

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

**“Evaluación de 5 frecuencias de volteo para la producción de compost en la finca Se-Chaj, municipio de Tactic, Alta Verapaz”.**

**TESIS**  
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA  
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

**POR**

**LARRY PAUL FUENTES**

En el acto de investidura como

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**EN**

**SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA  
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO**

Guatemala, julio del 2003

DL  
01  
4(2009)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M.V. Luis Alfonso Leal Monterroso

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr.	Ariel Abderraman Ortiz López
SECRETARIO	Ing. Agr.	Pedro Peláez Reyes
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr.	Alfredo Itzep Manuel
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr.	Manuel de Jesús Martínez Ovalle
VOCAL TERCERO	Ing. Agr.	Erberto Raül Alfaro Ortíz
VOCAL CUARTO	Br.	Luis Antonio Raguar Pirique
VOCAL QUINTO	Br.	Juan Manuel Corea Ochoa



Guatemala, julio del 2003

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Distinguidos miembros:

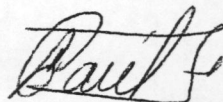
De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

**“Evaluación de 5 frecuencias de volteo para la producción de compost en la finca Se-Chaj, municipio de Tactic, Alta Verapaz”.**

Presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento.

Atentamente



LARRY PAUL FUENTES

## ACTO QUE DEDICO

A

DIOS: Por la fuerza y las oportunidades de volver a empezar.

MIS PADRES: Ruth, Virginia y Larry; por darme todo para poder lograr este y otros triunfos.

MI HIJO: Larry; Quiero darte frutos, granos y vegetales sanos, que sean obra del trabajo de mis manos.

MI ESPOSA: Bárbara; Si te quiero es porque sos, mi amor mi cómplice y todo.

MI TIO: Irving; Del arte de las cenizas se aprenderá el oficio del fuego.

MI FAMILIA: A todos; Por el apoyo, confianza y motivación.

LOS VECINOS Por su amistad y por la lucha por un mundo rural mejor.

MIS AMIGOS: Por su amistad sincera y sin condiciones.

TESIS QUE DEDICO

A:

DIOS

GUATEMALA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FAUSAC

LICEO GUATEMALA

LOS CAMPESINOS DE GUATEMALA Y EL MUNDO



## AGRADECIMIENTOS

A:

- Vecinos Mundiales Guatemala, por el apoyo económico y logístico para la elaboración de este documento.
- la familia Castañeda por la dedicación para perfeccionar este documento y por la solidaridad y amistad hacia mi persona.
- Don Ricardo Juárez, quien colaboro con la ejecución de la investigación.

## INDICE GENERAL

	Página
Índice de cuadros	I
Índice de figuras	II
Resumen	III
1. Introducción	1
2. Planteamiento del problema	3
3. Marco teórico	4
3.1. Marco conceptual	4
3.1.1. Compost, materia orgánica y humus.	4
3.1.2. Formas de producción de compost	6
3.1.3. El proceso de compostaje	7
3.1.3.1. Factores que inciden en el proceso	7
3.1.3.2. Fases del proceso	9
3.1.3.3. Períodos del proceso	10
3.1.3.4. Relación entre las fases y los períodos del proceso	10
3.1.4. Calidad del compost	11
3.1.4.1. Variables utilizadas en la medición de calidad	11
3.2. Marco referencial	20
3.2.1. Localización	20
3.2.2. Condiciones climáticas	20
3.2.3. Zona de vida	20
3.2.4. Suelos	20
4. Objetivos	21
4.1. General	21
4.2. Específicos	21
5. Hipótesis	22
6. Metodología	23
6.1. Material experimental	23
6.2. Diseño experimental	23
6.3. Distribución del experimento	23
6.4. Tratamientos	24
6.5. Descripción de la Unidad Experimental	24
6.6. Manejo del experimento	24
6.7. Variables respuesta	26
6.7.1. Variables cuantitativas continuas	26
6.7.2. Variables cuantitativas discretas	27

6.7.3.	Variables cualitativas binomiales	28
6.8.	Análisis de la información	28
6.8.1.	Análisis de gráficas	28
6.8.2.	Análisis estadístico	29
6.8.3.	Análisis económico	31
7.	Resultados	32
7.1.	Variables cuantitativas continuas	32
7.1.1.	Porcentaje de germinación	32
7.1.2.	Temperatura	35
7.1.3.	pH	40
7.2.	Variables cuantitativas discretas	43
7.2.1.	Amonios	43
7.2.2.	Nitratos	46
7.3.	Variables cualitativas binomiales	50
7.3.1.	Nitritos	50
7.3.2.	Ácido sulfhídrico	51
7.4.	Análisis de costos	52
8.	Conclusiones	53
9.	Recomendaciones	55
10.	Bibliografía	56
11.	Anexos	59



## INDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Clasificación de fitotoxicidad de compost para germinación	12
Cuadro 2. Rangos óptimos de temperatura	13
Cuadro 3. Rangos óptimos de pH	13
Cuadro 4. Clasificación con base en cantidad de amonios	15
Cuadro 5. Clasificación con base en cantidad de nitritos	16
Cuadro 6. Clasificación con base en cantidad de nitratos	17
Cuadro 7. Clasificación con base en cantidad de ácido sulfhídrico	19
Cuadro 8. Descripción y código de los tratamientos	24
Cuadro 9. Materiales usados en el experimento.	25
Cuadro 10. ANDEVA de variable porcentaje de germinación	33
Cuadro 11. Prueba de Tukey para variable porcentaje de germinación	33
Cuadro 12. Prueba de Dunnet para variable porcentaje de germinación.	34
Cuadro 13. Resultados de variable temperatura a los 20 días	36
Cuadro 14. ANDEVA de variable temperatura a los 20 días	37
Cuadro 15. Prueba de Tukey para variable temperatura a los 20 días	37
Cuadro 16. Prueba de Dunnet para variable temperatura a los 20 días.	38
Cuadro 17. Resultados de variable temperatura a los 42 días	38
Cuadro 18. Resultados de variable temperatura a los 42 días	39
Cuadro 19. Prueba de Tukey para variable temperatura a los 42 días	39
Cuadro 20. Prueba de Dunnet para variable temperatura a los 42 días.	40
Cuadro 21. Resultados de variable pH	42
Cuadro 22. ANDEVA de variable pH	42
Cuadro 23. Resultados de variable Amonios	44
Cuadro 24. ANDEVA por rangos de variable Amonios	44
Cuadro 25. Prueba de Tukey para variable Amonios	45
Cuadro 26. Prueba de Dunnet para variable Amonios.	45
Cuadro 27. Resultados de variable Nitratos	47
Cuadro 28. ANDEVA por rangos de variable Nitratos	48
Cuadro 29. Prueba de Tukey para variable Nitratos	48
Cuadro 30. Prueba de Dunnet para variable Nitratos	49
Cuadro 31. Resultados observados en la variable Nitritos	50
Cuadro 32. Resultados esperados en la variable Nitritos	50
Cuadro 33. Resultados observados en la variable Acido Sulfhídrico	51
Cuadro 34. Resultados esperados en la variable Acido Sulfhídrico	51
Cuadro 35. Análisis de costos	52

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Distribución de las unidades experimentales	23
Figura 2. Resultados de porcentaje de germinación	32
Figura 3. Comportamiento de la temperatura en el tiempo	35
Figura 4. Comportamiento de pH en el tiempo	41
Figura 5. Comportamiento de amonios en el tiempo	43
Figura 6. Comportamiento de nitratos en el tiempo	46

**“Evaluación de 5 frecuencias de volteo para la producción de compost en la finca Se-Chaj, municipio de Tactic, Alta Verapaz”.**

**“Evaluation of 5 frequencies of turning for compost production on Se-Chaj Farm, Tactic, Alta Verapaz”.**

### RESUMEN

La investigación denominada “Evaluación de 5 frecuencias de volteo para la producción de compost en la finca Se-Chaj municipio de Tactic, Alta Verapaz” es una respuesta para todos los productores, agricultores y técnicos que buscan la producción de abono orgánico de calidad, donde se pueda respaldar esta calidad en los abonos mediante la medición práctica y sencilla de ciertas variables. Esta investigación presenta una metodología de medición de calidad de compost utilizando las variables: Porcentaje de germinación, temperatura, pH, nivel de amonios, nivel de nitratos, presencia de nitritos y presencia de ácido sulfhídrico.

La fase de campo de la investigación se realizó en la finca Se-Chaj ubicada a 1.5 kilómetros de la cabecera municipal de Tactic, A.V., en el período comprendido entre Diciembre 2001 y Marzo 2002, donde se evaluaron 5 frecuencias de volteo: Volteo diario (A1), cada 2 días (B2), cada 4 días (C4), método combinado (MC) el cual consiste en volteos 7 veces la primera semana, 6 veces la segunda semana, 5 veces la tercera semana, 4 veces la cuarta semana y 2 veces la quinta y la sexta semana, y sin volteo (ANA). El experimento duró seis semanas y se realizaron mediciones de todas las variables a excepción de la variable temperatura la cual se midió cada 2 días durante el experimento y la variable porcentaje de germinación la cual se midió al finalizar el experimento.



Los resultados obtenidos se sometieron a tres tipos de análisis: El análisis de gráfica para conocer el comportamiento de las variables en el tiempo que dura el experimento, el análisis estadístico para conocer las diferencias entre tratamientos y poder diferenciar los mejores tratamientos. El análisis de costos se realizó con la finalidad de seleccionar la frecuencia de volteo, que produce la mejor calidad al menor costo. Este análisis se realizó entre los dos tratamientos que presentaron mejor calidad en el análisis estadístico.

De las siete variables que se analizaron, cinco presentaron diferencia significativa en el análisis estadístico. Las variables que no presentaron diferencia significativa entre tratamientos son: pH y presencia de nitritos. El análisis estadístico de los resultados es contundente para las variables que presentan diferencia significativa, siendo los tratamientos que presentan la mejor calidad A1 y MC. Estas dos variables son las que tienen una frecuencia de volteo mayor, por lo que podemos concluir que a mayor volteo en el proceso de compostaje mayor calidad se obtiene en el producto final.

En la comparación de costos entre estos dos tratamientos el mejor resultado fue para el tratamiento Método Combinado (MC). Debido a los excelentes resultados en la calidad del compost resultante y por presentar menos costos de manejo en la elaboración se recomienda el uso de esta frecuencia en la elaboración de aboneras para obtener como producto final un compost de calidad. Se recomienda también al elaborar abonos orgánicos, la medición de las variables: porcentaje de germinación, temperatura, nivel de nitratos, nivel de amonios y presencia de nitritos para la determinación de calidad en el compost final resultante de un buen manejo en el proceso de compostaje.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Octubre del año 2000 en una conferencia sobre manejo de compost, en Austria, Siegfried Lubke expresó "Cada nación que pierde la fertilidad de su suelo, y con esto debilita su agricultura, pierde su poder (15)". Con esto se hace referencia a la necesidad imperante de mantener e incrementar la fertilidad del suelo y la importancia que la misma tiene sobre el destino de cada nación.

En el proceso de producción agrícola convencional algunas prácticas como el uso de fertilizantes sintéticos, la aplicación de plaguicidas y la quema deterioran la fertilidad de los suelos. En contraposición, la agricultura ecológica propone el mantenimiento e incremento de la fertilidad natural del suelo mediante el uso de diversas técnicas de producción y el rescate de prácticas tradicionales que respetan el equilibrio de la naturaleza.

El compostaje es un arte antiguo. Ha venido ocurriendo desde que da inicio la vida en la tierra. Este arte antiguo se define como "El proceso por el cual la materia orgánica es digerida por microorganismos para construir humus y ácidos húmicos." Este proceso que ocurre constantemente en la naturaleza ha sido estudiado y manejado por el hombre de formas muy creativas y novedosas, con el objetivo de obtener un producto final o compost de muy buena calidad. El compost cuando es elaborado adecuadamente presenta propiedades muy favorables al suelo donde se aplica.

En Guatemala existen diversidad de procedimientos, así como también una gran cantidad de sustratos para la elaboración del compost. No todos los procedimientos que se utilizan producen un compost de alta calidad. Los factores más importantes que se deben manejar son la aireación y la temperatura. Bajo un manejo adecuado se logran mantener condiciones aeróbicas las cuales estimulan la producción de sustancias promotoras del crecimiento y de organismos inhibidores de enfermedades. Por el contrario con un mal manejo de la aireación se producen condiciones anaeróbicas que generan sustancias fitotóxicas así como organismos patógenos. (22, 23, 28, 29).

El manejo de la aireación y la temperatura debe realizarse por medio de volteos periódicos a la pila de compost. Algunas experiencias en el ámbito local, nacional e internacional nos dan diferentes fórmulas de volteos en cuanto a su periodicidad.

La investigación que a continuación se presenta determinó frecuencias de volteo adecuadas para la elaboración de compost de calidad, midiendo las variables más recomendadas por varios institutos de investigación en compost. Esperamos con este documento crear un modelo local que sirva a los agricultores guatemaltecos para la fabricación de compost y con esto incrementar la fertilidad de los suelos en diferentes regiones de nuestro país, para fortalecer nuestra agricultura y aumentar el control sobre el destino de nuestra nación.



## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las condiciones anaeróbicas ocasionadas por la falta de oxigenación y concentración de dióxido de carbono, así como la elevación de temperatura en las composteras favorecen el apareamiento de sustancias tóxicas para la planta, tales como ácidos orgánicos volátiles (propiónico, láctico, butírico) (4, 29) y promueven el crecimiento acelerado de poblaciones de organismos fitopatógenos (9, 23).

A lo largo y ancho del territorio nacional se elaboran abonos orgánicos con diferentes procedimientos, algunos de estos propician las condiciones anaeróbicas, dando como resultado abonos que presentan toxicidad para las plantas y como resultado malas cosechas generando desconfianza en los agricultores quienes culpan a la agricultura orgánica de su malas prácticas.

Esta investigación propone 5 frecuencias de volteo y busca establecer la frecuencia más adecuada en la compostera con la finalidad de agregar suficiente oxígeno al sistema para evitar un sobrecalentamiento y el desarrollo de condiciones anaeróbicas. De esta manera se desarrollará una recomendación metodológica para la producción de abonos orgánicos de buena calidad, la cual se fundamenta en el conocimiento científico generado por este experimento, para compartirla con múltiples actores en el proceso de transición a la agricultura orgánica en el país.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1. Marco conceptual

##### 3.1.1. Compost , Materia Orgánica, y Humus

###### a. Compost

El concepto de compost tiene muchas definiciones, dentro de las cuales la más concisa y clara a la vez es la que nos presenta el grupo Infoagro: "El compost se define como el resultado de un proceso aeróbico de descomposición de materia orgánica bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo "(12).

ANACAFE en su manual de caficultura orgánica (1), describe el objetivo de su elaboración, la reducción de compuestos orgánicos complejos para obtener de ellos compuestos sencillos, parcialmente inorgánicos que sean asimilables gradualmente por las plantas.

La calidad del compost se expresa de acuerdo a la madurez del mismo. Esta se define como un "Estado órgano-químico del compost, en el cual no se presentan sustancias orgánicas de carácter fitotóxico". Esta definición proviene del Concilio Estadounidense del Compost en su "Manual de métodos para la determinación de calidad del compost" (27).

###### b. Materia orgánica

Según Primavesi (19), la materia orgánica es toda sustancia muerta en el suelo, de origen biológico, ya sea que provenga de plantas, microorganismos, excreciones animales de la fauna terrestre. Las raíces vivas no constituyen materia orgánica. Esta investigadora también nos advierte que "no solo el humus es materia orgánica y no toda la materia orgánica es humus".

Para el grupo de investigadores de INFOAGRO (12), la materia orgánica mejora la estructura del suelo, incrementa la capacidad de retención de agua, ayuda a mejorar las propiedades químicas del suelo y a retener los nutrientes y actúa como un amortiguador regulando la disponibilidad de estos, según las necesidades de las plantas.

### c. Humus

El humus es el producto final de la humificación de la materia orgánica realizada por los microorganismos que es relativamente estable (6).

Según Hildebrant (16), existen tres pasos que llevan desde la materia orgánica hasta el humus donde el primer paso es la descomposición de materia orgánica cruda en nutrientes solubles en agua. El segundo paso es una primera fijación de los nutrientes solubles en agua en compuestos de cadena corta, llamado *humus nutriente*. El tercer paso es una unión y fijación posterior del humus nutriente en compuestos de cadena más larga llamado *humus permanente*.

Teuscher y Adler (24) mencionan que los factores más decisivos en la formación de humus son : La vegetación de cuyos restos se forma, las condiciones climáticas, riqueza mineral del suelo, pH, microorganismos y el manejo del proceso por el hombre.

Fassbender (11), menciona que los componentes principales del humus son: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas.

Primavesi (19), afirma que el humus esta formado por sustancias importantes como lo son los carbohidratos, como celulosa y hemicelulosa, ligninas , proteínas, grasas, ceras, aceites y resinas. Estas sustancias, presentes en los materiales iniciales, dan origen por medio de oxidación biológica a ácidos fúlvicos los cuales, por medio de otra oxidación biológica y en presencia de N, P, K y Ca dan origen a ácidos húmicos los cuales son los que se necesitan aplicar al suelo debido a su insolubilidad en agua (19).



Esta misma investigadora (19) coincide con Fassbender (11) en que existen tres tipos de humus nutriente con base en lo anteriormente descrito:

**c.1. Humus mull:** Humus formado en ambiente rico en Calcio y Silicio y contiene ácidos húmicos.

**c.2. Humus moder :** Humus formado en ambiente menos rico en Calcio y Silicio pero con actividad microbiológica razonable la cual da un contenido similar de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

**c.3. Humus moor:** Humus muy ácido, parecido a la turba, formado en suelos ácidos, el cual contiene ácidos fúlvicos y tiene acción degradante sobre el suelo.

En el compostaje nos interesa alcanzar el estado de *humus nutriente* y humus mull los cuales son insolubles en agua. Todo lo que necesitamos por medio del compostaje es digerir y proteger los nutrimentos de tal forma que no sean solubles en agua. La formación de humus permanente puede ocurrir en el suelo, cuando el peligro de pérdidas está superado con la formación de humus nutriente(15, 19).

### 3.1.2. Formas de producción del compost

Diversos grupos e instituciones de investigación en compost(9, 12, 23, 27, 29) coinciden en que las formas más comunes de producción de compost son :

- a. **Producción termal de compost:** Este procedimiento envuelve la producción de calor por bacterias y hongos que mata la semilla de malezas y mata o reduce lo más razonablemente posible los organismos causantes de enfermedades para humanos y plantas. El producto metabólico producido es alimento para organismos supresores de enfermedades y para organismos promotores del crecimiento de la planta.
- b. **Producción de lombricompost o vermicompost:** Se basa en la utilización de lombrices de tierra, usualmente lombrices rojas o pequeñas lombrices, quienes consumen a las bacterias, hongos, nematodos y artrópodos presentes en la materia orgánica. La lombriz mezcla la materia orgánica y realza el crecimiento de los organismos de los cuales se alimenta. Se obtiene el mismo resultado que con el del compostaje termal pero en un período de tiempo más largo.

- c. **Producción de compost por pila estática:** Este procedimiento es usado cuando el material a reciclar requiere descomposición anaerobia . La pila mantiene su condición anaeróbica hasta las dos últimas semanas de su duración cuando empieza el volteo constante y la pila adquiere condiciones aeróbicas. El proceso es demasiado largo, produce malos olores por la descomposición anaerobia no permite una buena descomposición de los materiales, y finalmente no se produce humus.

### 3.1.3. Proceso de compostaje

El compostaje es un arte antiguo. Ocurre en la tierra desde el inicio de la vida. Este proceso se describe como el proceso mediante el cual son descompuestos materiales orgánicos con el propósito de construir humus y ácidos húmicos en el suelo. Muchas personas afirman erróneamente que el objetivo del compostaje es la descomposición de la materia orgánica y no lo es. La descomposición de la materia orgánica es simplemente una característica del proceso de construcción de humus y ácidos húmicos. La materia orgánica puede ser descompuesta sin producir humus y ácidos húmicos(2). Desafortunadamente muchas personas desconocen esto y ponen más énfasis a la descomposición de la materia orgánica que a la formación de humus y ácidos húmicos.

#### 3.1.3.1. Factores que inciden en el proceso

El grupo CMC de Austria ( 15, 16) y el grupo español INFOAGRO (12) coinciden en algunos factores que inciden en el proceso. Estos son:

- a. **Temperatura:** Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo de 35 a 65 °C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. Si la temperatura sube demasiado morirán los organismos benéficos.
- b. **Oxígeno y Dióxido de Carbono:** El compostaje es un proceso aerobio, por lo que la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, tamaño de partículas, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada.

- c. **Humedad:** La humedad es clave para que los materiales se degraden adecuadamente y se forme humus. En el proceso de composteo es importante que la humedad alcance los niveles óptimos de 40-60%. Si el contenido de humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y el proceso se convertirá en anaerobio, es decir se producirá una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento o se detiene totalmente.
- d. **pH:** Influye en el proceso debido a su acción sobre los microorganismos. Con un pH de menor de 5.6 se forman ácidos fúlvicos mediante la oxidación biológica. Con un pH entre 5.6 y 7.3 se forman ácidos húmicos. Y con un pH de 7.3 para arriba se forman ácidos fúlvicos derivados de la degradación de ácidos húmicos.
- e. **Relación Carbono/Nitrógeno:** La relación Carbono/Nitrógeno es la cantidad de carbono por unidad de nitrógeno contenido en los tejidos de las plantas, la cual varía dependiendo del material. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica debido a la falta de Nitrógeno para alimentar a los microorganismos. Una relación C/N muy baja no afecta el proceso de compostaje pero se desperdicia el Nitrógeno perdiéndose este en forma de amoníaco. Los microorganismos requieren para su normal desenvolvimiento en la abonera una relación de 25 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno. Los materiales orgánicos ricos en C y pobres en N son paja, heno seco, hojas, ramas, turba. Los materiales pobres en C y ricos en N son vegetales jóvenes, deyecciones animales y residuos de matadero. Para mayor información ver listado de Relación Carbono/Nitrógeno de materiales orgánicos diversos en el anexo 2.
- f. **Población microbiana:** Es importante agregar a la compostera una buena cantidad de microorganismos, así como gran diversidad de géneros y especies de hongos, bacterias y actinomicetos. Esto se puede realizar por medio de: Inóculos microbiológicos como CMC y Em's; levaduras o simplemente con la aplicación de tierra de montaña o compost maduro proveniente de composteras realizadas con anterioridad de por lo menos 6 meses.



- g. **Condiciones atmosféricas:** Una abonera sin protección esta expuesta a lluvias, sol y viento, por lo que es necesario mantenerla cubierta para evitar que se humedezca demasiado debido a las lluvias o se reseque debido al sol ya que este elimina los microorganismos. Para cubrirla puede utilizarse lamina, costales , hojas de plátano, palma, etc.

### 3.1.3.2. Fases del proceso

Según Castañeda et al (6) el proceso de compostaje se divide en 2 fases de acuerdo a la transformación del material orgánico. Se describen las siguientes dos fases:

#### a. Fase de Degradación

Durante la fase de degradación los desechos orgánicos se descomponen en partículas más pequeñas. Las proteínas se descomponen en aminoácidos, aminos y finalmente en amoníaco, nitratos, nitritos y nitrógeno libre. La urea, los ácidos úricos y otras sustancias no proteicas que contienen nitrógeno son reducidas a amoníaco, nitratos, nitritos y nitrógeno libre. Los compuestos de carbono se oxidan a dióxido de carbono (aeróbicamente) o son reducidos a metano (anaeróbicamente).

Entre los organismos que favorecen los procesos de degradación se encuentran los formadores de amoníaco, los formadores de nitratos y los degradadores de celulosa, azúcares y almidones.

#### b. Fase de Formación de humus

Durante esta fase los compuestos simples son convertidos en sustancias húmicas complejas y estables como ácido fúlvico, ácido húmico y huminas. Esta fase consta de dos sub-fases: 1) La fijación de los nutrimentos solubles en agua en humus friable o humus nutritivo y 2) Formación de humus estable o humus permanente.

### 3.1.3.3. Períodos del proceso

El proceso de compostaje puede dividirse en cuatro períodos, atendiendo a la evolución de la temperatura, según la información de los investigadores del grupo INFOAGRO (12).

- a. **Mesolítico:** La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.
- b. **Termofílico:** Cuando se alcanza una temperatura de 40°C, los microorganismos termófilos actúan transformando el Nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60°C estos microorganismos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporuladoras y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.
- c. **De enfriamiento:** Cuando la temperatura es menor de 60°C reaparecen los hongos termófilos que descomponen la celulosa. Al bajar de 40°C los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.
- d. **De maduración:** Requiere desde un par de semanas hasta meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus. En este período es donde se da la formación de humus.

### 3.1.3.4. Relación entre las fases y los períodos del proceso

Se establece una relación entre las fases del proceso de compostaje descritas por Castañeda (6) y los períodos del proceso descritas por INFOAGRO (12). A continuación se describe como se llevan a cabo de forma simultanea fases y períodos en el proceso de la manera siguiente:

- a. **Fase de Degradación:** Durante la fase de degradación de la materia orgánica se llevan a cabo tres períodos: El mesolítico o de multiplicación de microorganismos, el termofílico o de elevación de temperatura y el de enfriamiento o de descomposición de la celulosa.
- b. **Fase de Formación de humus:** Las fase de formación de humus es acompañada del período de maduración.

#### 3.1.4. Calidad del compost

Los criterios que permiten definir la calidad del compost ; según el grupo CMC (16), El grupo Soilfoodweb, Inc (22) y el Concilio Canadiense del Compost (7) son:

- a. El grado apropiado de temperatura; el cual puede medirse mediante el uso de un termómetro digital apropiado para este tipo de mediciones.
- b. La finalización de las fases de inmovilización del nitrógeno; para el cual utilizamos la medición de amonios, nitritos y nitratos, para los cuales existen pruebas calorimétricas desarrolladas por los laboratorios Merck.
- c. La ausencia de organismos patógenos, semillas de malezas y sustancias fitotóxicas, lo cual se puede evaluar mediante una prueba de germinación de semillas, las cuales deben realizarse con especies testigo muy sensibles como lechuga, tomate.
- d. La presencia y la cantidad del grupo adecuado de microorganismos, lo cual puede medirse mediante un análisis microbiológico.

##### 3.1.4.1. Variables utilizadas en la medición de calidad del compost

- a. **Porcentaje de germinación :** La fitotoxicidad según el grupo de Investigación en compost Woodsend Solvita (28) es el daño, muerte o reducción del crecimiento que se presenta en las plantas. La fitotoxicidad puede ser causada por organismos patógenos, falta de oxígeno en el área radicular, sales, nitritos, ácidos sulfhídricos y ácidos orgánicos volátiles presentes en un compost mal elaborado (28). Esta fitotoxicidad puede ser suprimida en el período termofílico a través de un buen proceso de producción de compost . En el cuadro 1 podemos observar la clasificación de toxicidad que puede presentar un compost según investigaciones anteriores en pruebas de germinación de semillas de tomate (*Lycopersicum*



*esculentum*) y lechuga (*Lactuca sativa*) del Woodsend Research Laboratory (29) Este grupo ha obtenido resultados hasta del 99.4 % de germinación en tomate y 100% en lechuga.

**Cuadro 1. Clasificación de fitotoxicidad de compost para germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum*).**

% de germinación	Clasificación de fitotoxicidad	Característica
Menor de 30%	I	Extremadamente tóxico, no aplicar al suelo.
30-50%	II	Muy tóxico, no aplicar.
50-70%	III	Tóxico, aplicar a cultivos forestales y frutales.
70-85%	IV	Moderadamente tóxico, aplicar a ornamentales y hortalizas.
Mayor de 85%	V	Excelente compost, cualquier uso.

Fuente: Interpretation of waste and compost test. Journal of Woodsend Research Lab. WOODSEND RESEARCH LAB.

- b. **Temperatura:** El grupo CMC (15) recomienda monitorear periódicamente la temperatura, la cual no debe exceder los 65 °C durante el período termofílico. Encima de esta temperatura los microorganismos aeróbicos mueren. La importancia del manejo de esta variable, según INFOAGRO (12), es evitar que mueran los organismos benéficos, asegurar que mueran los patógenos y al enfriar permitir la formación de humus. Al finalizar el período de enfriamiento del proceso de composteo la temperatura debe presentar niveles cercanos a temperatura ambiente: No debe exceder en 5 °C la temperatura ambiente (16). En el cuadro 2 se observa la temperatura óptima con respecto al período en el que se encuentra el proceso de compostaje.

**Cuadro 2. Rangos óptimos de temperatura durante el proceso de compostaje y al finalizar el proceso.**

Períodos del proceso	Temperatura óptima
Período termofílico	35-65 °C
Período de enfriamiento	23-28 °C

Fuente: Seminario Introductorio de Compostaje Microbiano Controlado. Grupo CMC. Angelika Lubke.

- c. **pH:** El pH es una medida logarítmica de acidez o alcalinidad presente en un medio. El pH debe medirse, debido a la respuesta que los microorganismos presentan a los cambios de esta variable (12). El pH va variando de acuerdo a la reacción en la pila del compost. Si el proceso de compostaje fue adecuado el rango de pH debería de estar entre 6.5 y 7.5, para favorecer la formación de ácidos húmicos. En la escala de 1 al 14 del pH, las condiciones ácidas (1-6.4) y básicas (7.6 -14) son desfavorables para los microorganismos del medio, y promueven la formación ácidos fúlvicos según Lubke (15), como puede observarse en el cuadro 3.

**Cuadro 3. Rangos óptimos para la variable pH al finalizar el proceso de compostaje.**

Variable	Ácido	Óptimo (neutro)	Básico
pH	1-6.4	6.5.-7.5	7.6-14

Fuente: Seminario Introductorio de Compostaje Microbiano Controlado. Grupo CMC. Angelika Lubke.

d. **Presencia de Amonios ( $\text{NH}_4^+$ ):** Según Fassbender (11) la mineralización del Nitrógeno en el compost es un proceso a través del cual los componentes orgánicos de los residuos vegetales y animales de los materiales iniciales se transforman a formas inorgánicas nitrogenadas tales como Amonios( $\text{NH}_4^+$ ), Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). En el proceso de mineralización forman parte los microorganismos que se encuentran en el compost, los cuales juegan un papel muy importante. El proceso de mineralización se divide en Amonificación, donde las sustancias orgánicas se transforman a Amonios y de Nitrificación donde los Amonios pasan rápidamente a nitritos para luego pasar a Nitratos.

**Proceso de Amonificación:** En este proceso las macromoléculas de las proteínas, ácidos nucleicos y otros son descompuestos a aminoácidos. En este proceso participan bacterias aerobias, del genero Bacillus y Pseudomonas y hongos como Penicillum y Aspergillus. Los aminoácidos pueden ser: 1) metabolizados por microorganismos, 2) adsorbidos por arcillas, 3) incorporados a la fracción de humus o 4) seguir siendo mineralizados hasta llegar a Amonios.

Presumiendo de que los aminoácidos sigan el camino hacia transformarse en Amonios en la compostera estos aún pueden tener diversos destinos, estos puede ser: 1) adsorbido por minerales arcillosos 2) fijado por minerales 3) inmovilizado por microorganismos 4) oxidado hasta el nivel de nitrito (nitrificación). El amonio puede perderse por medio de la volatilización al estar presentes en el compost en un proceso llamado denitrificación no biológica (11).

En el cuadro 4 podemos observar la clasificación para cantidad de amonios que utiliza el grupo CMC de Austria.



**Cuadro 4. Clasificación con base en la cantidad de amonios ( $\text{NH}_4^+$ ) presentes en el compost.**

Nivel	Cantidad de amonios ( $\text{NH}_4^+$ ) en ppm.	Coloración en prueba rápida de Merck.	Característica
1	0.00	Blanco	El ciclo del Nitrógeno se va desarrollando de forma adecuada.
2	0.50	Crema	
3	1.00	Amarillo claro	
4	3.00	Amarillo	El ciclo del Nitrógeno no se desarrolla de forma adecuada.
5	5.00	Naranja	
6	10.00	Naranja oscuro	

Fuente: Test rápido de Merck modificado por Angelika Lubke. Seminario Introductorio de Compostaje Microbiano Controlado. Grupo CMC.

- e. **Presencia de Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ):** En el proceso de nitrificación, la primera fase consta de la transformación de los amonios a nitritos, proceso tan rápido como la transformación de estos nitritos a nitratos en la segunda fase del proceso. Debido a esto se hace muy difícil casi imposible que si el proceso de mineralización se esta llevando adecuadamente se acumulen nitritos (11).

Fassbender (11) presenta a los microorganismos responsables de esta primera reacción del proceso : Nitrosomas, Nitrosococcus, Nitrosospira y Nitrosoglea.

Teuscher y Adler (24) afirman que los nitritos son muy inestables en presencia del oxígeno y bajo condiciones normales la acumulación de nitratos en el compost es extremadamente rara. Por lo tanto no es factible que en condiciones normales aumenten hasta un nivel que cuando este compost se aplique a las plantas superiores pueda ser tóxico.

Por su parte Buckman y Brady (5) describen el proceso de nitrificación, donde la transformación de nitritos a nitratos es tan rápida como la transformación de amonios a nitritos. Esto es favorable debido a la toxicidad atribuida a este ión descrita con anterioridad.

Hildebrandt (15) describe como tóxica para las plantas la mínima cantidad de nitritos en el suelo o compost, como puede observarse en el cuadro 5 donde se presenta la clasificación de nitritos presentes en el compost.

Cuadro 5. Clasificación con base al nivel de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) presentes en el compost.

Nivel de nitritos $\text{NO}_2^-$	Coloración prueba rápida de Merck	Característica
0.00 (Ausencia de nitritos)	Blanco	No tóxico puede ser aplicado al suelo.
++ (Presencia de nitritos)	Violeta a Morado	Tóxico. No aplicar al suelo.

Fuente: Test rápidos de Merck modificados por Angelika Lubke. Seminario Introductorio de Compostaje Microbiano Controlado. Grupo CMC.

- f. **Presencia de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ):** En la segunda reacción del proceso de nitrificación se forman los nitratos a partir de los nitritos. Esta reacción es tan rápida como la formación desde amonios a nitritos, y en esta Fassbender (11) nos describe a los actores microbiológicos: Nitrobacter y Nitrocystis.

El nitrato es una de las formas de Nitrógeno disponible para las plantas. La concentración de esta variable en el compost está influenciada directamente por la actividad biológica y fluctúa dependiendo de cambios en condiciones de temperatura y humedad, según Marx, Hart y Stevens (17).

Los anteriores autores (17) también coinciden en que el nitrato es fácilmente lixiviable del suelo para las capas friáticas, debido a la lluvia abundante o a la excesiva irrigación. Por esta razón, Hildebrandt (16) en el cuadro 6, nos confirma que las condiciones de nitratos en el compost no deben exceder las 300 ppm, para que cuando lo apliquemos al suelo no exista posibilidad de lixiviación y así evitar la contaminación de los mantos acuíferos.

Según Fassbender (11) en la estación lluviosa el proceso de Nitrificación se incrementa en los suelos por lo que no es conveniente aplicar compost con alta cantidad de nitratos antes del período lluvioso pues lo mas posible será que este exceso de nitratos no aprovechado por las plantas se lixivie.

**Cuadro 6. Clasificación con base en la cantidad de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) presentes en el compost.**

Nivel	Cantidad de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) ppm	Coloración en prueba rápida de Merck	Característica
1	0	Blanco	Rango adecuado de nitratos para evitar la lixiviación. Puede ser aplicado al suelo.
2	10	Rosado pálido	
3	25	Rosado	
4	50	Violeta suave	
5	100	Violeta	
6	300	Morado	No aplicar al suelo pues hay lixiviación a capas freáticas.
7	500	Morado oscuro	

Fuente: Test rápido de Merck modificado por Angelika Lubke.  
Seminario Introductorio de Compostaje Microbiano Controlado.  
Grupo CMC.



- g. **Presencia de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S):** Fassbender(11) dice que: El azufre orgánico presente en el compost proviene de los residuos vegetales y animales. Consiste en su mayor parte de proteínas, aminoácidos tiocinatos y otros compuestos azufrados. También el mismo autor (11), nos recuerda que en el ciclo del azufre estos residuos vegetales y animales son mineralizados por microorganismos especializados, liberándose azufre inorgánico. Estos compuestos inorgánicos pueden ser oxidados a sulfatos o reducidos a sulfitos. Los microorganismos que actúan en este proceso son bacterias aeróbicas y hongos.

El ácido sulfhídrico resultante de la descomposición de la cisteína es oxidado bajo condiciones de buena aireación a sulfatos y este puede estar presente en el compost para que las plantas lo absorban al aplicar este al suelo o puede ser inmovilizado por los microorganismos que lo utilizan nuevamente.

Teuscher y Adler (24), por su parte dicen que el ácido sulfhídrico formado en el compost, si se acumulara, tendría efectos tóxicos para su aplicación al suelo. Por suerte este debe ser convertido casi a la misma velocidad de formación en sulfatos, los cuales son el alimento de la planta.

El grupo Austriaco CMC brinda en el cuadro 7 una sugerencia para la clasificación del nivel de ácido sulfhídrico presente en el compost.

**Cuadro 7. Clasificación con base al nivel de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) presente en el compost.**

NIVEL H <sub>2</sub> S	CARACTERISTICA	RECOMENDACION
0	No diferencia de color.	Ausencia de ácido sulfhídrico. No tiene niveles detectables de sulfito, puede ser aplicado al suelo.
1	Ligera diferencia de color, tendiendo a beige.	Presencia de ácido sulfhídrico No aplicar, material no finalizado. Puede ser tóxico.
2	Definitiva diferencia de color. (café)	
3	Color café oscuro con tinte metálico.	
4	Coloración café-negro.	
5	Coloración negro intenso metálico.	

Fuente: Seminario Introductorio de Compostaje Microbiano Controlado. Grupo CMC. Angelika Lubke.

## 3.2. Marco referencial

### 3.2.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en la finca Se-Chaj, municipio de Tactic, Alta Verapaz. La finca está ubicada a 1.5 km de la cabecera municipal sobre la carretera que conduce a la ciudad de Cobán. Las coordenadas geográficas del municipio son 15°19'05" latitud norte y 90°21'04" longitud oeste y está ubicada a 1452 msnm de acuerdo a la Monografía de López (14).

### 3.2.2. Condiciones climáticas

La temperatura media en Tactic es de 23 °C con máxima de 29°C y mínima de 11°C, la precipitación anual es 1350 mm con humedad relativa de 80% (14).

### 3.2.3. Zona de vida

Según de la Cruz (8), el área se encuentra en una zona de vida de bosque muy húmedo subtropical frío.

### 3.2.4. Suelos

Según Simmons, Tarano y Pinto (21), los suelos de la finca pertenecen al grupo de suelos de los cerros de caliza, a la serie de suelos Cobán, ya que son suelos muy profundos, bien drenados. Están asociados con los suelos Carchá, Tamahú y Chacalté.



## 4. OBJETIVOS

### 4.1. GENERAL

Determinar la influencia de 5 diferentes frecuencias de volteo sobre la calidad de compost final, midiendo las variables: porcentaje de germinación, temperatura, nivel de nitratos, nivel de amonios, presencia de nitritos y presencia de ácido sulfhídrico.

### 4.2. ESPECIFICOS

- 4.2.1. Determinar la frecuencia de volteo en la elaboración de composteras, dentro de los tratamientos evaluados, que presenta los mejores resultados en las variables utilizadas para la medición de calidad del compost.
- 4.2.2. Evaluar las diferencias en el comportamiento de las variables: temperatura, pH, nivel de nitratos y nivel de amonios, para las 5 diferentes frecuencias de volteo durante las seis semanas que dura el proceso de compostaje,

## 5. HIPÓTESIS

Los tratamientos con mayor frecuencia de volteo producirán mejores resultados en la calidad del compost, lo cual se observará mediante la diferencia significativa entre tratamientos que se presentará en la evaluación de las variables utilizadas.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. Material Experimental

Todas las composteras se elaboraron con el mismo tipo de insumos. La totalidad de un mismo insumo se obtuvo de una misma fuente. Los insumos utilizados en la elaboración de composteras fueron :

- a. Pulpa de café cosecha 2001-2002: Material rico en nitrógeno y azúcares.
- b. Gallinaza: Fuente de microorganismos, fósforo, nitrógeno y micro nutrientes.
- c. Cascarilla de arroz: Material rico en carbono y sílice.
- d. Suelo de bosque: Material rico en arcilla, para formar complejo arcilla humus. Inoculo de microorganismos.
- e. Agua : Material para proveer la humedad adecuada a la compostera.

### 6.2. Diseño experimental

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó un diseño completamente al azar con 5 tratamientos. Cuatro tratamientos consistieron en volteos periódicos (manejo aerobio) y un tratamiento anaerobio que funcionó como testigo. Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, haciendo un total de 20 unidades experimentales.

### 6.3. Distribución del experimento

Los tratamientos experimentales se distribuyeron aleatoriamente (Figura 1).

C4	A1	MC	ANA	B2
MC	A1	B2	C4	ANA
ANA	C4	A1	MC	B2
B2	MC	C4	A1	ANA

Figura 1. Distribución de las unidades experimentales .



#### 6.4. Tratamientos

Los tratamientos se describen a continuación en el cuadro 8.

**Cuadro 8 . Descripción y código de los tratamientos.**

Tratamiento	Código	Descripción
1	A1	Volteo cada día durante las 6 semanas.
2	B2	Volteo cada 2 días durante las 6 semanas.
3	C4	Volteo cada 4 días durante las 6 semanas.
4	MC (Método Combinado)	Volteo 7 veces por semana, la semana 1; Volteo 6 veces por semana, la semana 2; Volteo 5 veces por semana, la semana 3; Volteo 4 veces por semana, la semana 4; Volteo 2 veces por semana, las semanas 5 y 6.
5	ANA	Sin volteo. Condiciones anaeróbicas.

#### 6.5. Descripción de la unidad experimental

Se establecieron 20 unidades experimentales (5 tratamientos y 4 repeticiones). Cada unidad experimental midió 2X2 metros (4 m<sup>2</sup>) y el área total del experimento incluyendo el área para manipulación y volteo de los abonos fue de 102.50 m<sup>2</sup>.

#### 6.6. Manejo del experimento

Los insumos para cada jaula están detallados en el cuadro 9. Estos materiales se depositaron en la jaula y se mezclaron homogéneamente. Cada jaula contenía un total de 10 sacos.

Cuadro 9. Materiales utilizados en el experimento.

Material	Volumen	Peso por saco	% del volumen total	Rel C:N
Pulpa de café	4 sacos	75 lbs.	40%	18:1
Cascarilla arroz	2 sacos	32 lbs.	20%	60:1
Gallinaza	2 sacos	100 lbs.	20%	16:1
Tierra de bosque	2 sacos	100 lbs.	20%	15:1
Agua	5 regaderas.	2 galones		
<b>TOTAL</b>	<b>10 sacos</b>	<b>732 lbs</b>	<b>100%</b>	<b>28:1</b>

Durante la preparación de la mezcla se agregó paulatinamente agua hasta alcanzar la humedad deseada. La humedad se midió con la prueba del puñado, metodología práctica que nos indica el porcentaje óptimo de humedad del 50 al 60% de humedad. Esta prueba se realizó tomando un puñado de compost y apretándolo de tal manera que se pudo evaluar si esta muy seco y necesita la aplicación de agua o si escurre y ya tiene un excedente de agua. Cuando no ocurre ninguno de estos dos fenómenos puede deducirse que el compost tiene un 60 % de humedad, porcentaje óptimo para iniciar el proceso de compostaje. La cantidad de materiales utilizados y la relación Carbono: Nitrógeno de cada uno de ellos (Anexo 2) permitió tener una compostera con una relación C:N inicial del 30:1.

Se dejó reposar la compostera durante 1 día para que se empezará a desarrollar la actividad microbiana. Posterior a este día se iniciaron los tratamientos de volteo y se continuaron, durante las 6 semanas que duró el experimento.

## 6.7. Variables respuesta

### 6.7.1. Variables cuantitativas continuas

#### a. Porcentaje de germinación

Al finalizar las seis semanas que duraron los tratamientos de volteo, se determinó el porcentaje de germinación de semillas de tomate variedad Roma. Para ello se utilizaron bandejas piloneras que contuvieron compost provenientes de cada una de las unidades experimentales. Para cada una de las muestras de compost se utilizaron 100 espacios de una bandeja pilonera. En cada espacio se colocó 1 semilla de tomate. La medición se realizó a los 25 días después de sembradas las semillas. Previo a esta prueba se realizó una prueba en papel absorbente para determinar el porcentaje de viabilidad de las semillas, y calcular un factor de corrección en caso de que la germinación no fuera del 100% en la prueba de papel mayordomo. El porcentaje de germinación en esta prueba de papel absorbente fue del 97% y se aplicó el factor de corrección a los resultados obtenidos. Se realizó un análisis estadístico de esta variable, el cual se describe en el inciso referente al análisis estadístico.

#### b. Temperatura

Las mediciones se efectuaron por medio de un termómetro digital marca Sandberger. El termómetro se introdujo en la parte media de cada una de las composteras, lugar donde se encuentra la temperatura más elevada del sistema. Las mediciones se realizaron cada dos días durante los 42 días que duró el experimento con los volteos. Con estos datos se preparó una gráfica del comportamiento de la temperatura en el tiempo para cada uno de los tratamientos. Los datos de los días 10, 20, 30 y 40 se sometieron a un análisis estadístico que se describe mas adelante.



### c. pH

Se realizó una medición semanal del pH mediante el uso de un potenciómetro electrónico. Para esta medición se tomó una muestra de 400 gr de cada una de las unidades experimentales. Con los resultados semanales se elaboró una gráfica del comportamiento de la variable pH durante el experimento. La última medición se sometió al análisis estadístico, para conocer la influencia de los tratamientos sobre el producto final.

#### 6.7.2. Variables cuantitativas discretas

##### a. Nivel de amonios ( $\text{NH}_4^+$ )

Las mediciones se realizaron por medio de la aplicación de la prueba rápida de Merck para la detección de amonios. (Ver anexo 3). Las mediciones se realizaron semanalmente y con estos resultados se construyó una gráfica que nos muestra el comportamiento de esta variable durante el experimento. La última medición (sexta semana) se sometió a un análisis estadístico

##### b. Nivel de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )

Las mediciones se realizaron mediante una prueba rápida de Merck para la detección de nitratos y nitritos que hace uso de papel indicador (Ver anexo 3). Las mediciones, al igual que para la variable anterior, se realizaron de forma semanal, construyendo de igual forma una gráfica que presenta el comportamiento de esta variable durante la realización del experimento. La medida tomada en la última semana se sometió a un análisis estadístico para evaluar la influencia de los tratamientos sobre el producto final.

### 6.7.3. Variables cualitativas binomiales

#### a. Presencia de Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )

Para medir la presencia de nitritos se realizó la prueba rápida de Merck que hace uso de papel indicador. La medición de presencia de nitritos se realiza de forma simultánea con la medición de nivel de nitratos (Ver anexo 3). La presencia mínima de este ión en el compost indica fitotoxicidad. Las mediciones, al igual que para la variable anterior, se realizaron de forma semanal, construyendo de igual forma una gráfica que presenta el comportamiento de esta variable durante la realización del experimento. La medida tomada en la última semana se sometió a un análisis estadístico para evaluar la influencia de los tratamientos sobre el producto final.

#### b. Presencia de Ácido Sulphídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ )

Para medir la presencia de ácido sulfhídrico en la muestra se utiliza una prueba rápida de Merck que hace uso de papel de acetato de plomo III y de ácido clorhídrico. (Ver anexo 3). La presencia de este ácido en el compost indica fitotoxicidad. Estas mediciones se realizaron de forma semanal para conocer su comportamiento en el tiempo en la duración del experimento. La última medición que se realizó en la sexta semana se sometió a un análisis estadístico.

### 6.8. Análisis de la información

#### 6.8.1. Análisis de gráficas

Se elaboraron gráficas con los resultados obtenidos de las mediciones realizadas durante las seis semanas del experimento. Estas gráficas se analizaron y se compararon con las gráficas encontradas en la bibliografía con respecto al comportamiento de las variables en otros experimentos similares. Se discutió su similitud y/o diferencia y se establecieron posibles razones para las diferencias entre las gráficas.

## 6.8.2. Análisis Estadístico

### 6.8.2.1. Modelo estadístico utilizado

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta

$\mu$  = Efecto de la media general

$T_i$  = Efecto del i-esimo tratamiento de volteo

$E_{ij}$  = Efecto del error experimental

#### A. Variables cuantitativas continuas

- a. Las variables analizadas fueron: Porcentaje de germinación, temperatura y pH.
- b. La variable porcentaje de germinación se analizó estadísticamente con el dato que se midió al finalizar el experimento. En la variable temperatura medida cada dos días se analizó estadísticamente los datos de los días 20 y 40. La variable pH se analizó estadísticamente con el dato que se midió en la sexta semana para encontrar la diferencia entre tratamientos en el producto final.
- c. Se verificaron los siguientes supuestos: Los errores se distribuyen independientemente, con medias igual a cero y varianza constante. No se violan ninguno de estos supuestos.



- d. Las pruebas de normalidad realizadas fueron la de Shapiro Wilks y la de homogeneidad de varianzas. La primera consiste en trabajar con los residuales, los cuales se obtienen mediante la diferencia entre la media y cada uno de los datos de las unidades experimentales, donde surgen las hipótesis nula y alternativa. Estos residuales se comportan como una campana de Gauss. La segunda es una prueba gráfica donde se plotean los residuales con los predichos.
- e. Para los datos de cada variable se efectuó el Análisis de Varianza (ANDEVA) a un nivel de significancia del 5% para verificar si existe significancia entre tratamientos.
- f. Para los ANDEVAS realizados que resultaron significativos se procedió a realizar una prueba múltiple de medias de Tukey.
- g. Se realizó la prueba de Dunnet para comparar tratamiento contra testigo.

#### B. Variables cuantitativas discretas

- a. Las variables a analizar fueron: Nivel de nitratos y Nivel de amonios.
- b. Se verificaron los siguientes supuestos: Los errores se distribuyen independientemente, con medias igual a cero y varianza constante.
- c. Las pruebas de normalidad realizadas fueron la de Shapiro Wilks y la de homogeneidad de varianzas. La primera consiste en trabajar con los residuales, los cuales se obtienen mediante la diferencia entre la media y cada uno de los datos de las unidades experimentales, donde surgen las hipótesis nula y alternativa. Estos residuales se comportan como una campana de Gauss. La segunda es una prueba gráfica donde se plotean los residuales con los predichos.
- d. Por el tipo de variables no se realizó el ANDEVA a los datos originales por lo que se le asignó a los datos unos rangos y se les sometió a un Análisis de Varianza (ANDEVA) a un nivel de significancia del 5% para verificar si existe significancia entre tratamientos.

- e. Para los ANDEVAS realizados que resultaron significativos se procedió a realizar una prueba múltiple de medias de Tukey considerando los rangos asignados, pero para una mejor interpretación de los resultados las medias presentadas en la salida de Tukey son las originales.
- f. Se realizó la prueba de Dunnet para comparar tratamientos contra testigo.

### C. Variables cualitativas binomiales

- a. Las variables a analizar fueron : Presencia de nitritos y Presencia de ácido sulfhídrico.
- b. Estas variables fueron codificadas para su análisis. La presencia de nitritos o de ácidos sulfhídricos tuvo un código de uno (1); y la ausencia o no presencia de nitritos o ácido sulfhídrico tuvo un código de cero (0).
- c. Posterior a la codificación, los datos se analizaron mediante la prueba no paramétrica para proporciones independientes.

### 6.8.3. Análisis económico

Se realizó una comparación de costos en la elaboración de los compost que presentaron calidad superior. En esta investigación se realizó un análisis económico a los tratamientos A1 y MC.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSION

### 7.1. Variables cuantitativas continuas

#### 7.1.1. Porcentaje de Germinación

##### a. Análisis de gráfica

Los resultados del porcentaje de germinación se muestran en la figura 2, observándose que los tratamientos MC y A1, que consisten en el método combinado y volteo diario respectivamente, son los que obtienen los porcentajes más altos de germinación contrastando con el tratamiento ANA el cual tiene el menor porcentaje de germinación de los 5 tratamientos. Los tratamientos B2 y C4 obtienen los porcentajes medios.

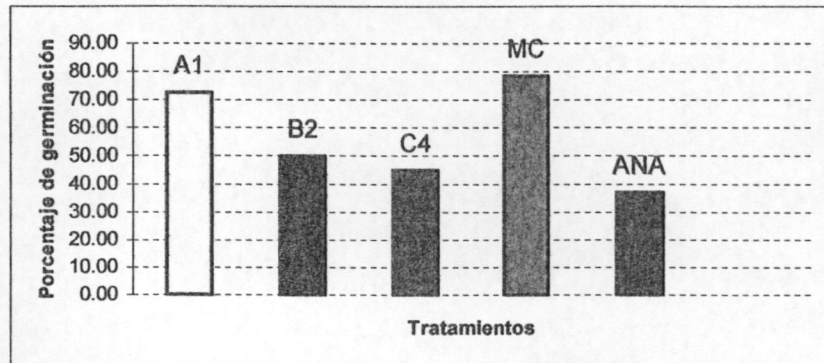


Figura 2. Resultados del porcentaje de germinación en semilla de tomate (*Lycopersicum esculentum*).



### b. Análisis estadístico

El cuadro 10 que presenta el ANDEVA de la variable porcentaje de germinación nos demuestra que existe diferencia significativa entre tratamientos, pues el valor de  $Pr > F$  es 0.0001, siendo menor que 0.05 el cual es el límite para rechazar la hipótesis nula.

Cuadro 10. Análisis de varianza de la variable porcentaje de germinación.

FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F	SIG
Tratamiento	5	5176.31	1035.26	82.49	0.0001	*
Error	18	225.89	12.55			
Total	23	5402.20				

Nivel máximo de significancia permitida 5%

La prueba de Tukey que se presenta en el cuadro 11 indica que los tratamientos Método Combinado (MC) y con volteo diario (A1), los cuales presentan mayor porcentaje de germinación ( con medias de 78.41 y 72.42 respectivamente), se comportan de manera similar. Los tratamientos B2 y C4 ( con medias de 49.9 y 44.84 ) se comportan diferente a los dos primeros tratamientos pero iguales entre ellos, y por último el tratamiento ANA( con media de 36.98) se comporta diferente a los dos grupos de tratamientos anteriormente descritos.

Cuadro 11. Prueba de Tukey para la variable porcentaje de germinación.

Tratamiento	Comportamiento	Media (%)
MC	A	78.41
A1	A	72.42
B2	B	49.9
C4	B	44.84
ANA	C	36.98

Los resultados obtenidos en el experimento indica que el compost con mayor frecuencia o periodicidad de volteo en su elaboración como el expuesto en los tratamientos con volteo diario (A1) y Método Combinado (MC) tendrán condiciones más favorables para la germinación y el crecimiento inicial de cultivos. Por el contrario el compost sin volteo o con períodos muy largos de tiempo sin volteo presentarán condiciones desfavorables para la germinación y el crecimiento de los cultivos. Este hecho coincide plenamente con la defensa del aerobismo, condición necesaria para la elaboración de un buen compost, realizada por organizaciones e instituciones de investigación internacional en compost como lo son: El grupo CMC de Austria (15, 16), Woodsend Solvita (28), Laboratorios BBC (29) y Soilfoodweb (22, 23) de Estados Unidos y el Concilio Canadiense del Compost (7).

Según la clasificación de fitotoxicidad del compost para la germinación de semillas de tomate, descrito en la página 14 de este documento, el compost resultante de los tratamientos ANA (36.98%), C4 (44.83%) y B2 (49.89 %) presentan características de mucha toxicidad, mientras que los tratamientos A1 ( 72.41 %) y MC (78.40) presenta características de moderada toxicidad.

El cuadro 12 con la prueba de Dunnet muestra que todos los tratamientos con manejo aeróbico resultan ser diferentes al tratamiento con manejo anaeróbico que funciona para este experimento como testigo, pues el resultado de la diferencia entre medias es mayor que la diferencia significativa mínima para todas las variables comparadas.

**Cuadro 12. Prueba comparativa de Dunnet para la variable porcentaje de germinación.**

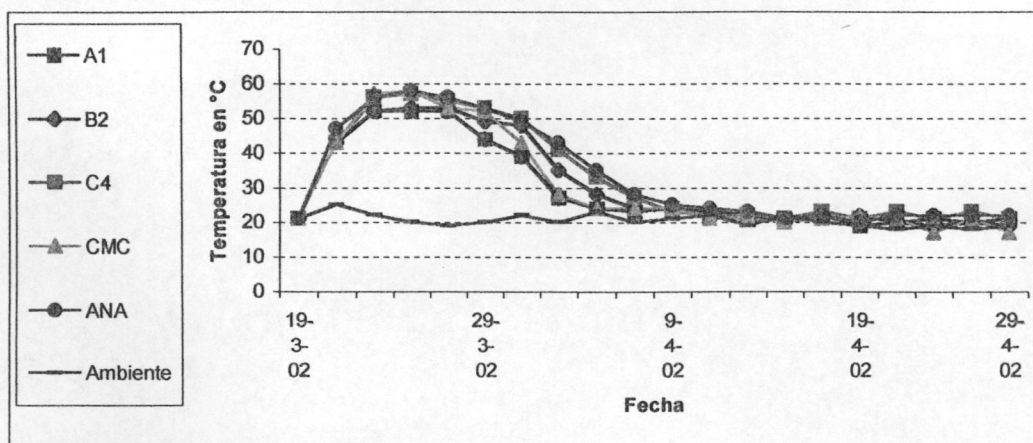
Comparación	Limite superior	Diferencia significativa mínima	Limite inferior	Diferencia entre medias	Resultado
MC - ANA	48.34	6.91	34.50	41.42	***
A1 - ANA	42.35	6.91	28.51	35.43	***
B2 - ANA	19.83	6.91	5.99	12.91	***
C4 - ANA	14.77	6.91	0.93	7.85	***

Esta prueba confirma la información que se obtuvo anteriormente en esta variable de porcentaje de germinación y respalda la diferencia entre el volteo periódico que conduce a un manejo aeróbico y las condiciones anaeróbicas que se producen por la ausencia de volteo y por consiguiente de oxígeno en los manejos de una compostera.

### 7.1.2. Temperatura

#### a. Análisis de gráfica

Los resultados de la medición periódica de la temperatura nos permitió elaborar la figura 3, en la cual se observa la evolución y el comportamiento de la temperatura durante los 42 días de duración del experimento.



**Figura 3. Comportamiento de temperatura en el tiempo para los diferentes tratamientos evaluados en el experimento.**

Los períodos del proceso de compostaje, definidos específicamente en respuesta a la evolución de la temperatura, pueden observarse claramente: El período mesolítico el cual dura desde la elaboración de la compostera hasta los 4 días después de la elaboración, el período termofílico que dura desde los 4 días hacia los 12 días, el período de enfriamiento que dura desde los 12 hacia los 22 días y el período de maduración que dura de los 22 a los 42 días después de elaborada la compostera.



Estos resultados se acercan a lo descrito por el grupo de investigadores de Infoagro, España, quienes describen el período mesolítico desde la elaboración hasta los 3 días, el período termofílico desde los 3 a los 14 días, el período de enfriamiento desde los 14 a los 21 días y el período de maduración de los 21 a los 42 °C.

La fase de degradación de materiales duró aproximadamente 20 días y la fase de formación de humus 22 días, coincidiendo exactamente con lo descrito por el grupo CMC de Austria(15, 16) quienes diferencian la fase de degradación de la fase de formación de humus a los 20 días de elaborada la compostera.

Las diferencias mayores entre tratamientos se dan en los períodos termofílico y de enfriamiento donde existen hasta 14 grados de diferencia en medias entre tratamientos que favorecen el aerobismo y tratamientos que favorecen el anaerobismo.

Se analizaron estadísticamente los datos de los 20 y 42 días para observar si existe diferencia significativa al finalizar la fase de degradación de materiales, la cual coincide con el descenso de la temperatura y al finalizar la fase de formación de humus.

#### b. Análisis estadístico

El cuadro 13 muestra los resultados obtenidos a los 20 días, en el cual podemos observar que las temperaturas más altas las presentan los tratamientos ANA y MC con 38 grados centígrados, mientras que el tratamiento A1 presenta la menor temperatura con 29 grados.

Cuadro 13. Resultados de variable temperatura en °C a los 20 días.

Tratamientos	Frecuencia	Media °C
A1	4	29.00
B2	4	30.25
C4	4	32.00
MC	4	38.00
ANA	4	38.00

El ANDEVA en el cuadro 14 muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos pues presenta un Valor de P de 0.0013.

**Cuadro 14. Análisis de varianza de variable temperatura a los 20 días.**

FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F	SIG.
Tratamiento	4	294.20	73.55	7.04	0.0013	*
Error	15	140.75	9.38			
Total	19	434.95				

Nivel máximo de significancia permitida 5%.

La prueba de Tukey en el cuadro 15 forma dos grupos: El grupo de ANA y C4 los cuales se comportan de manera similar con una temperatura más alta de lo normal y el grupo de B2 y A1 con una temperatura adecuada. El tratamiento MC es común a estos dos grupos. Esto indica que a los 20 días la fase de formación de humus ha sido más exitosa para los tratamientos A1 y B2 presentando una descomposición de materiales de una mejor manera, llegando a la finalización de esta fase, mientras que los tratamientos C4 y ANA siguen en la fase de descomposición de materiales y se encuentran aún lejos de finalizarla.

**Cuadro 15. Prueba de Tukey para la variable temperatura a los 20 días.**

Tratamiento	Comportamiento	Media °C
ANA	A	38.00
C4	A	38.00
MC	A B	32.00
B2	B	30.25
A1	B	29.00

El cuadro 16 muestra la prueba de Dunnett la cual hace una comparación entre los tratamientos C4, MC, B2 y A1 contra el tratamiento ANA el cual funciona como testigo pues sus condiciones son anaeróbicas.

En la comparación entre el tratamiento C4 y ANA no existe diferencia significativa en la comparación por lo que se puede concluir que a los 20 días los tratamientos antes mencionados tienen similar comportamiento para la variable temperatura, y corren riesgo de presencia de enfermedades por las condiciones anaeróbicas que se mantienen en este manejo. Por otro lado los tratamientos MC, B2 y A1 si presentan diferencias en la comparación entre medias, por lo que se puede observar que el manejo aeróbico si presenta diferencias entre la frecuencia de volteos y el intervalo entre ellos.

**Cuadro 16. Prueba de Dunnet para la variable temperatura a los 20 días.**

Comparación	Limite superior	Diferencia significativa mínima	Limite inferior	Diferencia entre medias	Resultado
C4-ANA	5.91	5.91	- 5.91	0.00	NS
MC-ANA	0.09	5.91	- 11.91	6.00	***
B2-ANA	1.84	5.91	- 13.65	7.75	***
A1- ANA	3.09	5.91	- 14.91	9.00	**

El cuadro 17 muestra los resultados obtenidos a los 42 días, en los cuales observamos que la menor temperatura es la perteneciente a los tratamientos A1, B2 y MC con 20 grados y el más alto es ANA con 25.0 grados centígrados.

**Cuadro 17. Resultados de variable temperatura a los 42 días.**

Tratamiento	Frecuencia	Media °C
A1	4	20.00
B2	4	20.00
MC	4	20.00
C4	4	21.50
ANA	4	25.00



El ANDEVA que se encuentra en el cuadro 18 presenta diferencia significativa entre tratamientos con un valor de P de 0.0001. La prueba de Tukey del cuadro 19 diferencia únicamente al tratamiento ANA que significa manejo anaeróbico, de los otros 4 tratamientos que tuvieron manejo aeróbico con diferentes frecuencias de volteo.

Cuadro 18. Análisis de Varianza de variable temperatura a los 42 días.

FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F	SIG.
Tratamiento	4	75.20	18.80	16.59	0.0001	*
Error	15	17.00	1.13			
Total	19	92.20				

Nivel máximo de significancia permitida 5%.

Cuadro 19. Prueba de Tukey de variable temperatura a los 42 días.

Tratamientos	Comportamiento	Media °C
ANA	A	25.00
C4	B	21.50
A1	B	20.00
B2	B	20.00
MC	B	20.00

El tratamiento anaeróbico no se encuentra todavía en el rango permisible para decidir si una compostera terminó su período de maduración en el proceso de compostaje. El rango permisible nos indica que una compostera debe permanecer 15 días en el rango de 5 grados centígrados arriba o debajo de la temperatura del ambiente. La temperatura ambiente es de 18 grados centígrados, por lo que consideramos que todos los tratamientos aeróbicos han finalizado su período de maduración.

El cuadro 20 presenta una comparación entre todos los tratamientos aeróbicos C4, MC, B2 y A1 versus el tratamiento anaeróbico ANA. Para interpretar estos resultados debemos saber que la diferencia entre medias debe ser mayor a la diferencia significativa mínima, lo cual se cumple para todos los tratamientos. Esto significa que aunque durante el proceso, a los 20 días los resultados de la comparación C4 y ANA no presentan diferencia significativa al final del proceso de compostaje la temperatura ha bajado lo suficiente y existe diferencia significativa para todos los tratamientos aeróbicos cuya diferencia es únicamente el intervalo entre la frecuencia de volteo. Para la variable temperatura a los 42 días entonces existe diferencia entre los tratamientos aeróbicos y el anaeróbico, pero no entre tratamientos aeróbicos.

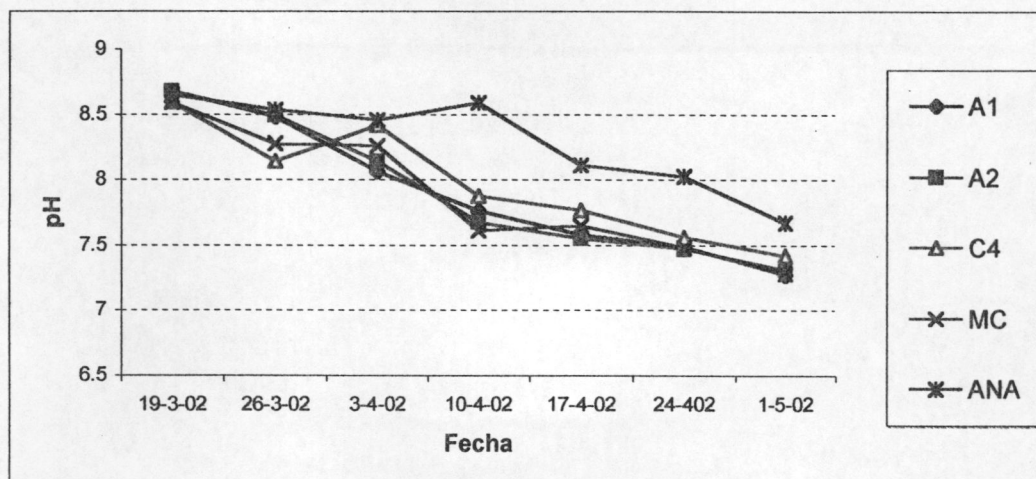
Cuadro 20. Prueba de Dunnet para la variable temperatura a los 42 días.

Comparación	Limite superior	Diferencia significativa mínima	Limite inferior	Diferencia entre medias	Resultado
C4-ANA	1.45	2.05	5.55	3.50	***
A1-ANA	2.95	2.05	7.05	5.00	***
B2-ANA	2.95	2.05	7.05	5.00	***
MC-ANA	2.95	2.05	7.05	5.00	***

### 7.1.3. PH

#### a. Análisis de gráfica

Los resultados obtenidos en la medición semanal del pH a las unidades experimentales permitió realizar la figura 4, con resultados del comportamiento del pH durante las seis semanas de duración del experimento y donde se observa la evolución de esta variable.



**Gráfica 4. Comportamiento de pH en el tiempo.**

Para los tratamientos A1 y B2 la evolución del pH es descendente y constante desde la medición de la primera semana con 8.6 hasta la sexta semana con 7.27 (A1) y 7.30 (B2). El tratamiento MC presenta evolución descendente pero inconstante pues de la primera semana a la segunda semana presenta un leve aumento en su media, presentando este leve aumento de nuevo en el transcurso de la tercera a la cuarta semana. Los tratamientos MC y C4 presentan una evolución inconstante pero al final descendente. El tratamiento C4 presenta un altibajo durante la primera semana, mientras que el tratamiento MC presenta el altibajo de la segunda a la tercera semana.

El comportamiento de los 5 tratamientos es contrario a lo que el grupo CMC describe como el comportamiento ideal de la variable pH en una abonera bien realizada. Donde el pH debe descender a niveles menores de 6 durante la primera semana para alcanzar valores cercanos a 9 durante el inicio de la segunda semana. A partir de la segunda semana la gráfica de CMC coincide plenamente con los tratamientos A1 y B2 de este experimento. El pH final para los tratamientos estuvo en el rango de 7.27 a 7.66, rango adecuado para los pH del compost.



### b. Análisis estadístico

Los datos que se encuentran en el cuadro 21 son los resultados obtenidos para la variable pH en la investigación. Se observa que los tratamientos A1 y MC tienen los datos más cercanos a un pH neutro con 7.27 y 7.28, mientras que de los 5 tratamientos ANA es el que más lejos de la neutralidad se encuentra con un pH de 7.66.

Cuadro 21. Resultados de variable pH.

Tratamiento	Frecuencia	Media pH
A1	4	7.27
MC	4	7.28
B2	4	7.31
C4	4	7.42
ANA	4	7.66

El ANDEVA que se encuentra en el cuadro 22, no presenta diferencia significativa para la variable pH a las seis semanas de elaborada la compostera, pues presenta un Valor de P de 0.08. Debido a que no se presenta diferencia significativa no se trabaja Prueba de Tukey.

Cuadro 22. Análisis de varianza de variable pH

FV	GL	SC	CM	FC	Pr > F	SIG
Tratamiento	4	0.44	0.11	2.58	0.08	NS
Error	15	0.64	0.04			
Total	19	1.09				

Nivel máximo de significancia permitido 5%

## 7.2. Variables Cuantitativas Discretas

### 7.2.1. Nivel de Amonios

#### a. Análisis de gráfica

Los resultados obtenidos en la medición semanal de la variable nivel de amonios de cada una de las unidades experimentales permitió realizar la figura 5, en la cual se observa la evolución de la variable durante el proceso de compostaje.

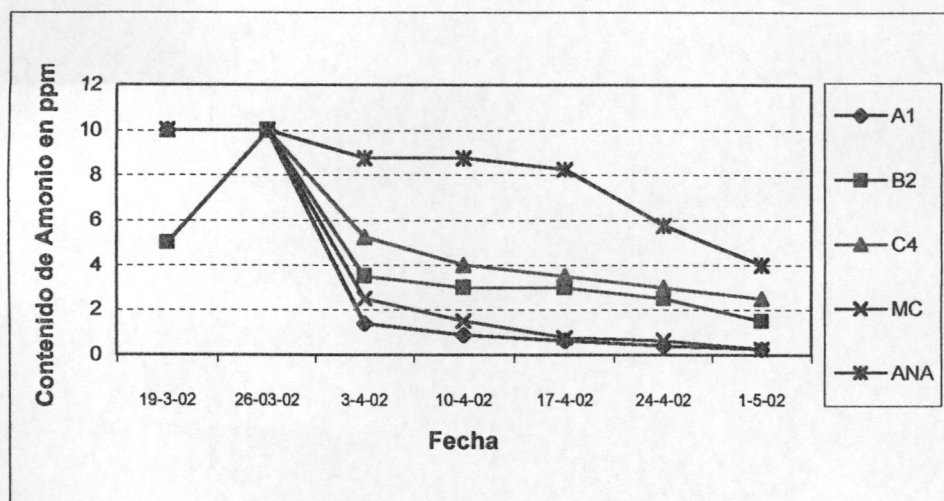


Figura 5. Comportamiento del nivel de amonios en el tiempo.

Los tratamientos A1, C4, MC y ANA inician con la cantidad máxima medible de amonios en la primera semana o sea 10 ppm, mientras que B2 inicia la primera semana con 5 ppm para incrementar su valor a la segunda semana hasta alcanzar a los otros tratamientos con 10 ppm. A partir de la tercera semana se da un descenso drástico para los tratamientos con manejo aeróbico, A1 B2, C4 y MC, mientras que ANA permanece cercano a 10 ppm. En las semanas número 4, 5 y 6 el descenso es constante pero mínimo para los cuatro tratamientos con manejo aeróbico, mientras que el tratamiento anaeróbico desciende de forma más abrupta en estas últimas 3 semanas alcanzando un valor de 4 ppm.

Los valores finales de las variables con manejo aeróbico son A1 y MC 0.25 ppm de amonio, B2 con 1.5 ppm y C4 con 2.5 ppm de amonio.

### b. Análisis estadístico

Los resultados se presentan a continuación en el cuadro 23.

**Cuadro 23. Resultados de variable nivel de amonios en ppm.**

Tratamiento	Frecuencia	Media ppm
A1	4	0.25
MC	4	0.25
B2	4	1.50
C4	4	2.50
ANA	4	4.00

El ANDEVA en el cuadro 24 presenta diferencia significativa para la variable amonios a la sexta semana de elaborada la compostera, presentando un Valor de P de 0.0001. La prueba de Tukey en el cuadro 25, indica que existen grupos de tratamientos que se comportan de manera similar como los tratamientos ANA y C4, los tratamientos C4 y B2 y los tratamientos B2, A1 y MC.

**Cuadro 24. Análisis de Varianza para los rangos asignados a los datos originales de la variable nivel de amonios.**

FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F	SIG.
Tratamiento	4	546.50	136.62	23.97	0.0001	*
Error	15	85.50	5.70			
Total	19	632.00				

Nivel máximo de significancia permitida 5%.



Cuadro 25. Prueba de Tukey de variable amonios.

Tratamientos	Comportamiento	Medias Originales ppm
ANA	A	4.00
C4	A B	2.50
B2	B C	1.50
A1	C	0.280
MC	C	0.250

En este caso por tener un rango máximo permisible de amonios de 2.50 ppm el grupo que obtiene el contenido promedio más bajo es el grupo de B2, A1 y MC. Este grupo de tratamientos tiene cantidades de amonios entre 0.25 y 1.50 ppm, lo cual se encuentra en el rango permisible de aplicación de compost, según la clasificación de Luebke (15) la cual se encuentra en el cuadro número 4 de este documento. El compost proveniente de estas Unidades Experimentales puede ser aplicado al suelo sin peligro ya que no es tóxico.

El cuadro 26 nos presenta la prueba comparativa de Dunnet para la variable amonios.

Cuadro 26. Prueba comparativa de Dunnet para variable Nivel de Amonios.

Comparación	Limite superior	Diferencia significativa mínima	Limite inferior	Diferencia entre medias	Resultado
C4-ANA	1.35	4.60	7.84	3.25	NS
B2-ANA	1.15	4.60	10.35	5.75	***
A1-ANA	8.39	4.60	17.60	13.00	***
MC-ANA	8.39	4.60	17.60	13.00	***

Para este caso las comparaciones entre los tratamientos anaeróbicos (ANA) y aeróbicos (C4, B2, A1 y MC) presentan diferentes resultados. La comparación entre los tratamientos C4 y ANA no presentan diferencia significativa, debido a que la diferencia entre las medias no es mayor que la diferencia significativa mínima. Los tratamientos B2, A1 y MC por el contrario si presentan diferencias significativas contra el tratamiento ANA pues la diferencia entre medias es mayor que la diferencia significativa mínima.

La interpretación anterior de los resultados obtenidos para esta prueba nos indican que, para la variable amonios las condiciones del tratamiento C4 son similares y no existe diferencia entre realizar este tratamiento de volteo cada 4 días que no realizar ningún volteo a la compostera, mientras que para los otros tratamientos si existe diferencia contra el tratamiento anaeróbico.

### 7.2.2. Nivel de Nitratos

#### a. Análisis de gráfica

Los resultados obtenidos en la medición semanal de la variable nitratos a cada una de las Unidades Experimentales permitió realizar la figura 6, en la cual se observa el comportamiento de la variable nitratos durante el experimento.

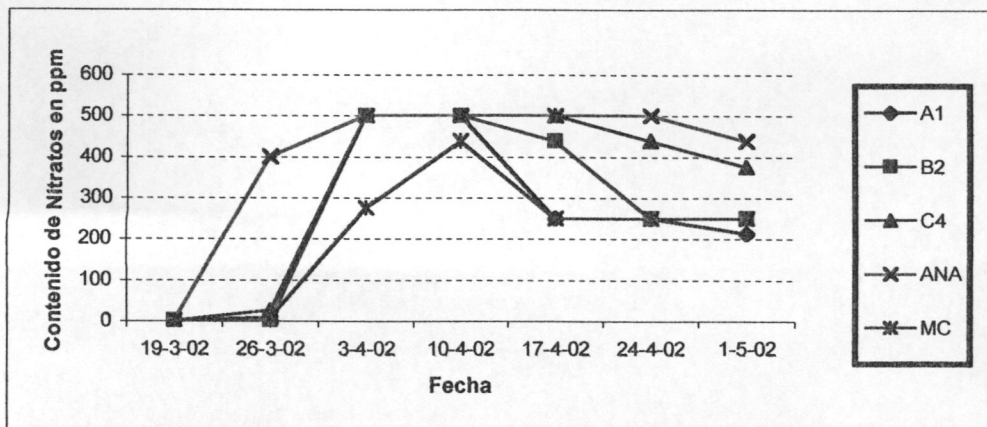


Figura 6. Comportamiento de nitratos en el tiempo.

Los 5 tratamientos inician sin presencia de nitratos, y es durante la primera semana donde inicia la diferencia de tratamientos pues el ANA se dispara a 400 ppm manteniéndose estables en 0 ppm los tratamientos aeróbicos, A1, B2, C4, MC. Es durante la segunda semana donde inicia la existencia de nitratos y se dispara hasta 400 ppm en los casos de B2, C4 y A1, mientras que MC llega cerca de los 300 ppm. Existen después diferentes comportamientos en los tratamientos, pues ANA permanece relativamente estable, mientras que B2, MC y A1 decrecen.

El tratamiento que presenta mayor similitud a la gráfica ideal de presencia de nitratos elaborada por el grupo CMC(16) es la curva del tratamiento B2.

#### b. Análisis estadístico

Los resultados se presentan a continuación en el cuadro 27.

Cuadro 27. Resultados de variable nivel de nitratos en ppm.

Tratamiento	Frecuencia	Media ppm
A1	4	212.50
B2	4	250.00
MC	4	250.00
C4	4	375.00
ANA	4	437.50

El ANDEVA del cuadro 28 presenta diferencia significativa entre tratamientos para la variable Nitratos a la sexta semana presentado un Valor de P de 0.0168. La Prueba de Tukey en el cuadro 29 indica que existen grupos de comportamiento similar, pero los tratamientos que tienen un comportamiento diferente en cuanto a la cantidad de nitratos presente son el A1 y el ANA.



**Cuadro 28. Análisis de Varianza de los rangos asignados a los datos originales de la variable nivel de nitratos.**

FV	GL	SC	CM	FC	Pr>F	SIG
Tratamiento	4	227.37	56.84	4.26	0.0168	*
Error	15	200.12	13.34			
Total	19	427.50				

Nivel máximo de significancia permitida 5%.

**Cuadro 29. Prueba de Tukey de variable nivel de nitratos.**

Tratamiento	Comportamiento		Medias Originales ppm
ANA	A		437.50
C4	A	B	375
MC	A	B	250
B2	A	B	250
A1		B	212.50

Siendo el rango permisible de amonios 300 ppm según la clasificación del grupo CMC(16), presente en el cuadro número 6 de este documento, puede concluirse que el compost obtenido bajo el tratamiento A1 puede aplicarse al suelo pues se encuentra dentro del rango permisible para evitar la lixiviación de nitratos hacia las capas freáticas. El tratamiento ANA al igual que los tratamientos B2, MC y C4 no pueden ser aplicados al suelo pues son estadísticamente similares y contienen una cantidad no adecuada de Nitratos para aplicar al suelo.

En el cuadro 30 se observa la comparación entre los tratamientos a los que se les da un manejo de volteo y el tratamiento al cual no se le da un manejo y se permite que las condiciones anaeróbicas predominen en el sistema.

Los resultados indican que para la variable nitratos al igual que para la variable amonios, el manejo que se le da al tratamiento C4 el cual consiste en voltear la compostera cada 4 días es igual a las condiciones anaeróbicas que presenta el tratamiento ANA. En este caso la diferencia entre medias es menor que la diferencia significativa mínima. Por el contrario los tratamientos cuyo intervalo de volteo es menor presentan diferencia entre medias mayor que la diferencia significativa mínima. Esto indica diferencia de calidad entre los tratamientos cuyo intervalo de volteo no oscilan en más de dos días.

**Cuadro 30. Prueba comparativa de Dunnet para variable nivel de nitratos.**

Comparación	Limite superior	Diferencia significativa mínima	Limite inferior	Diferencia entre medias	Resultado
C4-ANA	4.67	7.04	9.42	2.37	NS
MC-ANA	0.08	7.04	14.17	7.12	***
B2-ANA	0.08	7.04	14.17	7.12	***
A1-ANA	1.96	7.04	16.04	9.00	***

### 7.3. Variables Cualitativas Binomiales

#### 7.3.1. Presencia de Nitritos

Los resultados observados pueden visualizarse en el cuadro 31, mientras que los resultados esperados se observan en el cuadro 32.

**Cuadro 31. Resultados observados en la variable presencia de nitritos**

Tratamientos	A1	B2	C4	MC	ANA	TOTAL
Presencia	0	0	3	0	4	7
Ausencia	4	4	1	4	0	13
Total	4	4	4	4	4	20

**Cuadro 32. Resultados esperados en la variable presencia de nitritos.**

Tratamientos	A1	B2	C4	MC	ANA	$\chi^2$
Presencia	1.4	1.4	1.4	1.42	1.4	16.70
Ausencia	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	9.49

Valor calculado  $P = 0.002209$

El valor de  $P$  es 0.002209, el cual indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos. Los tratamientos que presentan nitritos en la sexta semana son C4 y ANA según se observa en la tabla de resultados observados. Por consiguiente se concluye que el compost que se obtiene de estos tratamientos no puede aplicarse al suelo por su carácter tóxico el cual es originado por las condiciones anaeróbicas.

Por el contrario, el compost proveniente de las unidades experimentales con manejo aerobio o tratamientos A1, B2 y MC no presentaron nitritos en la evaluación del producto final en la sexta semana, por lo que se puede aplicar al suelo. Estos tres tratamientos coinciden completamente con la recomendación del grupo CMC(15), que se encuentra en el cuadro 5 de este documento donde se indica que un compost de calidad debe presentar ausencia completa de Nitritos al finalizar el proceso de compostaje.



### 7.3.2. Presencia de Ácido Sulphídrico

Los resultados observados se encuentran en el cuadro 33 mientras que los resultados esperados se observan en el cuadro 34.

Cuadro 33. Resultados observados en la variable presencia de ácido sulphídrico.

Tratamientos	A1	B2	C4	MC	ANA	TOTAL
Presencia	0	0	1	0	0	1
Ausencia	4	4	3	4	4	19
Total	4	4	4	4	4	20

Cuadro 34. Resultados esperados en la variable presencia de ácido sulphídrico.

Tratamientos	A1	B2	C4	MC	ANA	$\chi^2$
Presencia	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	4.21
Ausencia	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	9.49

Valor calculado de  $P = 0.378275$

El valor de  $P$  es de 0.3783 el cual indica que no existe diferencia significativa entre tratamientos.

Podemos observar en los resultados observados que los tratamientos no presentan ácido sulphídrico a excepción de C4 en una repetición. Todos los tratamientos son similares estadísticamente y cumplen con la recomendación del grupo CMC(16), presente en el cuadro 7 de este documento donde se indica que un compost de calidad no debe tener presente ácido sulphídrico.

#### 7.4. Análisis económico

El análisis económico se realizó a los dos tratamientos que presentaron mejores resultados , en este caso MC y A1. El cuadro 35 presenta el análisis de costos comparativos entre el tratamiento A1 y el tratamiento MC.

**Cuadro 35. Análisis de costos de tratamientos A1 y MC.**

Costos	Tratamiento A1		Tratamiento MC	
	Unidad	Total	Unidad	Total
1. Insumos				
1.1. Pulpa de café	Costales(4)	8.00	Costales(4)	8.00
1.2. Gallinaza	Costales(2)	46.00	Costales(2)	46.00
1.3. Cascarilla de arroz	Costales(2)	14.00	Costales(2)	14.00
2. Mano de obra				
2.1. Jornales	21 horas = 2.63 jornales	71.01	13 horas = 1.63 jornales	44.83
3. Total egreso		139.01		112.83
4. Ingreso	7.25 sacos x Q25.00	181.25	7.25 sacos x Q25.00	181.25
5. Ganancia o déficit		<b>42.24</b>		<b>68.43</b>

El análisis económico indica que para el tratamiento A1 existe una ganancia de Q42.24 quetzales, mientras que el tratamiento MC tiene una ganancia de Q68.43. El tratamiento MC tiene 61.29 % de mayor ganancia económica que el tratamiento A1.

Esta ganancia se debe a la inversión realizada en mano de obra, ya que los insumos son constantes para los dos tratamientos. El tratamiento MC invierte menor mano de obra que el tratamiento A1. El tratamiento MC usa solo el 63.1 % del total de mano de obra que hace uso el tratamiento A1.

## 8. CONCLUSIONES

1. Los tratamientos con mayor frecuencia de volteo presentan mejores resultados en las variables porcentaje de germinación, temperatura, nivel de amonios, nivel de nitratos y presencia de nitritos.
2. Las frecuencias de volteo evaluadas en esta investigación no tienen influencia alguna sobre las variables pH y presencia de ácido sulfhídrico.
3. Las frecuencias de volteo propuestas en los tratamientos MC y A1 presentan los más altos porcentajes de germinación en semillas de tomate a los 25 días, 78.41 y 72.42 respectivamente; mientras que los tratamientos B2, C4 y ANA presentan bajos porcentajes de germinación, 49.9, 44.84 y 36.46.
4. La temperatura del compost al finalizar el experimento es significativamente mayor para el tratamiento sin volteo.
5. Los tratamientos con mayores frecuencias de volteo ( MC y A1) producen compost con nivel de amonios adecuado para aplicarlo al suelo.
6. El tratamiento con volteo diario produce compost cuyo nivel de nitratos se encuentra dentro del rango adecuado para ser aplicado al suelo.
7. Los tratamientos con frecuencia de volteo cada cuatro días y sin volteo producen compost con presencia de nitritos que ocasionan fitotoxicidad al aplicarlo al suelo.
8. Las frecuencias de volteo diarias y la combinación, 7 veces la primera semana, 6 veces la segunda semana, 5 veces la tercera semana, 4 veces la cuarta semana y 2 veces la quinta y sexta semana; son los más adecuados para manejar una abonera y obtener compost de buena calidad.



9. La frecuencia de volteo 7 veces la primera semana, 6 veces la segunda semana, 5 veces la tercera semana, 4 veces la cuarta semana y 2 veces la quinta y sexta semana; requiere un 63.1 % menos de esfuerzo de mano de obra utilizada en comparación con la frecuencia de volteo diaria.
  
10. La frecuencia de volteo 7 veces la primera semana, 6 veces la segunda semana, 5 veces la tercera semana, 4 veces la cuarta semana y 2 veces la quinta y sexta semana; presenta un 61.3 % de mayor ganancia que la frecuencia con volteo diario.

## 9. RECOMENDACIONES

Se recomienda:

1. Utilizar la frecuencia propuesta en el tratamiento Método Combinado (MC) para producir compost de buena calidad a bajo costo.
2. Utilizar las variables porcentaje de germinación, temperatura, nivel de nitratos, nivel de amonios y presencia de nitritos para la medición de la calidad del compost.
3. Investigar sobre otras variables que se puedan utilizar para la medición de calidad en abonos orgánicos.
4. Promover la medición de variables en la elaboración de compost, en diferentes ámbitos, para evitar la aplicación de compost de baja calidad a los suelos agrícolas.
5. Incentivar la discusión sobre la necesidad de establecer normas nacionales para la estandarización de variables de calidad en la elaboración de abonos orgánicos.
6. Evaluar diferentes materiales y proporciones de materiales en la elaboración de compost y su influencia sobre las variables analizadas.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

1. Anacafe (Asociación Nacional del Café, GT). 1999. Manual de caficultura orgánica. Guatemala. 187 p.
2. Andersen, A. 1958. Science in agriculture; advanced methods for sustainable farming. 2 ed. Austin, Texas, US, Acres Publishers. 280 p.
3. BBC. 1999. Compost maturity and compost stability (en línea). BBC Labs. Tempe, AZ, US. Consultado 23mar. 2001. Disponible en: <http://www.bbclabs@aol.com>.
4. Briton, W. 2000. Compost maturity as expressed by phytotoxicity and volatil organic acids (en línea). US, Woodsend Reseach. Consultado 23 mar. 2001. Disponible en <http://www.woodsend.org>.
5. Buckman, H; Brady, N. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. de Salord Barceló. Barcelona, España, Montaner y Simon. 590 p.
6. Castañeda, O; Castañeda, P. 2001. El café ecológico: algunas recomendaciones para su cultivo, procesamiento y comercialización. Guatemala, Vecinos Mundiales. 230 p.
7. Compost Council of Canada. 2000. Setting the standards; a summary of compost standards in Canada (en línea). Consultado 23 mar. 2001. Disponible en <http://www.compost.org/standard-html>.
8. Cruz, JR. de la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala. Instituto Nacional de Bosques. 42 p.
9. Diver, S. 2000. Compost quality standards (en línea). US, Association of Technology Transfer in Rural Areas. Consultado en 23 mar. 2001. Disponible en <http://ncalark.uark.edu/steved/compost.standars.html>.
10. Diver, S. 2000. Controlled microbial composting and humus management (en línea). Consultado 23 de mar. 2001. Disponible en <http://ncalrk.uark.edu/steved/cmc.compost.html>.
11. Fassbender, H. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Costa Rica, IICA. 395 p.
12. INFOAGRO. 2001. El compostaje (en línea). Madrid, España. Consultado 23 mar. 2001. Disponible en <http://www.infoagro.com>.



13. Kolmans, E; Vasquez, D. 1996. Manual de agricultura ecológica. Managua, Nicaragua, SIMAS. 222 p.
14. López, C. 1998. Monografía de Tactic, A.V. 2 ed. Guatemala, Editorial Éxito. 182 p.
15. Lubke, A; Hildebradt, U. 2001. Seminario introductorio de compostaje microbiano controlado. Guatemala, Agexpront / Controlled Microbiological Composting. 28 p.
16. Lubke, U; Lubke, S. 2000. Compost training. Germany, Controlled Microbiological Composting. 132 p.
17. Marx, ES; Hart, J; Stevens, RG. 1999. Soil test interpretation guide. US, Oregon State University Extension Service. 8 p.
18. Montgomery, D. 1991. Diseños y análisis de experimentos. México, Iberoamericana. 590 p.
19. Primavesi, A. 1980. El manejo ecológico del suelo. Trad. Silvia Lerendegua. Buenos Aires, Argentina, El Ateneo. 432 p.
20. Reitjes, C; Havekort, B; Bayer, A. 1992. Cultivando para el futuro. Trad. Raquel Núñez. Montevideo, Uruguay, Nordan-Comunidad. 268 p.
21. Simmons, C; Tarano, JM ; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.
22. Soilfoodweb. 2000. Compost, humus, maturity and stability (en línea). US. Consultado 23 mar. 2001. Disponible en <http://www.soilfoodweb.com>.
23. Soilfoodweb. 2000. The compost foodweb (en línea). US. Consultado 23 mar. 2001. Disponible en <http://www.soilfoodweb.com>.
24. Teuscher, H; Adler, R. 1965. El suelo y su fertilidad. Trad. Rodolfo Vera. México, CECSA. 510 p.
25. Tisdale, S; Nelson, W. 1966. Fertilidad del suelo. Trad. Jorge Bacash. México, UTEHA. 760 p.
26. Trautmann, N. 2000. Compost microorganisms (en línea). US, Cornell Compost. Consultado 23 mar. 2001. Disponible en <http://www.cfe.cornell.edu/compost/microorg.html>.

27. USDA; USCC. 2001. Test methods for the examination of composting and compost (en línea). US, Department of Agriculture; US Composting Council. Consultado 23 mar. 2001. Disponible en [http:// www.usda.com](http://www.usda.com)
28. Woodsend Reasearch. 2000. Interpretation of waste and compost test (en línea). Journal of Woods end Research. Lab. 1(4):17. Consultado 23 mar. 2001. Disponible en <http://www.woodsend.org>.
29. Woodsend Research. 2000. Solvita compost maturity test (en línea). US. Consultado 23 mar. 2001. Disponible en <http://www.woodsend.org>

ANEXO 1





## BOLETA DE EVALUACIÓN 2

"Prueba de fitotoxicidad"

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Finca: \_\_\_\_\_

Muestra	Numero de plantas germinadas	% de plantas germinadas
A1R1		
A1R2		
A1R3		
A1R4		
B2R1		
B2R2		
B2R3		
B2R4		
C4R1		
C4R2		
C4R3		
C4R4		
CMCR1		
CMCR2		
CMCR3		
CMCR4		
ANAR1		
ANAR2		
ANAR3		
ANAR4		

ANEXO 2



## 2.1. Relación Carbono/Nitrogeno de materiales orgánicos

Material	Relación C/N
Orina	0.8
Lixiviados de estiércol	1.9 - 3.1
Desechos mixtos de matadero	2
Sangre	3
Residuos de camarón	3.4
Hueso molido	5
Heces fecales	6-10
Harina de pescado	6
Materia verde	7
Humus de tierra negra	10
Amaranto	11
Repollo	12
Tomate	12
Lodos de alcantarilla tratados	11
Lodos de alcantarilla sin tratar	14
Compost de lodos de alcantarilla sin tratar	11-12
Estiércol almacenado por 8 meses	10
Cáscara de maní	11
Recortes de césped / grama	12
Tabaco	13
Estiércol de cerdo	14
Estiércoles de aves	15
Compost maduro de estiércol composteado	15
Estiércol amontonado por 3 meses	15
Desechos de leguminosas	15
Restos de cebolla	15
Estiércol de oveja	16
Alfalfa	16-20
Pulpa de café	18
Estiércol de vaca	19
Desechos de hortalizas en general	19
Broza de café	20
Estiércol fresco con poca paja	20
Pastos	20
Desechos de cocina	23
Residuos de cosecha de papa	25
Zanahoria	27
Estiércol fresco con bastante paja	30
Turba negra	30
Pinochas de pino	30

Basura municipal	31
Restos de frutas	40
Helechos	43
Estiércol de caballo	50
Corteza de árboles	50
Turba blanca	50
Hojas caducas de árboles	54
Mazorcas de maíz	60-73
Paja de cereales	50-150
Paja de avena	50
Paja de centeno	65
Rastrojo de granos básicos	70
Paja de trigo	125
Hojarasca de encino	150
Aserrín descompuesto	208
Aserrín fresco	511
Papel	100-800

Fuentes:

- a) Seminario de Composteo Microbiano Controlado por Angelika Lubke y Urs Hildebrandt.
- b) Weblife: Humanure handbook: Chapter 3: The Carbon Nitrogen Ratio.  
[www.weblife.org](http://www.weblife.org)
- c) Manual de caficultura orgánica. Anacafé.

## 2.2. Cálculo de Relación Carbono :Nitrógeno de la compostera

### 1. Conociendo el peso de 2 sustratos:

- 5 libras de hojas de grama con una relación C:N de 20:1 (50%)
- 5 libras de estiércol con una relación C:N de 40:1 (50%)

$$(\% \text{Peso 1} \times \text{Rel C:N 1}) + (\% \text{Peso 2} \times \text{Rel C:N 2}) = \text{Rel C:N final}$$

$$(0.5 \times 20/1) + (0.5 \times 40/1) = \text{Rel C:N final}$$

$$10 + 20 = 30 : 1 \quad (\text{Rel C:N final})$$

### 2. Determinando el peso de uno de los 2 sustratos:

- 5 libras de estiércol con relación C:N de 25:1
- X libras de mazorcas con relación C:N de 60 :1

X = Peso de la mazorcas

Pt = Peso total compostera

X/Pt = % de peso de las mazorcas.

Pt - X = 5

$$(\% \text{ peso 1} \times \text{Rel C:N 1}) + (\% \text{ peso 2} \times \text{Rel C:N}) = \text{Rel C: final}$$

$$(5/Pt \times 25/1) + (X/Pt \times 60/1) = 30/1$$

$$125/Pt + 60x/Pt = 30$$



$$125 + 60x = 30 \text{ Pt}$$

$$125 + 60x = 30 (5+x)$$

$$125 + 60x = 150 + 30x$$

$$30x = 25$$

$$x = 25/30$$

$x = 0.83$  libras de mazorca de maíz.

### 3. Conociendo el peso de los 3 sustratos:

- 5 libras de grama con una rel C:N de 20 :1 ( 42 % del peso total)
- 5 libras de hojas con una rel C:N de 40:1 ( 42 % del peso total)
- 2 libras de estiércol con una rel C: N de 25:1 ( 16 % del peso total)

$$(\% \text{ Peso } 1 \times \text{Rel C:N } 1) + (\% \text{ Peso } 2 \times \text{Rel C:N } 2) + (\% \text{ Peso } 3 \times \text{Rel C:N } 3)$$

$$(0.42 \times 20/1) + (0.42 \times 40/1) + (0.16 \times 25/1) = \text{Rel C:N final}$$

$$8.4 + 16.8 + 4 = 29.2 \text{ (Rel C:N final)}$$

#### 4. Determinando el peso de uno de los 3 sustratos:

- 5 libras de estiércol con rel C:N de 25:1
- 4 libras de hojas con rel C:N de 20:1
- Xlibras de mazorcas con rel C:N de 60:1

$W$  = Peso de mazorca       $W/T$  = porcentaje peso mazorca

$T$  = Peso total

$(T-W-4)$  = Peso estiércol       $5/T$  = porcentaje peso estiércol

$(T-W-5)$  = Peso hojas       $4/T$  = porcentaje peso hojas

$(\% \text{ Peso } 1 \times \text{Rel C:N } 1) + (\% \text{ Peso } 2 \times \text{Rel C:N } 2) + (\% \text{ Peso } 3 \times \text{Rel C:N } 3)$

$(5/T \times 25/1) + (4/T \times 20/1) + (W/T \times 60/1) = \text{Rel C:N final}$

$$125/T + 80/T + 60 W/T = 30$$

$$205 + 60W = 30 T$$

$$205 + 60 W = 30 (5+4+W)$$

$$205 + 60 W = 150 + 120 + 30W$$

$$30 W = 270 - 205$$

$$30 W = 65$$

$$W = 65/30$$

$$W = 2.2 \text{ libras de mazorcas.}$$

ANEXO 3



## METODOLOGÍA

### Para evaluación de variables en compost

Elaboradas por familia Lubke, Austria.

#### 1. Test de nitratos y nitritos:

##### 1.1. Materiales.

- Balanza para medición de compost.
- Reactivo: Cristales de cloruro de potasio.
- Tazas plásticas con cuchara para agitar.
- Papel filtro de 15 cm.
- Tiras de test merckoquant No. 10020.
- Probeta de 100 ml.
- Agua destilada.
- Cuchara para agitar.

##### 1.2. Metodología:

- Preparación de la solución para extracción

Pese 7 ú 8 gramos (0.1N) de cristales cloruro de potasio en la balanza y transfiera esta cantidad a 1 erlenmeyer de un litro, llenando con 1000 ml de agua destilada.

- Mezclado y pesado de la muestra de compost:

Mezclar en una taza de plástico la cantidad de compost de acuerdo con su estado de descomposición con la correspondiente cantidad de KCl de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla 1.1. Cantidad de muestra y extracto para el tipo de muestra.

Composición Muestra	Composición Extracto KCl	Composición	Composición
Compost terminado ml		50 gr.	100
Compost activo		30 gr.	90 ml
Compost crudo		30 gr.	120 ml

- **Filtración de la muestra de compost:**

Doblar el papel filtro 2 veces y colocar dentro de la suspensión de compost de tal forma que la filtración ocurra de afuera para adentro.

- **Medición de nitratos(NO<sub>3</sub>):**

Cuando hay suficiente filtrado dentro del papel filtro, sumerja la banda de medición en el filtrado por siete segundos y luego espere 1 minuto. Después de este minuto, compare la coloración de la zona de reacción de nitratos de la banda con la escala de colores que se incluye en el tubo de la casa fabricante.

- **Medición de Nitritos(NO<sub>2</sub>):**

El nitrito es medido de la misma manera que los nitratos. Sin embargo, el color de la segunda zona de reacción de nitritos es comparado con la escala del nitrato. Los valores de concentración son equivalentes a 1/10 de los valores del nitrato.

- **Factor de corrección por dilución:**

Este factor de corrección a utilizar depende del tipo de muestra. Ver tabla 1.1.

**Tabla 1.2. Factor de corrección por dilución para muestra de compost.**

Tipo de compost	Dilución	Factor
Compost terminado	1:2	X2
Compost activo	1:3	X3
Compost crudo	1:4	X4

- **Factor de corrección para humedad:**

Este factor de corrección se aplica dependiendo de la humedad de la muestra.

**Tabla 1.3. Factor de corrección para humedad del compost.**

Contenido de agua	Compost
Seco	X1.3
Húmedo	X1.5
Mojado	X2.0

## 2. Test de Amonios:

### 2.1. Materiales:

- Balanza para medición de compost.
- Reactivo: Cloruro de potasio en cristales.
- Tazas plásticas
- Papel filtro de 15 cm .
- Kit de medición de amonios 14657 ó 11117.
- Probeta 100 ml.
- Jeringas de 5 cc.
- Agua destilada.
- Cuchara para agitar.

### 2.2. Metodología:

- Preparación de la solución para extracción:

Pese 7 ú 8 gramos (0.1N) de cloruro de potasio en la balanza y transfiera esta cantidad a 1erlenmeyer de un litro, llenando con 1000 ml de agua destilada.

- Mezclado y pesado de la muestra de compost:

Mezclar en una taza de plástico la cantidad de compost de acuerdo con su estado de descomposición con la correspondiente cantidad de KCl de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla 2.1. Cantidad de muestra y extracto para el tipo de muestra.

Composición Muestra	Composición Extracto KCl	
Compost terminado	50 gr.	100 ml
Compost activo	30 gr.	90 ml
Compost crudo	30 gr.	120 ml

- Filtración de la muestra de compost:

Doblar el papel filtro 2 veces y colocar dentro de la suspensión de compost de tal forma que la filtración ocurra de afuera para adentro.



- **Medición para Nitrógeno en forma de Amonio:**

- Cuando haya suficiente filtrado dentro del papel filtro transfiera 5 ml del filtrado con la jeringa al recipiente apropiado.
- Agregue 3 gotas del reactivo 1.
- Agregue 3 gotas del reactivo 2.
- Agregue 3 gotas de reactivo 3.
- Después de haber agregado los 3 reactivos ponga el recipiente en la zona blanca del cuadro de color, cerca del color más parecido y lea el valor correspondiente( La lectura solo debe ser tomada durante el primer minuto después de finalizada la reacción. Después el fluido cambia de color.)

- **Factor de corrección por dilución:**

Este factor de corrección a utilizar depende del tipo de muestra. Ver tabla 2.1.

Tabla 2.2. Factor de corrección por dilución para muestras de compost.

Tipo de compost	Dilución	Factor
Compost terminado	1:2	X2
Compost activo	1:3	X3
Compost crudo	1:4	X4

- **Factor de corrección para humedad:**

Este factor de corrección se aplica dependiendo de la humedad de la muestra.

Tabla 2.3. Factor de corrección para humedad del compost.

Contenido de agua	Compost
Seco	X1.3
Húmedo	X1.5
Mojado	X2.0

### 3. Prueba de ácido sulfhídrico:

#### 3.1. Materiales:

- Vaso de vidrio de 400 ml.
- Cuchara de acero inoxidable.
- Tiras de papel de acetato de plomo.
- Ácido clorhídrico al 18%.
- Caja de petrí
- Probeta de 50 ml.
- Agua destilada

#### 3.2. Metodología:

- a. Deposite una cucharada sopera de compost fresco en el recipiente de 400 ml a temperatura ambiente.
- b. Humedezca 2 bandas de papel de acetato de plomo con agua destilada y péguelas de ambos lados de la caja de petrí.
- c. Agregue 50 ml de ácido clorhídrico al 18 % a la muestra de compost e inmediatamente coloque la caja de petrí sobre del vaso de vidrio.
- d. Agite la mezcla ligeramente. (En caso de formación de espuma agite con una cuchara).
- e. Espere 10 minutos para que el ácido sulfhídrico sea liberado de la muestra y reaccione con la tira de papel.
- f. Compare la coloración de las 2 bandas usando la banda de adentro para la medición y la de afuera como comparador.

ANEXO 4



Secuencia metodológica fotográfica:

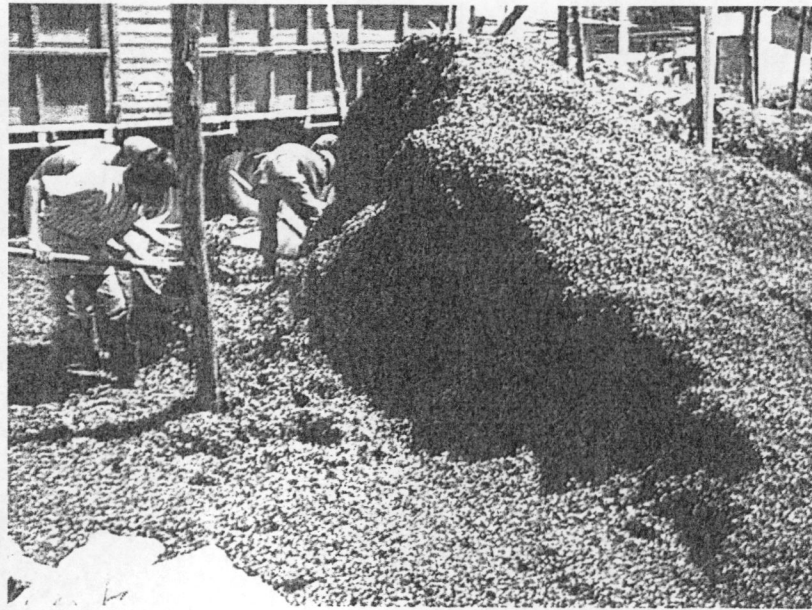


Figura 1. Origen del material fresco o verde. Pulpa de café.

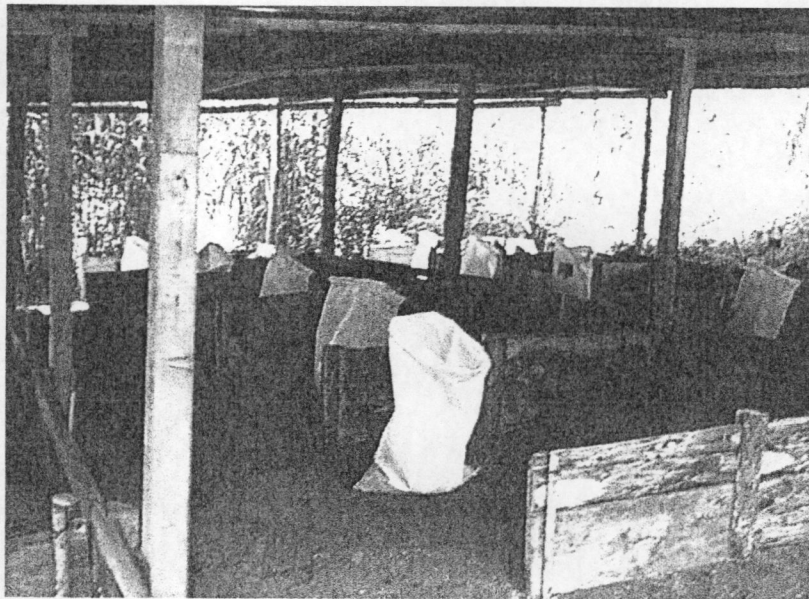


Figura 2. Galera donde se realizó el experimento. Finca Se Chaj.

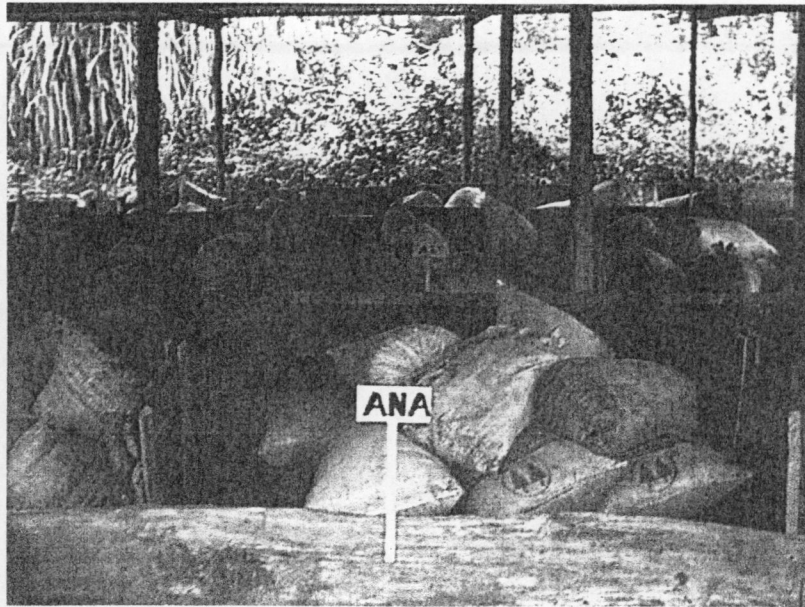


Figura 3. Materiales iniciales de la producción de composteras.

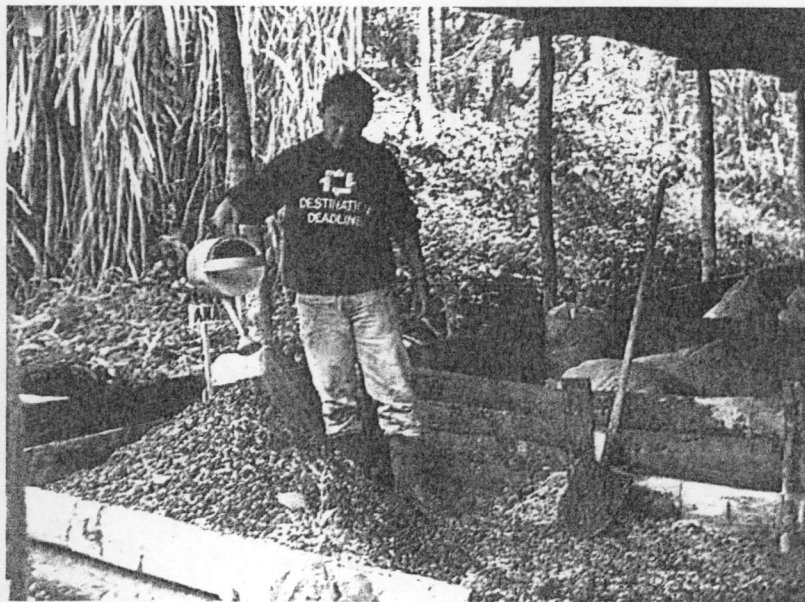


Figura 4. El autor de la tesis en la elaboración de compost.



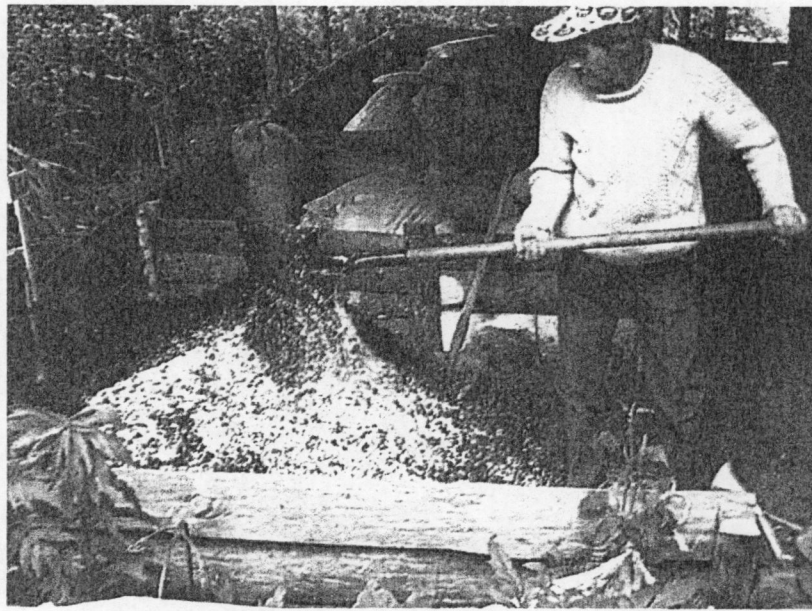


Figura 5. Ricardo Juárez en los volteos de composteras.

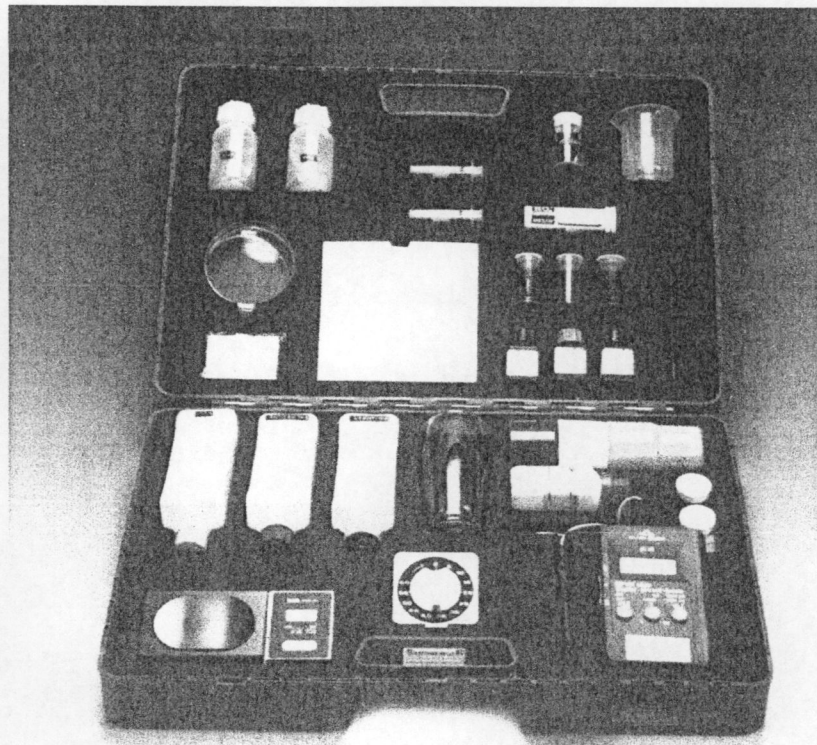
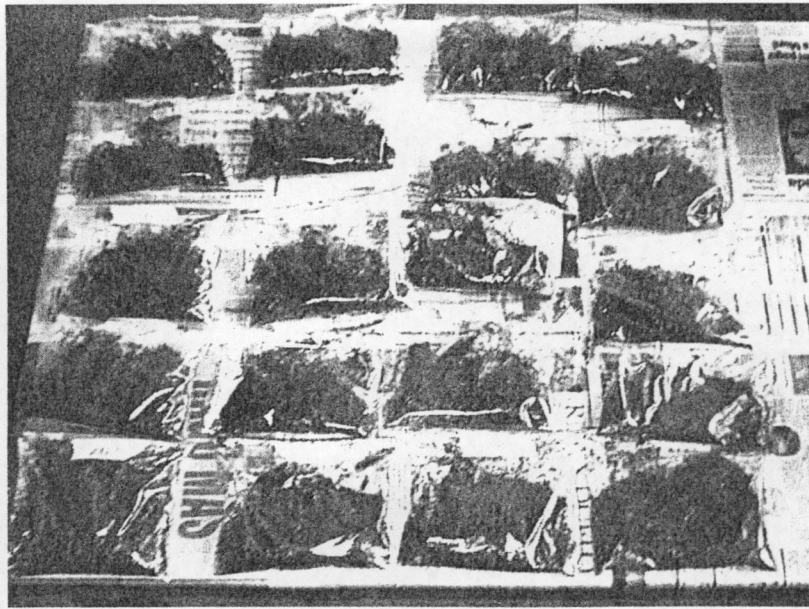


Figura 6. Mini-laboratorio para Análisis de compost.

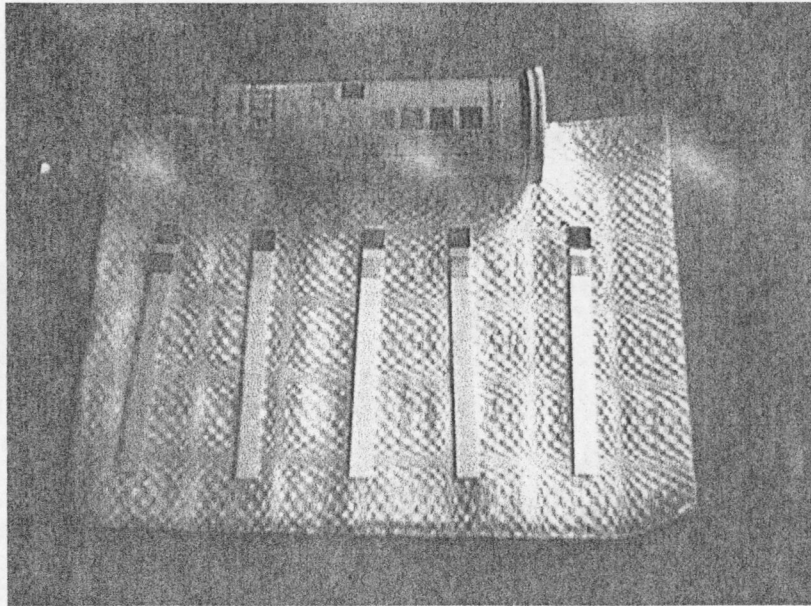




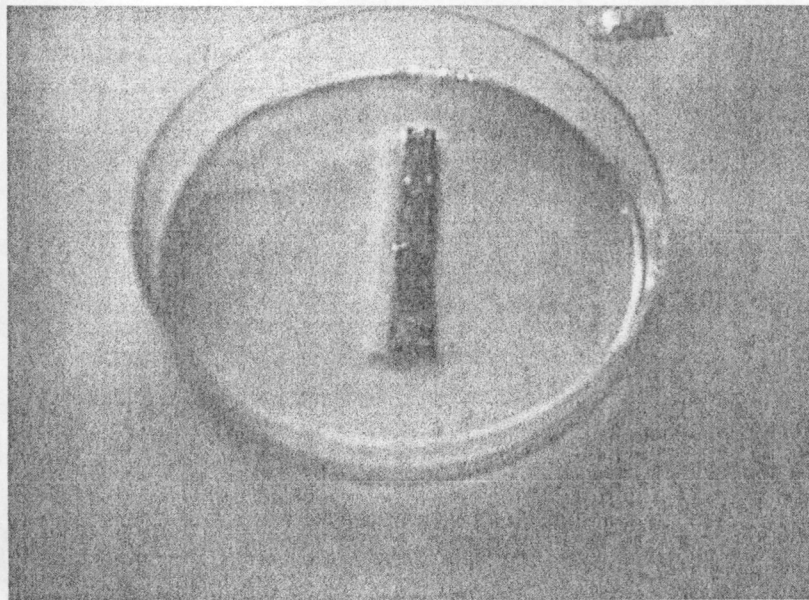
**Figura 7. Muestras de compost obtenidas semanalmente.**



**Figura 8. El autor realizando las pruebas de las diferentes variables.**



**Figura 9. Resultados de variables Nitratos y Nitritos.**



**Figura 10. Presencia de ácido sulfhídrico en la 3ra semana.**



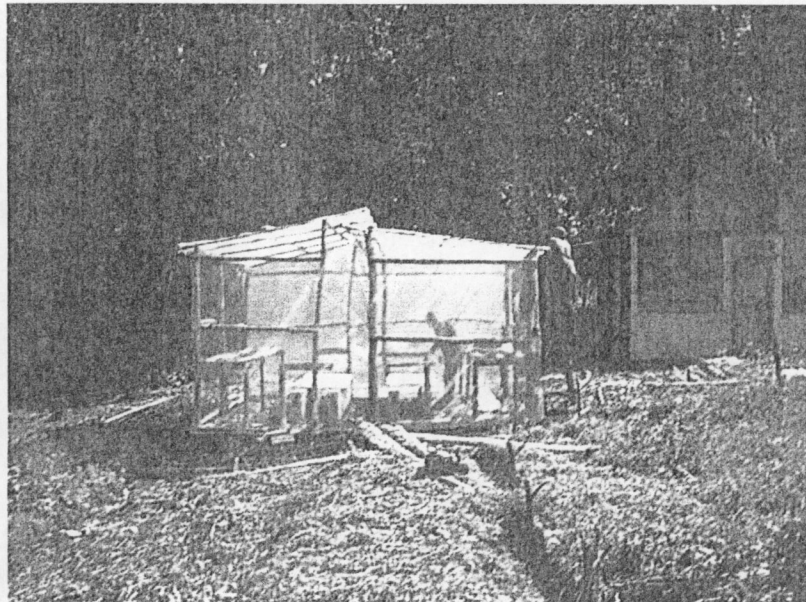


Figura 11. Construcción de vivero para prueba de germinación.

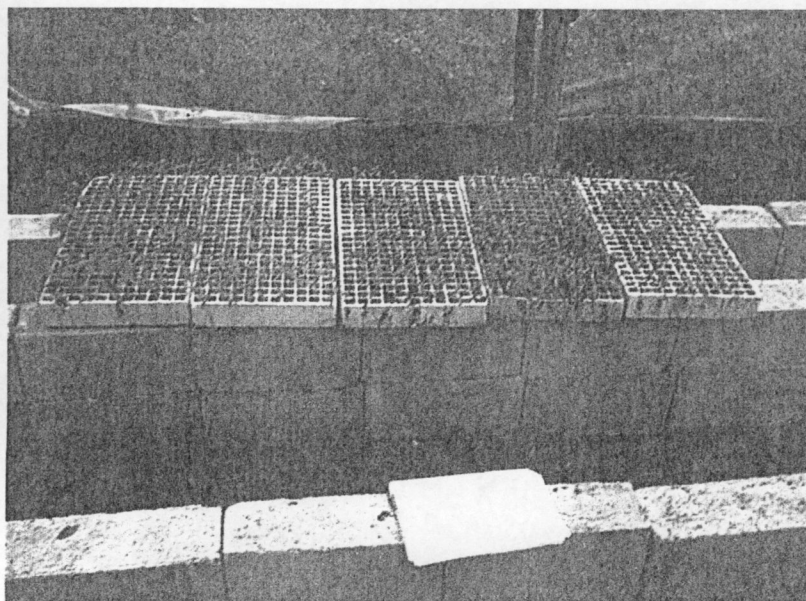


Figura 12. Resultados de prueba de germinación de semillas.  
Comparación de los 5 tratamientos.





FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA:

" EVALUACION DE 5 FRECUENCIAS DE  
VOLTEO PARA LA PRODUCCION DE COM-  
POST EN LA FINCA SEHAJ, MUNICIPIO  
DE TACTIC, ALTA VERAPAZ".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE:

LARRY PAUL FUENTES

CARNET:

9517294

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES:

Ing. Agr. José Jesús Chonay Pantzay  
Ing. Agr. Roderico Antonio Estrada M.  
Ing. Agr. Marco Tulio Aceituno Juárez  
Ing. Agr. Gricelda Lily Gutierrez A.

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

*Oscar Rolando Castañeda*  
Ing. Agr. Oscar Rolando Castañeda Samayoa  
A S E S O R

*Fredy Rolando Hernández Ola*  
Ing. Agr. Fredy Rolando Hernández Ola  
A S E S O R

*Ariel Abderraman Ortiz Lopez*  
Dr. Ariel Abderraman Ortiz Lopez  
DIRECTOR DEL IIA

I M P R I M A

*Walter Estuardo García Tello*  
Ing. Agr. Walter Estuardo García Tello  
D E C A N O E N F U N C I O N E S

AOL6nm

c. c. Archivo

Control Académico

IIA

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA. C.A.

TEL/FAX (502) 476-9794

e-mail: [ilusac.edu.gt](mailto:ilusac.edu.gt) § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomia.htm>