q** y **R-** primer corte. **S** y **T-** corte de los pastos. **U** y **V-** segundo corte. **W, X, Y-** tercer corte. **Z-** preparación del follaje de los pastos para ser pesado.

## Bibliografía

- Almendros, M G. 2002. La materia orgánica del suelo y su función en los agrosistemas. Resumen de Curso-Diplomado Internacional de Edafología "Nicolás Aguilera". UNAM.
- Aranda, D, E. 1988. La utilización de Lombrices en la Transformación de la Pulpa de Café. Departamento de Fitopatología y Entomología, INMECAFE, Xalapa, Veracruz
- Ardila, D, A. 1999. Beneficio ecológico del café. Memorias del Simposio Internacional del Café y del Cacao. SUBCAFE 99. Santiago de Cuba.
- Baver, L. A. Garner, W.R. 1980. Física de suelos. UTEHA, México. 529 pp.
- Bellaport, V, C. 1998. Agricultura Biológica en Equilibrio, con la Agricultura Química, Fertilización Natural. Aedos Barcelona.
- Black, C. A. Evans, D. D. White, L.E. Ensinger, L. E. Clark, F. E. 1965. Methods of soil analysis, part chemical and microbiological properties. Numer 9 in the series Agronomy. American Society of Agronomy. Wisconsin U.S.A. 1572 pp.
- Bollo, T, E. 1999. Lombricultura, una alternativa para el reciclaje. Quito Ecuador
- Bouché, M. 1984. Los gusanos de tierra. Mundo Científico. Vol. 40, no. 4 94-103
- 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.
- Cepeda, D. 1991. Química de Suelos. Trillas, México.
- Coste, R. 1975. El Café. 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. EUA.
- Cooperband, L. R. Stone, A. G. Fryda, M. R. Ravel, J. L. 2003. Relating compost measures of stability and maturity to plant growth. *Compost Science & 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.
- Duthil, J. 1989. Producción de forrajes. 4<sup>a</sup> edición, Editorial Mundi-Prensa.
- Eggen, T. Vethe, O. 2001. Stability Indices For Different Composts. *Compost Science & Utilization*. 9 (1):19-26.
- Felton, G., Carr, C. Prigge. Bouwkamp, J. 2004. Nitrogen and phosphorus dynamics in composted yard trimmings and broiler litter. *Compost Science & Utilization*. 12 (4): 349-355,
- Ferruzi, C. 1994. Manual de Lombricultura. Ediciones Mundi- Prensa España.
- Fontavine, V. Tortarolo, F. Arrigo, N. 2002. Evaluation of parametrs during composting of two contrasting raw materials. *Compost Science & Utilization*. 12(3): 268-272
- Frederickson, J; Butt, R.K; Morris, M. R. 1997. Combining vermiculture with traditional green wastes composting system. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 29:725-730.
- Fuentes, J. 1989. El suelo y los fertilizantes. 3<sup>a</sup> ed. Mundi Prensa España.
- Fuller, H,J; Carothers Z,B; Payne, W, W; Balbach, M, K. 1974. Botánica. Editorial Interamericana.
- García, C .N. E. 2000. Lombricultura alternativa en la agricultura sustentable. En Martínez C. Ramírez F. *Lombricultura Técnica Mexicana*

- Guerrero, A. 1992. Cultivos herbáceos extensivos. 5ª edición. Editorial Mundi-Prensa España.
- Gros, A. 1976. Abonos, guía práctica para su fertilización. Mundi- Prensa España.
- 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 Hermosillo Sonora. Boletín no. 13
- Irisson, N. S. Barois, I. Aranda, D. E. 1999. Balance y flujo de nutrimentos durante el proceso de vermicompostaje de la pulpa de café. Lombricultura y abonos orgánicos, Simposium Internacional y 1ª Reunión Nacional. UACH y Colegio de Postgraduados.
- Jackson, M. L. Análisis químicos de suelos. Omega, Barcelona. 662 pp.
- Kononova, M. M. 1982. Materia orgánica del suelo. Oikos Tau España.
- Kassen, A. Nannipieri, P. 1995. Methods in applied soil, microbiology and biochemistry. Academic Press L. U,K.
- Labrador, M. J. 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Mundi Prensa España
- Martínez, C, C. 1996. Potencial de la Lombricultura. Lombricultura Técnica Mexicana México.
- Martínez, C. C. 2000. Lombricultura, alternativa en la agricultura sustentable. En Lombricultura y agricultura sustentable. Martínez C. Ramírez F(comp.) Lombricultura, Técnica Mexicana, pp 135-153.
- 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.
- Los municipios de Oaxaca. Colección enciclopédica de los municipios de México. 1998 Secretaría de Gobierno y Gobierno del estado de Oaxaca
- Navarro, P. Moral, H. Gómez, L. Mataix, B. 1995. Residuos orgánicos y agricultura. Universidad de Alicante. España.



- 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.
- Pérez, B. Ma. T. 2001 Respuesta productiva y dinámica de rebrote del Ballico perenne a diferentes alturas de corte. Tesis de Maestría. Montecillos Texcoco Edo. de México
- Pérez, S. J. 1997. Buscando el origen de los chatinos Nopala. Carteles editores México.
- Porta, C, J. López- Acevedo, R. M. Roquero, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa España.
- Quintero, L. R. 2002. Formación de humus y dinámica enzimática en el proceso de vermicompostaje. Tesis doctoral. Montecillo Texcoco, Edo. de México
- Quintero, L, R; Ferrera-Cerrato, R; Etchevers, J; García, N; Rodríguez, 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 México.
- Romero, L, R. 2000. Agricultura orgánica. Elaboración y aplicación de abonos orgánicos. En Martínez C, Ramírez F. Lombricultura y Agricultura Sustentable. Lombricultura, Técnica Mexicana. pp. 125-134
- Romero, P. D. 1999. Crecimiento en biomasa microbiana de *Eisenia andrei* en combinación de pulpa y asiento de café. Lombricultura y abonos orgánicos. Simposio Internacional y Primera Reunión Nacional. UACH Colegio de Postgraduados, Montecillos México
- Rynk, Robert. 2003 The art in the Science of compost maturity. Compost Science & Utilization. 11 (2): 94-95

- 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. *Agrociencia* vol. 35 (4)
- Santamaría, R, S; Ferrera-Cerrato, R. 2002. Dinámica poblacional de *Eisenia andrei* ( Bouche 1972) en diferentes residuos orgánicos. *Terra* vol. 20 (3).
- El Sector Alimentario en México. 2002. INEGI
- Tabatabai, A. 1994. *Methods of Soil Analysis*. SSSA. Soil Science Society of America. Madison Wis.
- Thompson, J. R. 1979. *Introducción a la tecnología de semillas*. Acribia, México.
- Tiquia, M. S. Wan, H.C. Tam, F.Y. 2002. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. *Compost science & utilization*. Vol. 10, No. 2. 150-161.
- TMECC (Draft) 2001. Test methods for the examination of composting and compost. Capitulo 4, the composting council research and education foundation.
- 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, Z. Ma. E. 2001. Dinámica del crecimiento, rendimiento, y calidad de praderas de *Lolium perenne* L. y *Dactylis glomerata* L. en respuesta a la defoliación. Tesis doctoral. Montecillo Texcoco Edo. de México
- Wayne, W. D. 2004. *Bioestadística*. Limusa Wiley, México. pp 755.
- Zaragoza, E. J. A. 2000. Crecimiento y acumulación de forraje de los pastos Ballico y Ovillo a diferentes frecuencias de corte. Tesis de Maestría. Montecillo estado de México.
- WRB 1999, Base Referencial Mundial del Recurso del Suelo. FAO, ISRIC, SICS. 99 pp

- Los municipios de Puebla. Colección: Enciclopedia de los Municipios de México. Centro estatal de estudios municipales de Puebla Edit Secretaría de Gobernación y Gobierno del estado de Puebla.