

01177



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES INOCULOS EN LA  
DEGRADACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**P R E S E N T A :**  
**MARÍA ALBERTINA REYES CONRADO**

DIRECTOR DE TESIS: M.C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS  
ASESOR EXTERNO: DR. ERNESTO FAVELA TORRES



MÉXICO, D. F.

FEBRERO DEL 2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

		Pag.
	<b>RESUMEN</b>	
<b>I</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>2</b>
<b>III</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>3</b>
<b>IV</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>V</b>	<b>MARCO TEORICO</b>	<b>5</b>
5.1	Métodos de tratamiento y disposición utilizados en el país.	5
5.1.1	Definición de compostaje y clasificación genérica	5
5.1.2	Fundamentos del proceso de compostaje	6
5.1.3	Naturaleza de los materiales a compostar.	7
5.1.4	Biología en el compost.	8
5.1.5	Inoculación	9
5.1.6	Relación C/N	10
5.1.7	Descripción del proceso de compostaje.	12
5.1.8	Factores que influyen en el proceso de compostaje	13
5.2.	Definición del producto a inocular	15
5.2.1	Microorganismos principales en EM y su acción en el suelo	16
5.2.2	Aplicaciones de suspensión de EM.	20
5.2.2.1	EM solución stock	20
5.2.2.1.1	Usos	20
5.2.2.2	EM bokashi	20
5.2.2.2.1	Definición de bokashi	20
5.2.2.2.2	Usos de EM bokashi	21
5.2.2.2.3	Preparación del bokashi mediante procesos anaerobios	21
5.2.3.	Precios de adquisición de EM	21
5.3	Consumo de agua en el proceso industrial del beneficiado húmedo tradicional	22
5.3.1	Pulpa de café.	22
5.3.1.1	Caracterización de la pulpa de café	23
5.3.1.2	Valor de la pulpa como abono	23
<b>VI</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODO</b>	<b>25</b>
6.1	Area de estudio	25
6.2	Metodología	25
6.2.1	Caracterización inicial de los desechos	25
6.2.2	Elaboración de inoculos	25
6.2.2.1	EM bokashi	26
6.2.2.1.1	Necesidades de EM para elaborar el bokashi	26
6.2.2.2	EM en suspensión	27
6.2.2.3	Lodos	27
6.2.2.3.1	Muestreo	27

6.2.2.3.2	Requerimiento de lodos	28
6.2.3	Construcción de pilas	28
6.2.4	Métodos analíticos usados en la cuantificación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.	29
6.2.4.1	Control de la temperatura	29
6.2.4.2	Análisis de humedad	29
6.2.4.3	Peso volumétrico	29
6.2.4.4	Análisis de sólidos volátiles	29
6.2.4.5	Monitoreo del pH	30
6.2.4.6	Análisis de materia orgánica y carbono orgánico	30
6.2.4.7	Nitrógeno amoniacal y nitrógeno de nitratos	30
6.2.4.8	Nitrógeno total	31
6.2.4.9	Fósforo total	31
6.2.4.10	Potasio total	31
6.2.4.11	Relación C/N	31
6.2.4.12	Análisis microbiológico	31
6.2.5	Envase del producto final	31
6.2.6	Análisis estadístico de los datos	32
<b>VII</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	<b>35</b>
7.1	Caracterización inicial de los materiales a compostar	35
7.2	Análisis de los parámetros del proceso	36
7.2.1	Temperatura en pilas de pulpa de café	36
7.2.2	Temperatura en pilas de basura	37
7.2.3	Temperatura en mezcla de pulpa de café basura	38
7.2.4	Porcentaje de Humedad	39
7.2.4.1	Porcentaje de humedad en pilas de pulpa de café	39
7.2.4.2	Porcentaje de humedad en pilas de basura	40
7.2.4.3	Porcentaje de humedad en mezcla de basura pulpa de café	40
7.2.5	Porcentaje de sólidos volátiles	41
7.2.5.1	Porcentaje de sólidos volátiles en pilas de pulpa de café	41
7.2.5.2	Porcentaje de sólidos volátiles en pilas de basura	42
7.2.5.3	Porcentaje de sólidos volátiles en la mezcla basura pulpa de café.	42
7.2.6.	Análisis de pH.	42
7.2.6.1	Variación del pH en pilas de pulpa de café	42
7.2.6.2	Variación del pH en pilas de basura	43
7.2.6.3	Variación del pH en mezcla de basura pulpa de café	44
7.2.7	Materia orgánica y carbono orgánico	45
7.2.7.1	Materia orgánica y carbono orgánico en pilas de pulpa de café	45
7.2.7.2	Materia orgánica y carbono orgánico en pilas de basura	48
7.2.7.3	Materia orgánica y carbono orgánico en mezcla de basura pulpa de café	50
7.2.8	Nitrógeno amoniacal y nitrógeno de nitratos	52
7.2.8.1	Nitrógeno amoniacal y de nitratos en pilas de pulpa de café	52
7.2.8.2	Nitrógeno amoniacal y de nitratos en pilas de basura	53
7.2.8.3	Nitrógeno amoniacal y de nitratos en mezcla	54

7.2.9	Relación C/N	55
7.2.9.1	Relación C/N en pilas de pulpa de café	55
7.2.9.2	Relación C/N en pilas de basura	56
7.2.9.3	Relación C/N mezcla de basura pulpa de café	57
7.2.10	Nitrógeno total en compost de los diferentes materiales	58
7.2.10.1	Nitrógeno total en pilas de pulpa de café	58
7.2.10.2	Nitrógeno total en pilas de basura	59
7.2.10.3	Nitrógeno total en mezcla de basura pulpa de café	60
7.2.11	Fósforo total	61
7.2.11.1	Fósforo total en pilas de pulpa de café	61
7.2.11.2	Fósforo total en pilas de basura	62
7.2.11.3	Fósforo total en mezcla de basura pulpa de café	63
7.2.12	Potasio total	63
7.2.12.1	Porcentaje de potasio total inicial y final.	63
7.2.13	Control epidemiológico del compost	64
7.2.13.1	Prueba de hipótesis para la concentración de termófilos en compost de pulpa de café	65
7.2.13.2	Prueba de hipótesis para coliformes fecales en compost de pulpa de café.	66
7.3	Envase del producto final	66
7.4	Análisis de costos en el proceso de degradación	67
<b>VIII</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>70</b>
<b>IX</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>74</b>
<b>X</b>	<b>ANEXOS</b>	
A1	Resultados de EM en la purificación de aguas residuales generadas en una porqueriza de Nagamine	78
A2	Resultados del estudio de compostaje de gallinaza desarrollado en la EARTH del Limón, Costa Rica	79
B	Resultados de la aplicación del bokashi en diferentes cultivos	80
C	Tablas	81
D	Fotografías	85
E	Análisis estadístico de los datos para la pulpa de café	92
F	Análisis estadístico de los datos para la basura	106
G	Análisis estadístico de los datos para la mezcla basura pulpa de café	117
H1	Pérdidas de materia orgánica en pilas de pulpa de café	130
H2	Pérdidas de materia orgánica en pilas de basura	132
H3	Pérdidas de materia orgánica en mezcla de basura pulpa de café.	134

## LISTA DE TABLAS

Título	Nº de tabla	pag
Microorganismos nativos en los lodos	1	8
Análisis de relación C/N en extracto de compost	2	11
Relación C/N de compost y sus correspondientes materiales	3	12
Rango de temperatura óptima para varios microorganismos	4	13
Costos de adquisición de EM	5	22
Caracterización física y química aproximada de la pulpa de café según Braham	6	23
Composición química aproximada de la pulpa de café	7	24
Caracterización de la pulpa de café en Colombia y Centroamérica	8	24
Pilas inoculadas con EM bokashi	9	26
Volumen de materiales utilizados	10	26
Pilas inoculadas con EM suspensión	11	27
Resumen del total de pilas a tratar	12	28
Caracterización microbiológica inicial de los materiales a tratar	13	35
Caracterización físico y química inicial de los materiales a degradar.	14	35
Intervalo de temperatura durante el proceso de compostaje de los diferentes materiales	15	39
Porcentaje de humedad inicial y final en pilas de pulpa de café	16	39
Porcentaje de humedad inicial y final en pilas de basura	17	40
Porcentaje de humedad inicial y final en pilas de basura pulpa de café en relación 1:1	18	41
Relación C/N final en compost de los de los diferentes materiales	23	57
Caracterización microbilógica final	26	65
Porcentaje de reducción del volumen final	27	67
Requerimientos para la elaboración de EM bokashi	28	68
Gastos incurridos en la inoculación con EM bokashi	29	68
Requerimientos por pila en la inoculación con EM suspensión	30	69
Gastos incurridos en la inoculación con EM suspensión	31	69
Costos de adquisición de EM	32	69

**TABLAS EN ANEXOS C**

	pag	N° de tabla
Contenido de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> y N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> en pilas de pulpa de café	81	19
Contenido de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> y N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> en pilas de basura	81	20
Contenido de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> y N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> en pilas de pulpa de café basura en relación 1:1	82	21
Variación de la relación C/N en pilas de pulpa de café	83	22
Variación de la relación C/N en pilas de basura	83	24
Variación de la relación C/N en pilas de basura pulpa de café en relación 1:1	84	25

**LISTA DE GRAFICOS**

Titulo	N°	pag.
Comportamiento de la temperatura durante la degradación en pilas de pulpa de café	1	36
Comportamiento de la temperatura durante la degradación en pilas de basura	2	37
Comportamiento de la temperatura durante la degradación en pilas de basura pulpa de café en relación 1:1	3	38
Variación del pH en pilas de pulpa de café	4	43
Variación del pH en pilas de basura	5	44
Variación del pH en pilas de basura pulpa de café en relación 1:1	6	45
Variación del porcentaje de materia orgánica en pilas de pulpa de café	7	47
Variación del porcentaje de carbono orgánico en pilas de pulpa de café	8	47
Variación del porcentaje final de materia orgánica y carbono en compost de pulpa de café	9	48
Variación del porcentaje de materia orgánica en pilas de basura	10	49
Variación del porcentaje de carbono orgánico en pilas de basura	11	49
Variación del porcentaje final de carbono orgánico materia orgánica en compost de basura	12	50
Variación del porcentaje de materia orgánica en mezcla de basura pulpa de café	13	50
Variación del porcentaje de carbono orgánico en mezcla de basura pulpa de café	14	51

Variación del porcentaje final de materia orgánica y carbono en mezcla	15	52
Variación del contenido de $N-NH_4^+$ en pilas de pulpa de café	16	53
Variación del contenido de $N-NH_4^+$ en pilas de basura		
Variación del contenido de $N-NH_4^+$ en pilas de pulpa de café basura en relación 1:1	17	54
Variación del contenido de $N-NO_3^-$ en pilas de pulpa de café basura en relación 1:1	18	55
Contenidos final de nitrógeno en compost de diferentes materiales	19	58
Variación del porcentaje de nitrógeno total en pilas de pulpa de café	20	59
Variación del porcentaje de nitrógeno total en pilas de basura	21	60
Variación del porcentaje de nitrógeno total en Mezcla de basura pulpa de café	22	61
Variación del porcentaje de fósforo total en compost de diferentes materiales	23	62
Contenido de potasio total en compost de diferentes materiales	24	64



## **GLOSARIO**

**MINSA : Ministerio de salud**

**EARTH : Escuela de agronomía de la región tropical húmedo.**

**UNI : Universidad Nacional de Ingeniería**

**ALMA : Alcaldía de Managua**

**CATIE : Centro Agronómico Tropical**

**CICAFE: Centro de Investigación del café**

**EM : Microorganismos Efectivos**

## **AGRADECIMIENTO.**

Quiero agradecer a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización de este trabajo, especialmente al Ing. Idsart Dijkstra ex asesor y representante del proyecto DUT- UNI así como al personal del área administrativa del proyecto por el apoyo logístico brindado.

Agradezco al Dr. Ernesto Favela Torres por haber asesorado el trabajo y que gracias a sus valiosas sugerencias, experiencia y apoyo incondicional fue posible la culminación del mismo. Así mismos agradezco profundamente a la M en I. Francisca Soler Anguiano por haber dedicado parte de su tiempo y experiencia en la orientación y asesoría en el manejo estadístico de la información.

No quisiera finalizar sin antes agradecer al Director de tesis M en C. Constantino Gutiérrez Palacios por haber guiado, orientado y revisado este trabajo de tesis.

Gracias a todos por el apoyo incondicional.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mí amor, cariño y respeto a la mujer que me dio el ser, porque sin su apoyo jamás hubiera podido culminar esta obra que emprendí hace más de dos año. También quiero dedicarlo al ser más importante de mí vida, mí pequeña hija, Katherine, por la paciencia, comprensión y madurez asumida durante todo este tiempo que hemos vivido separadas.

A Dios, por darme la fortaleza, el vigor, la paciencia y serenidad para enfrentar los diferentes retos en mí vida.

## RESUMEN

Un total de 13 parámetros físicos, químicos y microbiológicos fueron monitoreados durante un periodo de dos meses y medio en el proceso de compostaje de la pulpa de café, basura y mezcla de éstos dos desechos en la misma proporción. Se manejó un total de 12 pilas correspondiendo cuatro pilas de pulpa de café, cuatro de basura y cuatro pilas de la mezcla. Una pila de cada material fue inoculada con EM bokashi, otra con EM suspensión y la última con lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales. EL testigo estuvo conformado por la cuarta pila de cada material a las cuales no se le adicionó inóculo.

Con este trabajo se pretendió analizar el efecto de éstos inóculos sobre la degradación de cada material y su incidencia sobre la calidad del producto final. Sobre la base de los resultados del análisis estadístico para el porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico en la pulpa de café, se concluye que los tres inóculos influyen en la degradación de la materia orgánica y carbono orgánico en un lapso de tiempo de 10 semanas a diferencias del testigo que se extendió a más tiempo. No fueron encontradas diferencias entre tratamientos y los resultados finales fueron de 19.81 %MS para los tratamientos a base de EM, los cuales fueron estadísticamente iguales al tratamiento con lodos con un 24.29 % MS. El testigo presentó un porcentaje final de 32.75 % M.S para el mismo periodo de tiempo analizado. La mejor alternativa en cuanto a calidad se refiere resultó ser el tratamiento con lodos para la pulpa de café con resultado final de **0.949 % de N, 0.9441 % de P y 0.8 % de K.**

El análisis estadístico de los datos para el porcentaje de materia orgánica en la basura dio los mismos resultados que en las pilas de pulpa de café por lo que se concluyó que los inóculos aumentan la degradación de la basura en un periodo de un mes a diferencias del testigo que alcanza los mismos resultados finales a los dos meses. La mejor alternativa por razones de calidad y tiempo en degradación resultó ser el tratamiento con EM bokashi con valor final de **1.57 % de N, 1.674 % de P y 0.456 % de K.**

Al igual que en los casos anteriores se concluye que los inóculos logran la degradación de la materia orgánica en la mezcla de basura pulpa de café en un lapso de tiempo de un mes y medio contrario al testigo que logra alcanzar los mismos resultados finales a los dos meses. La mejor alternativa en la mezcla resultó ser el tratamiento con EM suspensión con todos sus parámetros en Norma con **1.22 % de N, 0.481 % de P y 0.405 % de K.**

## I. INTRODUCCIÓN.

Los depósitos incontrolados de residuos sólidos urbanos y agroindustriales, debido a su gran contenido de materia orgánica, producen al fermentar olores muy molestos. Además, provocan grandes daños a la salud mediante el incremento en la proliferación de ratas, zancudos, moscas y otros vectores transmisores de enfermedades. Por otra parte, causan graves daños tanto en los suelos como en los cuerpos de agua y el aire, a través de la gran cantidad de contaminantes que se infiltran a través del suelo y que en la mayoría de los casos llegan hasta el nivel freático contaminando aguas superficiales y subterráneas, constituyendo esta situación otro vector mediante el cual se posibilita la transmisión de enfermedades al hombre, vía ingestión de agua contaminada por patógenos como por sustancias tóxicas. Para resolver estos problemas el hombre ha planteado una serie de formas para hacer posible el manejo adecuado de los desechos sólidos. Esto último se ha visto impactado desde el inicio de la revolución industrial y más recientemente por la moderna industrialización y el crecimiento de la población.

Por cientos de años, el compostaje se ha utilizado como un proceso de tratamiento de desechos sólidos. En estos últimos años, se ha hecho énfasis en el tratamiento de desechos sólidos municipales y lodos activados excedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que ellos constituyen un problema en la vida doméstica normal en este contexto. La principal finalidad es estabilizar y secar los desechos para una disposición final aceptable para el medio ambiente (Mendoza W, 1994).

Nicaragua, casi al iniciar el siglo XXI aún enfrenta el reto de la correcta eliminación de los desechos sólidos, constituyendo un serio problema ambiental en el ámbito nacional, repercutiendo en la salud de los habitantes y constituyendo una fuente de contaminación ambiental. A diario son generadas 1,250 ton de las cuales solo 1/3 son recogidas, un 65% de esa cantidad es dirigida hacia botaderos ilegales, 33% hacia botaderos legales y solamente el 2% es tratada (Argüello Herrera, 1994).

Otro de los problemas relacionados con el manejo de los desechos sólidos, es la generación de residuos en la producción del café. En el ciclo cafetalero 1997-98 se obtuvieron 1,429,670 qq oro ( 714,835 ton de café oro) (Gámez, 1997) con el consecuente incremento de la contaminación de suelos y aguas superficiales dado la mala disposición y manejo de los desechos líquidos y sólidos. Por lo que este estudio tendrá como metas el demostrar que el proceso de compostaje aeróbico constituye una alternativa viable a emplear en el tratamiento de la basura y pulpa de café.

El objetivo de este trabajo es por tanto comparar la influencia que ejercen distintos tipos de inoculos en la velocidad de degradación de residuos biodegradables como pulpa de café y residuos orgánicos generados en el Mercado Oriental en la ciudad de Managua, Nicaragua mediante la técnica de compostaje. El ensayo se desarrolló a nivel de planta piloto manejando 1 m<sup>3</sup> de material por pila. La aireación se realizó mediante volteos sucesivos de pilas circulares.

## II. ANTECEDENTES.

Para resolver parte de la problemática de contaminación del ambiente provocada por los desechos sólidos, en Nicaragua se han desarrollado una serie de estudios mediante la técnica de compostaje, por lo cual a continuación se citan algunos de ellos:

### 2.1. Proyecto Amsterdam

En el período 1993-1994 se desarrolló y obtuvo compost, haciendo uso de los desechos sólidos del basurero de Acahualinca. Los resultados obtenidos en este estudio fue un compost con un contenido de Nitrógeno de 1.3%, Fósforo 1.00 % y Potasio de 0,7 %. Este producto fue comercializado en el país e inclusive se distribuyó en los supermercados, teniendo el mismo aceptación por parte de los pequeños productores y viveros municipales (Koen de Jong, 1994). Al cabo de cierto tiempo éste producto desapareció del mercado debido a que no hubo continuidad en el financiamiento del proyecto y por falta de gestiones por parte de la Alcaldía, la cual planteó que su papel fundamental es como abastecedor de materia prima y no como una industria procesadora de desecho, ya que en el presupuesto no están contemplados los gastos para dicho tratamiento (ALMA, 1994)

### 2.2. Proyecto Masaya

En 1994 se desarrolló este proyecto en el ámbito de planta piloto en la ciudad de Masaya, el cual fue financiado por Organismos No Gubernamentales de Austria. Se construyeron pilas con un metro cúbico de desechos orgánicos provenientes del mercado de Masaya, obteniéndose al final del proceso de compostado un producto con un contenido de 0.93% de nitrógeno, 1.6% de fósforo, 1.6% de potasio (Argüello Herrera, 1994). En la actualidad éste producto se está comercializando y se vende a 15.00 córdobas el quintal.

### 2.3. Compostaje de residuos orgánicos provenientes del Mercado de Masaya con Inoculo a base de Microorganismos Efectivos, constituido fundamentalmente por bacterias fotosintéticas, actinomicetos, levaduras, bacterias ácido lácticas.

Este proyecto fue desarrollado en el período comprendido de julio a octubre de 1996, mediante la técnica de compostaje aeróbico de los residuos sólidos orgánicos provenientes del Mercado de Masaya, analizándose las alternativas de pilas tapadas y sin tapar, con inóculo de suspensión de Microorganismos Efectivos y con medio sólido denominado bokashi. El volumen de residuos a tratar en éste experimento fue de 1m<sup>3</sup> por pila, con un total de seis pilas. De este estudio se concluye que los mejores resultados desde el punto de vista del contenido de NPK fueron bajo las condiciones en que se cubrieron los residuos, para el caso de la pila inoculada con la suspensión de microorganismos efectivos con un contenido de 0.78% de N, P de 2.73 %, K de 1.07 % y un contenido de materia orgánica de 14.53%, seguida de esta se ubico la pila inoculada con bokashi con 0.86 % de N, P de 1.16 %, K de 1.25 % y materia orgánica de 15,57 % Como otra conclusión importante de este estudio es que se logra una reducción en el tiempo de degradación de los residuos inoculados en un mes y medio menos que en el

proceso tradicional con una duración de tres meses ( Reyes, et al. 1997).El estudio que se desarrolló, fue por tanto una continuación de éste trabajo descrito, en el cual se varió las dosis de inóculo y las etapas de inoculación en desechos de basura así como en pulpa de café. Los inóculos utilizados están conformados por EM biopreparado, EM bokashi y por los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Granada, mediante un sistema a base de laguna de estabilización de tipo anaerobio.

Los materiales tratados fueron pulpa de café, basura proveniente del mercado oriental de Managua, así como la mezcla de los dos materiales en relación 1:1 , para posteriormente evaluar la influencia que ejerce cada tipo de inóculo en la degradación de cada material a tratar con respecto al tiempo; así como determinar si existe alguna influencia de los mismos sobre la calidad del compost obtenido.

### III. JUSTIFICACION

El proceso agroindustrial en los beneficios de café (húmedos y secos) en Nicaragua existe en su forma industrial (beneficios integrados, húmedos y seco) y en su gran mayoría de forma artesanal (beneficios húmedos de finca).En el caso del beneficiado de café, la contaminación es principalmente de carácter orgánico. Los subproductos directos del proceso del beneficiado húmedo del café son; el mucilago y la pulpa. La composición química de la pulpa, al sufrir un proceso de fermentación, que por lo general se da en condiciones aeróbicas, puede provocar que estas sustancias se conviertan en agentes contaminantes, manifestándose en términos de sólidos suspendidos y material orgánico que es extraído juntamente con el agua de arrastre y drenaje, aportando una carga contaminante de 20 kg DQO/qq oro producido (10 kg de DQO / ton) incidiendo directamente en las características organolépticas (olor, sabor) del agua y del medio ambiente en general. Algunos investigadores calculan que una tonelada de café verde procesado en el beneficio húmedo convencional genera 330 kg de DQO (Gámez,1997).

Se estima que en la parte Norte de Nicaragua existen 9,019 beneficios húmedos los cuales descargan sus aguas residuales sin tratamiento, denominadas aguas mieles en las macrocuencas de los ríos Tuma, Apanas, Río coco, Río grande de Matagalpa y Río viejo, que son consideradas entre las mayores del país (Berríos,1997). Sobre la base de la producción del ciclo 1997-98 de 1, 429,670 qq de café oro (714,835 ton de café) se calcula que se genera aproximadamente 571,868 qq de pulpa de café (285,934 ton) (Gámez,1997).

Si a esta situación se suman los daños que ocasionan al ambiente el mal manejo y la inadecuada disposición de los residuos municipales que han incrementado con el crecimiento acelerado de la población se incrementa el problema de la contaminación. A diario se desechan 722.6 ton/ día y en el año 1998 se obtuvo un total de 218,217.47 ton (MINSa, 1997). Por tal razón este trabajo tiene como meta contribuir en la disminución de la carga de contaminantes aportada por la pulpa de café y los desechos sólidos municipales causado por el mal manejo de los mismos; haciendo uso del compostaje aeróbico. Por otra parte se pretende, dada la calidad del producto final ofrecer una

alternativa tecnológica para la producción de café y otros frutos limpios en armonía con la naturaleza y el ambiente.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

**Evaluar la eficiencia de tres inoculos en la degradación de la pulpa de café y residuos orgánicos generados en el mercado Oriental de Managua, Nicaragua, en un sistema piloto.**

### **4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- 1. Caracterizar la pulpa de café y los residuos orgánicos generados en el mercado Oriental sobre la base del contenido de carbono orgánico total, nitrógeno total, potasio total, pH y presencia de coliformes totales, coliformes fecales y recuento total.**
- 2. Establecer las estrategias del sistema de compostaje**
- 3. Cuantificar mediante técnicas de laboratorio las variables físicas, químicas y microbiológicas establecidas por la Normas en el proceso de compostaje.**
- 4. Analizar estadísticamente los resultados**
- 5. Estimar los costos involucrados en el proceso de biodegradación.**



## V. MARCO TEORICO

### 5.1. Métodos de tratamiento y de disposición utilizados en el país y clasificación de los mismos.

En la actualidad en Nicaragua, se están utilizando como métodos de tratamiento y disposición para los desechos sólidos orgánicos, la técnica de compostaje, los mal llamados rellenos sanitarios que consisten en la gran mayoría de los casos en tiraderos a cielo abierto y la incineración con el menor porcentaje restringiéndose esta actividad prácticamente al sector de la Industria azucarera que utiliza el bagazo de caña como fuente generadora de calor, el pergamino del café de igual forma, ya que la cascarilla de arroz, entre otros. Del total de desechos municipales generados por día solamente 1/3 de los mismos es recolectada, un 65 % es dirigida hacia botaderos ilegales, 33 % hacia botaderos legales y solamente el 2 % es tratada (Argüello Herrera, 1994).

Estudios realizados por la Federación de Cafeteros de Colombia plantean que en el período de 1980 en América Latina se produjo alrededor de **3,3 millones de toneladas de pulpa de café fresca**. La mayor parte de este material se pierde arrojándola a los ríos y creando problemas de contaminación. Este estudio se enfoca hacia la técnica de compostaje; por lo que en este Capítulo se analizarán todos los aspectos relacionados con el proceso de tratamiento así como los aspectos teóricos concernientes a las variantes a utilizar en el estudio.

#### 5.1.1 Definición de Compostaje y clasificación genérica.

Se pueden encontrar muchas definiciones de compostaje en la literatura técnica, variando en su enfoque, prioridades y especificaciones. Por ejemplo, Zucconi y De Bertoldi (1987) propusieron la siguiente definición: El compostaje es un proceso biooxidativo controlado que: (1) implica substrato orgánico heterogéneo en estado sólido; (2) implica pasar a través de una fase termofílica y una secreción temporal de fitotoxinas; (3) conduce a la producción de dióxido de carbono, agua y materia orgánica estabilizada (A.M. Martin, 1991).

Otros lo definen como un proceso biológico aeróbico el cual convierte sólidos orgánicos degradables a material húmico estable listo para ser usado como acondicionador de suelo y fertilizante (T.Haug Roger, 1979).

También es definido como un proceso microbiológico complejo que implica el auto calentamiento bajo condiciones de temperatura multi etapa y variedad de microorganismos con la consecuente producción de CO<sub>2</sub>, agua, minerales y materia orgánica estabilizada (Tseng. et al., 1996)

Los procesos de compostaje se clasifican en forma genérica en las siguientes alternativas:

1. Compostaje aeróbico y anaeróbico.
2. Compostaje con separación ó sin separación
3. Compostaje con trituración y sin trituración
4. Compostaje con inoculación y sin inoculación
5. Compostaje tapado y sin tapar

1. El proceso de compostaje se realiza a partir de la fracción sólida orgánica, la cual se somete a un proceso de tratamiento microbiológico ya sea mediante aireación, la cual es garantizada mediante volteos sucesivos de las pilas o ya sea mediante pilas estáticas con ventilación forzada. Por otra parte el sistema anaerobio consiste en un sistema estático y cerrado en el cual no hay suministro de aire. El compostaje aireado es el más recomendado ya que el tiempo requerido es mucho menor y no presenta problemas de olores y gases.

2. La segunda variante presenta los mismos principios descritos en 1, con la modalidad que la fracción orgánica total a tratar ya sea por vía aeróbica o anaerobia puede ser sometida o no a un proceso de separación de la fracción inerte. La ventaja de separar la fracción orgánica de la inerte, es que este proceso contribuye a incrementar el porcentaje de materiales destinados al reciclaje y por otra parte incrementar la eficiencia del proceso al tratar material altamente biodegradable. Esto trae como consecuencia un alto porcentaje de mano de obra para el caso en que la separación sea en una planta de reciclaje o por otra parte contar con equipos especializados cuando la separación se lleva a cabo durante la recolección.

3. La trituración de los materiales a compostar se realiza con el objeto de incrementar el área superficial de los desechos con alto contenido de celulosa fundamentalmente, garantizando de este modo mayor contacto entre los microorganismos y los desechos, con lo que se logra una mayor velocidad de degradación. La desventaja es que se aumentan los costos del proceso debido al consumo de energía en el equipo de trituración más el costo adicional por la adquisición del equipo a diferencias del proceso sin trituración.

4. La inoculación es una variante nueva en este proceso, cuyo objetivo fundamental consiste en incrementar el número de microorganismos presentes en los desechos por área superficial disponible.

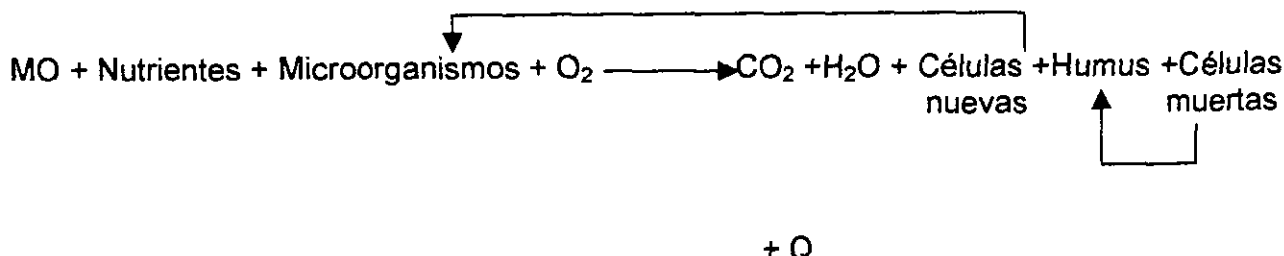
En éste estudio, se limitará el enfoque hacia los métodos más sencillos tales como: Compostaje mediante proceso aeróbico, con separación, sin trituración de los desechos y con inoculación.

### **5.1.2. Fundamentos del proceso de compostaje.**

En esencia, el compostaje envuelve la disipación oxidativa de parte del carbono en los residuos en dióxido de carbono y agua, mientras los nutrientes son asimilados y mineralizados por organismos. Algunos subproductos de la oxidación del carbono, compuestos biorresistentes o sus derivados, metabólicos secundarios y una fracción de

biomasa son polimerizados y condensados en humus a través de la presencia de radicales libres.

De manera esquemática el proceso se puede describir como una reacción química:



Como se muestra en la reacción las células vivas se convierten en parte de la biomasa activa implicada en la conversión de materia orgánica; y cuando se muere se convierte en parte del compost (Tchobanoglous, 1994)

### 5.1.3. Naturaleza de los materiales a compostar.

Cualquier material biodegradable o biológico puede ser compostado. Todos los materiales de origen biológico contienen, en varias proporciones compuestos orgánicos, proteínas, lípidos (grasa y ceras); polisacáridos para el mantenimiento y la construcción de tejidos (almidón, celulosa, hemicelulosa, quitinas, glucógeno); y en el caso de las plantas compuestos fenilpropanoides y sus polímeros tales como la lignina.

Como los animales y su flora intestinal no pueden digerir íntegramente todos estos compuestos, los mismos se encuentran presentes en las excretas juntos con sus productos y biomasa microbial. La biomasa microbial rica en proteínas puede contener el 50% del carbono en el material fecal. La excreta animal, particularmente la orina es, además, una fuente valiosa de nitrógeno en la mezcla de compost, aunque el estiércol de animal presenta problemas especiales por la carencia de esparcimiento y el alto contenido de humedad.

Materiales vegetales que se obtienen de la extracción de jugos, aceites, fibras y pulpas constituyen materiales valiosos para el composteo. Residuos del procesamiento del té y del café, así como los residuos generados en la industria farmacéutica que tienen como base el uso de microorganismos, constituyen también excelentes materiales a compostar.

Durante el proceso de compostaje, los microorganismos convierten la materia orgánica en biomasa,  $\text{CO}_2$ , termoenergía y materia orgánica estabilizada llamada sustancias húmicas. (HS). Las HS incluyen ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y humin (Tseng et al., 1996).

La materia orgánica en forma natural puede ser dividida en seis grandes grupos lignina, polisacáridos, proteínas, lípidos, resinas y pigmentos. Los polisacáridos y la lignina son dos de los precursores orgánicos más importantes para la formación de ácidos húmicos. En el suelo la materia orgánica contiene aproximadamente de 5 a 20 % de carbohidratos,

los cuales se encuentran en forma de polisacáridos. Las HS en el suelo o compost, afectan la ecología, la fertilidad, la estructura, el crecimiento de plantas así como la supresión de patógenos (Tseng et al., 1996).

#### 5.1.4. Biología del compost.

Muchos de los organismos activos en el proceso de compostaje son microorganismos. Las bacterias, hongos y algunos protozoos forman la mayor parte de los organismos activos en el compost. Las bacterias y los hongos están caracterizados por la aparición sucesiva de formas mesofílicas y termofílicas. Por conveniencia las bacterias pueden ser organizadas en dos grupos: en bacterias características y bacterias filamentosas. De las bacterias filamentosas las más importantes son los actinomicetos. Los actinomicetos son más evidentes en las últimas etapas del proceso de compostaje. Su aparición y proliferación es paralela a la desaparición de celulosa y lignina (Días et al., 1993).

La materia orgánica en descomposición presenta poblaciones microbiológicas autóctonas que pueden realizar el proceso de composteo pero en algunas investigaciones, le adicionan inóculos como estiércol lodos activados de tratamiento aeróbico y suspensión de microorganismos comerciales para acelerar el proceso de compostaje.

El problema de agregar estos lodos como inóculos, es que los mismos presentan enterobacterias, las cuales son consideradas bacterias patógenas. Al no llevarse a cabo un eficaz composteo, las poblaciones patógenas podrían estar presentes en el producto final y en vez de ser una alternativa para mejorar los suelos sería un problema para el agricultor (Días et al., 1993).

En el estudio balance de calor en un proceso de biodegradación de lodos activados por fermentación sólida se determinaron las cantidades y características de los microorganismos provenientes de los lodos activados. Se cuantificó la presencia de bacterias: mesófilas y termófilas, coliformes; actinomicetos: mesófilas y termófilas y hongos, cuyos resultados se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.**  
**Microorganismos nativos en los lodos activados.**

Microorganismos	UFC/ g M.S
Bacterias mesofílicas	$2.2 \cdot 10^8$
Bacterias termofílicas	ND
Actinomicetos mesofílicos	ND
Actinomicetos mermofílicos	ND
Bacterias patógenas	$2.7 \cdot 10^8$
Hongos	$2.4 \cdot 10^4$

ND: No detectados

### **5.1.5 Inoculación.**

En muy pocas ocasiones, la abundancia y variedad de microorganismos en los residuos son insuficientes para compostar los residuos. Un ejemplo de una excepción podría ser un residuo que por alguna razón ha sido expuesto a una pasteurización. Otra excepción menos parecida, podría ser un residuo que es prácticamente homogéneo en composición. Aún con esas características tendría lugar la aparición de los microorganismos requeridos como resultado de la manipulación de los desechos.

Debido a que grupos diferentes de microorganismos están involucrados en el proceso, pero principalmente porque el proceso de composteo es una sucesión dinámica de interacciones microbiológicas con los substratos de desechos; esto podría ser una guía para aislar, identificar y determinar las reglas de cada grupo en el proceso.

El inoculo es lo que sirve de semilla para el desarrollo de la biomasa necesaria, ya que la característica fundamental en la cual se basan los sistemas anaerobios de alta tasa es tener una alta concentración de biomasa activa dentro del reactor (Acevedo, 1998).

La biomasa microbial en materiales orgánicos puede ser usada como inoculo para la descomposición de substratos complejos parecidos o similares a la celulosa y almidones a azúcares simples, los cuales son usados por el metabolismo microbiano (Gómez. J. et al., 1986).

Nakasaki y colaboradores examinaron el efecto del inoculo en el compostaje termofílico de lodos de alcantarilla por medición de los cambios en la evolución del CO<sub>2</sub> y el número de microorganismos. Aunque la sucesión de bacterias y actinomicetos termofílicos reflejó el efecto del inoculo, diferencias no claras fueron observadas en la velocidad del compostaje o calidad del producto final. Una parte del inoculo fue esterilizado por irradiación gamma durante 3 horas a una dosis de 1Mrad/h. Los lodos de alcantarilla, el inoculo, el inoculo esterilizado fueron mezclados en diferentes relaciones en tres corridas experimentales (Nakasaki et al., 1984).

La relación de carbono orgánico total a nitrógeno total en el compost fue obtenida por análisis elemental de muestra de compost seco. Cambios en la velocidad de evolución del CO<sub>2</sub>, conversión de la materia volátil en el lodo, contenido de humedad, temperatura y número de microorganismos fueron detectadas durante la operación del sistema de compostaje.

El efecto de la inoculación en el número de microorganismos fue característicamente indicado, especialmente con observar al número de bacterias y actinomicetos termofílicos. En la corrida en la cual no hubo inoculación, la concentraciones iniciales de bacterias termofílicas y actinomicetos fueron considerablemente bajas.

### **5.1.6 . Relación Carbono/ Nitrógeno.**

Con respecto a las necesidades nutricionales de los microorganismos activos en el compost, la relación C/N de los residuos a ser compostados es el factor más importante que requiere atención. Experiencias indican que casi todos los nutrientes sin excepción se encuentran presentes en los residuos orgánicos típicos en cantidades y relaciones adecuadas.

Los requerimientos con respecto a C / N es función de las diferencias significativas en cantidades de los dos elementos usados por los microorganismos en el metabolismo para obtener energía y la síntesis de nuevo material celular. Una gran parte del carbono es oxidado a dióxido de carbono por los microorganismos en su actividad metabólica y éste escapa a la atmósfera. El carbono remanente es convertido en biomasa y metabolitos. Cuando el proceso de compostaje progresa, la pérdida de carbono disminuye en peso y volumen a los residuos.

El mayor consumo de nitrógeno es en la síntesis de protoplasma. Consecuentemente mucho más carbono que nitrógeno es requerido. La relación está en el orden de 20 a 25 partes de carbono a 1 de nitrógeno (Flores.V. et al., 1995).

La forma en la cual el carbono original está presente puede ser un factor limitante en el compostaje más que la cantidad de carbono en los desechos. La relación C / N es considerada crítica en la determinación del grado de descomposición. La relación debe ser establecida sobre la base del carbono degradado en lugar del carbono total (Flores V. et al., 1995).

Algunos investigadores han establecido que la totalidad de microorganismos utiliza 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno. Desde entonces existen valores aproximados, y no todo el C y N en una mezcla de compost son biodisponibles, no toda la masa es convertida a humus o biomasa microbiana, la relación óptima para diferentes materiales se ha encontrado que varía de 26 a 35. Resultados satisfactorios son obtenidos con relaciones entre 40 y 50 (Kubota et al., 1981) .

Para disminuir la relación Carbono / Nitrógeno, desechos ricos en nitrógeno tales como estiércol de animales o lodos de desechos pueden ser adicionados. Así mismo la adición de residuos composteados o parcialmente biodegradados puede disminuir esta razón.

Cuando se discuten las características del compost particularmente con observar el producto final, el termino madurez y estabilidad son usados frecuentemente, algunas veces intercambiamente. Para muchas personas el compost es maduro cuando presenta una apariencia oscura, desmoronado y con olor a suelo. La estabilidad del compost, en contraste con su madurez, está realmente definida por las propiedades biológicas de la actividad microbiana (Iannotti Frost et al., 1992).

Los compuestos solubles se disuelven en el agua y son asimilados por los microorganismos. Los compuestos solubles son descompuestos por enzimas microbianas y subsecuentemente son absorbidas en el interior de las células. Estudios realizados por

Chanyasak y Kubota, 1981, basados en la solubilidad de éstos compuestos, determinaron los cambios de los componentes en el extracto de agua del compost, los cuales indican una medida de madurez del compost.

Para compost muy maduro, las relaciones de carbono a nitrógeno orgánico arrojaron valores prácticamente constantes de 5 a 6. Estas relaciones de C/N orgánico de los extractos en el compost, pueden ser un indicador cuantitativo, efectivo de la madurez del compost. Los valores analíticos de carbono a nitrógeno total (C/N) y carbono a nitrógeno orgánico (C/N orgánico) son indicados en la **Tabla 2**. También se determinaron las correspondientes relaciones C/N orgánico para el producto del compostaje y sus correspondiente materiales a compostar, junto con las relaciones C/N de las muestras sólidas. Las relaciones C/N de los componentes sólidos del compost que varía considerablemente dependiendo de la relación C/N en la fase sólida de los materiales. Los resultados obtenidos son presentados en la **Tabla 3** (Kubota et al., 1981).

**Tabla # 2**  
**Análisis de Carbono / Nitrógeno en extracto de compost**

Muestras	TOC	Nitrógeno				C/Norg	C/Ntotal
		NH4- N	NOX-N	N-orga	N-total		
Lodos de alcantarilla	9.38	3.47	0.23	1.56	5.26	6.01	1.78
Lodos de alcantarilla + aserrín	6.94	1.36	0.1	1.6	3.06	4.34	2.27
Lodos de alcantarilla + Cascarilla de arroz	33	3.78	0.2	6.00	9.98	5.5	3.31
Basura + corteza	22.9	2.36	0.32	3.6	6.28	6.36	3.64
Basura pura	27.4	2.71	0.34	4.79	7.84	5.72	3.49
Desecho municipal	27	0.94	0.26	3.94	5.14	6.85	5.25
Estiércol de vaca	18.9	1.46	1.12	3.67	6.25	5.16	3.03
Estiércol de vaca + Estiércol de Cerdo + paja	13.4	1.16	0.34	2.18	3.68	6.15	3.64
Estiércol de pollo	50.3	1.34	0.49	8.84	10.67	5.68	4.71
Corteza	4.6	1.01	0.55	0.73	2.29	6.30	2.01
Hoja	1.3	0.09	2.76	0.26	3.11	5.00	0.42

Todos los resultados están expresados en mg / g.

Fuente: Veeperan Chanyasak and Hiroshi Kubota, 1981. Carbon / organic nitrogen ratio in water extract of composting degradation. J.Ferment. Technol., Vol.59, N° 3, p.215-219.

Tabla # 3

Relaciones de C/N orgánico del compost y sus correspondiente materiales

Muestra	Material			Compost		
	Número de muestra	C/N org en el extracto	C/N de Muestra sólida	Número de muestra	C/N org del extracto	C/N de muestras sólidas
Lodos del alcantarillado	SR-1	5.56	8.74	SP-1	6.01	11.2
Lodos de alcantarilla + aserrín	SR-2	7.19	21.5	SP-2	4.34	17.9
Lodos de alcantarilla + Cascarilla de arroz	SR-3	6.05	14.9	SP-3	5.5	14.2
Basura + corteza	DR-1	29.5	21.6	DP-1	6.36	16.1
Basura	DR-2	13.9	16	DP-2	5.72	15.8
Desecho Municipal	DR-3	26.2	20.72	DP-3	6.85	14.9
Estiércol de vaca	BR-1	12	22	BP-1	5.16	11.3
Estiércol de vaca +paja + Estiércol de cerdo	BR-2	-	-	BP-2	6.15	12.7
Estiércol de pollo	BR-3	8.64	5.26	BP-3	5.68	8.21
Corteza	CR-1	245	101.7	CP-1	6.3	29
Hoja	CR-2	2.95	33.4	CP-2	5	12.1

Fuente: Chanyasak and Hiroshi Kubota, 1981. Carbon / organic nitrogen ratio in water extract of composting degradation. J.Ferment: Tecnol., Vol.59, N° 3, p.215 -219.

**5.1.7. Descripción del proceso de compostaje.**

El compostaje comprende dos fases, durante las cuales la actividad de diferentes grupos de microorganismos predomina. La transformación de los residuos a través del compostaje resulta en la mineralización y humidificación del substrato orgánico presente. En la primera fase, el material más fácil de degradar es descompuesto en compuestos carbonados sencillos o simples tales como azúcares solubles y ácidos orgánicos; éstos son posteriormente metabolizados y mineralizados por varios microorganismos, formando agua y CO<sub>2</sub>. La Alta actividad metabólica puede incrementar la temperatura en el interior de las pilas a más de 70 ° C. Esta primera etapa puede durar entre 5 días y 3 meses. Es importante que exista oxígeno durante esta fase, la transición a la segunda fase es gradual.

Durante la segunda fase los componentes más resistentes como madera y otros materiales que contienen lignina son degradados. Estas grandes moléculas naturales son atacadas por diferentes grupos de microorganismos (como hongos y bacterias productoras de ácido láctico). Esta fase del proceso es más lenta que la primera, y la temperatura desciende gradualmente entre 30 - 40 ° C.



### 5.1.8. Factores que influyen en el proceso de compostado.

Existen muchos métodos de compostado, aunque el principio es el mismo en cada uno de los casos. La trascendencia de cada uno de los métodos depende del número de factores que intervienen en dicho proceso, aunque difieran las condiciones. Estos factores se encuentran fuertemente interrelacionados y se mencionan a continuación:

#### ▪ Temperatura.

El metabolismo y la velocidad de crecimiento de los microorganismos implican reacciones químicas y biológicas que tienden a incrementar con la temperatura. Cada una de las especies de microorganismos presentes en cada una de las etapas del proceso presentan un metabolismo diferente y una velocidad de crecimiento óptima en un rango de temperatura bien definida. La tabla 4 muestra los rangos óptimos de temperatura para el desarrollo de diferentes microorganismos.

**Tabla # 4**  
**Rangos de temperatura óptima para varios microorganismos (° C)**

Microorganismos	Rango de Temperatura	T. óptima
Psicrófilos	0 - 30	15
Mesofílicos	20 - 40	32
Termofílicos	40 - 70	55

La alta temperatura es consecuencia de la actividad biológica. En el interior de la pila se libera calor a través de la respiración de los microorganismos que descomponen la materia orgánica. Los valores de temperatura en el rango de 50 a 60 °C garantizan las condiciones óptimas para la actividad de ciertos microorganismos, y que también es necesaria para eliminar patógenos. Sin embargo, temperaturas excesivamente elevadas (mayores de 65 °C) podrían inhibir el crecimiento de la mayoría de los microorganismos presentes, y disminuiría lentamente la descomposición de la materia orgánica.

Las temperaturas termofílicas son preferidas por dos razones: promueven un compostaje rápido y destruyen los organismos patógenos. Este calor es retenido en el interior de las pilas por el agua contenida en la misma. Así mismo los espacios vacíos actúan como una capa aislante, manteniendo el calor que se encuentra dentro de las pilas.

Waskman et al. estableció que la mayor cantidad de materia orgánica degradada por unidad de tiempo fue a la temperatura máxima de 65 °C en el compostaje de estiércol de caballo y paja de trigo ( Nakasaki et al., 1985).

Schultze demostró que existe una relación lineal entre la temperatura y la velocidad de consumo de oxígeno, por encima de los 70 °C en el compostaje de basura municipal (Nakasaki et al., 1985).

Nakasaki et al., 1985, evaluaron el efecto de la temperatura en las reacciones de compostaje de lodos de alcantarillas a temperaturas de 50, 60 y 70 °C. La cantidad total de CO<sub>2</sub> obtenido y la conversión final de materia volátil fue máxima a la temperatura de 60 °C.

#### ▪ **Tamaño de partícula.**

El tamaño de partícula del material a compostar es crítico. La degradación biológica inicia en la superficie de la partícula de los desechos; como los microbios se alimentan a través de las partículas, dichas partículas son descompuestas. Por lo tanto a través del proceso, se presenta una disminución en el tamaño de las partículas.

Generalmente partículas pequeñas tienen mayor superficie de área por unidad de peso por lo que, permite una mayor actividad microbiana en las superficies, produciéndose una rápida degradación. Sin embargo, si todas las partículas son molidas, se compactarán entre ellas y solo existirán pocos espacios vacíos para que circule el aire. Esto es crítico especialmente cuando los materiales a compostar tienen un contenido de humedad óptimo. El tamaño de partícula deberá tener suficiente área para favorecer una actividad microbiológica rápida, teniendo espacios vacíos para permitir la recirculación del aire para la respiración aeróbica (González et al., 1997).

#### • **Oxígeno**

El factor más importante durante el proceso de compostaje es la disponibilidad de oxígeno, sin oxígeno el proceso de compostaje aerobio no es posible, un nivel constante de oxígeno podría ser mantenido por aireación del material a compostar para obtener un material final estable. Se requiere de una aireación adecuada en el sistema, de forma tal que suministre el oxígeno necesario para que los microorganismos se desarrollen. Si el aire no es distribuido correctamente o en cantidades suficientes, puede llevar al sistema a condiciones anaerobias, lo que traería como consecuencia una disminución en la velocidad de degradación del material y además la evolución de malos olores. Por otro lado, si se le agrega más aire del requerido, traería como resultado el enfriamiento y secado del material.

En la primera etapa del proceso es necesaria una menor cantidad de aire, pero cuando se alcanza la etapa termofílica, es necesario agregar una mayor cantidad de aire para remover el calor generado y suplir el oxígeno consumido. Algunos investigadores han determinado que es necesario agregar de 10 a 30 veces más aire para enfriar el material que el que es necesario estequiométricamente para que se lleve a cabo la reacción de oxidación de la materia orgánica (1.71 litros de aire / gramo de lodo) (A.M.Martin, 1991).

Una porción substancial de carbono orgánico es oxidada a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. En algunos estudios se ha encontrado que cada gramo de materia orgánica volátil en los residuos municipales requiere de 144 mg de O<sub>2</sub>. Sus resultados están basados en que un mínimo del 30 % de los espacios libres de aire pueden ser mantenidos por una amplia variedad de mezclas de compost (A.M.Martin, 1991).

- **Humedad.**

El principal sitio de la actividad microbiológica en el suelo o compost es la delgada capa de agua sobre la superficie de las partículas. El agua es esencial para disolver y transportar los nutrientes y substratos que los organismos pueden absorber solamente como solución. Los organismos móviles y las enzimas libres también se mueven a través del medio acuoso. Si embargo, para una actividad microbiológica aeróbica óptima, como en el suelo, los intersticios, espacios vacíos o poros entre las partículas necesitan ser ocupados por el aire y/o el agua (Días et al., 1993)

El contenido de humedad y aireación se encuentran estrechamente interrelacionadas. Si el aire en los espacios interiores de las pilas es desplazado por el agua, este promueve el agrupamiento, de la estructura del material inferior. El contenido de humedad óptimo en el proceso de compostaje varía, dependiendo esencialmente de las características químicas y del tamaño de las partículas de desecho, pero usualmente el rango oscila entre 50- 60%. Valores por debajo de 40% indican que está empezando un proceso de deshidratación en las pilas, provocando un proceso de degradación biológica considerablemente lento. Esto traería como consecuencia un compost biológicamente inestable pero estable desde el punto de vista físico. Por encima de 60%, los niveles de humedad interferirían en el proceso de transferencia de oxígeno ya que se cierran los poros favoreciendo las condiciones anaerobias. El contenido de humedad de la masa de compost tiende a disminuir en el proceso de descomposición principalmente por las pérdidas de agua evaporada, principalmente durante la primera etapa termofílica.

Se ha de mostrado que en condiciones secas, el proceso fracasa debido a las limitaciones físicas de las bacteria filamentosas (las cuales son las principales responsables de la fase más activa del proceso) las cuáles son incapaces de colonizar físicamente el substrato.

- **Nivel de pH**

En general la materia orgánica con un rango de pH de 3 a 11 puede ser compostada, aunque el rango óptimo se encuentre entre 5.5 y 8. Sin embargo, las bacterias prefieren un pH neutro, los hongos desarrollan mejor en medios ácidos. En la práctica no es fácil cambiar el nivel del pH en una pila. Generalmente el valor del pH al inicio del proceso llega a caer debido a la actividad de bacterias productoras de ácidos que rompen el material orgánico complejo a ácidos orgánicos intermedios. En algunos casos el pH puede indicar que el proceso no funciona bien. Por ejemplo si en el interior de la pila tiene lugar un proceso anaerobio, el pH puede llegar cerca de 4.5 debido a la acumulación de ácidos orgánicos ( Días et al., 1993).

## **5.2. Definición del producto a inocular**

Desde 1985, el Profesor Teruo Higa de la Universidad de Ryukus, Japón, ha explorado métodos alternativos para una agricultura sostenible basado en su investigación referente a las características de los microorganismos benéficos que definió como Microorganismos Efectivos EM. El concepto de EM está basado en la inoculación de una mezcla de cultivos

de microorganismos benéficos al suelo, las plantas, los compuestos orgánicos, etc., donde ellos conservan de forma natural el equilibrio microbiológico y crea un ambiente que es favorable para el crecimiento y salud de las plantas. El mecanismo exacto de cómo EM actúa e inter actúa en el ecosistema suelo planta no es conocido. Aunque existe un sinnúmero de teorías que soportan lo concerniente con la acción de EM. Este incluye la teoría de supresión o eliminación de enfermedades y organismos patógenos de las plantas, la conservación de energía en plantas, la solubilización de minerales del suelo, la eficiencia fotosintética y la fijación biológica de nitrógeno en el suelo (Firts International Conference on Kyusei Nature Farming, 1989). Investigaciones futuras ayudarán a verificar estas hipótesis.

Uno de los aspectos interesantes del uso de microorganismos es que no afectaría a las poblaciones de microorganismos benéficos existentes, contrario a lo que sucede con productos químicos que afectan tanto a microorganismos benéficos como a microorganismos nocivos.

EM Kyusei "Microorganismos Efectivos" es un biopreparado obtenido de un proceso de fermentación el cual contiene de forma general bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetos, bacterias ácido lácticas, las cuales pueden ser aplicadas al suelo o a los desechos orgánicos como inoculantes para incrementar la diversidad microbiana del suelo y la salud permitiendo un crecimiento eficiente y aumentar la calidad de los cultivos. Además, éste producto puede ser aplicado al tratamiento de los desechos líquidos industriales y domésticos, así como en acuicultura, alimento animal y en la medicina (Kyusei EM, 1995)

## **5.2.1. Microorganismos principales en EM y su acción principal en el suelo.**

### **5.2.1.1. Bacterias fotosintéticas**

Las bacterias fotosintéticas son microorganismos que pueden fijar el nitrógeno atmosférico y el dióxido de carbono en moléculas orgánicas tales como aminoácidos y azúcares simples que constituyen los elementos básicos de las proteínas y carbohidratos, respectivamente. También sintetizan sustancias bioactivas tales como vitaminas, hormonas y enzimas. Todos estos productos pueden ser benéficos para las plantas superiores, mejorando así el crecimiento y rendimiento en los cultivos. La capacidad de síntesis de las bacterias fotosintéticas también pueden beneficiar a otros microorganismos en cultivos de EM, proporcionándoles sustratos y factores de crecimiento. Las bacterias fotosintéticas llevan a cabo una fotosíntesis anaerobia incompleta. También la capacidad de síntesis de las bacterias fotosintéticas mantiene las actividades vitales de otros microorganismos. Así mismo las bacterias fotosintéticas utilizan sustancias sintetizadas por otros microorganismos EM. La relación se puede describir como de "coexistencia o mutualismo"(Kyusei EM, 1995).

### **5.2.1.2. Bacterias ácido lácticas.**

Las bacterias ácido lácticas producen ácidos lácticos a partir de azúcares y otros carbohidratos producidos por las bacterias fotosintéticas y las levaduras. El ácido láctico tiene una fuerte acción esterilizante en el suelo que puede suprimir microorganismos nocivos e incrementa la rápida descomposición de la materia orgánica. También las bacterias ácido lácticas permiten la ruptura de materiales orgánicos como la lignina y la celulosa y fermentar éstos materiales sin causar influencias perjudiciales causadas por la descomposición de la materia orgánica. Los efectos acidificantes del ácido láctico también ayudan a solubilizar ciertos minerales tales como la cal y fosfatos en roca incrementado así la disponibilidad de ciertos nutrientes para las plantas de cultivo y también para otros microorganismos presentes en el inoculante Kyusei EM.

Las bacterias ácido lácticas tienen la capacidad de suprimir la propagación de Fusarium el cual es un microorganismo perjudicial que causa problemas continuos en el cultivo. La presencia de nemátodos desaparece gradualmente.

### **5.2.1.3. Levaduras.**

Las levaduras tienen una tremenda capacidad para llevar a cabo la fermentación anaeróbica de material y compuestos orgánicos. Pueden utilizar los aminoácidos y azúcares sintetizados por las bacterias y otros microorganismos del suelo que degradan proteínas complejas y carbohidratos. Las levaduras también producen sustancias bioactivas que pueden estimular el crecimiento y actividad de otras especies de EM, así como de las plantas superiores.

### **5.2.1.4. Actinomicetos.**

Producen sustancias antimicrobiales a partir de aminoácidos y sustancias secretadas por bacterias fotosintéticas, así como de materia orgánica. Estas sustancias antimicrobiales suprimen el desarrollo de hongos y bacterias patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos. Los actinomicetos pueden coexistir con las bacterias fotosintéticas en el cultivo de líquido de EM así como después de ser inoculados en el suelo. Esta relación es mutuamente benéfica para cada uno de estos organismos y proporciona un fuerte vínculo ecológico (Kyusei EM, 1995). Los actinomicetos también benefician directamente el crecimiento y actividad de Azotobacter y de Micoriza vesículo arbusculares (hongos simbióticos que colonizan las raíces de las plantas creando una relación mutuamente benéfica para las plantas).

### **5.2.1.5. Hongos Fermentadores.**

Los hongos fermentadores como Aspergillus y Penicillium descomponen la materia orgánica rápidamente para producir alcoholes, ésteres y sustancias antimicrobiales.

Este suprime malos olores y previene la infestación por insectos dañinos.

Cada una de las especies de microorganismos efectivos tiene su propia función. Sin embargo las bacterias fotosintéticas constituyen el pivote de la actividad de EM. Las bacterias fotosintéticas soportan la actividad de otros microorganismos. De ésta forma, las

bacterias fotosintéticas también utilizan substratos producidos por otros microorganismos. Este efecto es denominado " **coexistencia y co-prosperidad**" (Kyusei EM, 1995).

Cuando los Microorganismos Efectivos incrementan como comunidad en el suelo, la población de microorganismos nativos son también desarrollados. Así la microflora llega a ser rica y el ecosistema microbial en el suelo llega a estar bien balanceado, donde los microorganismos específicos especialmente los dañinos no incrementan. Así, el suelo llega a transformarse en suelos supresores de enfermedades.

Kinjo (1990 ) encontró que la cantidad de aminoácidos producidos después de la incubación de la materia orgánica con EM por 5 días fue significativamente mayor que en el control sin EM (Firts International Conference on Nature Farming, 1989)

En Thailandia se desarrollaron experimentos en los cuales una solución al 0.1% de melaza fue aplicada al suelo y a superficies con hojas de nabo (*Brassica rapa*) y pimientos (*Capsicum sp*) como fuente de carbono y energía para los microorganismos nativos. Los resultados indicaron un incremento significativo en el número de bacterias, actinomicetos y hongos en ambos suelos por encima de los resultados del control. La aplicación foliar de la melaza también causó un incremento sustancial en el número de bacteria fijadoras de nitrógeno en las superficies de los nabos. La eficiencia de Nabos y Pimientos se incrementó significativamente, por la asociación del incremento en el número de microorganismos (Firts International Conference on Kyusei Nature Farming, 1989).

Durante un experimento que tuvo lugar en una porqueriza en Nagamine en Haebaru-cho, OKINAWA ( 400 cochinitos y 25 cerdas) adicionaron una solución de microorganismos de 1:5000 fue adicionado al agua de tomar de los cerdos, además una vez cada dos semanas una solución de 1: 500 fue esparcida sobre el piso de la porqueriza a espacios de 0.51 metro cuadrado( Higa Teruo, 1992). Las mediciones de los elementos causantes de mal olor tales como el amonio, sulfuro de hidrógeno, metil mercaptano, ácido iso valérico, n- ácido valérico y ácido n- butírico fueron realizadas usando procedimientos estandarizados. Para la purificación de los materiales de desecho fue necesario primeramente la separación de la materia sólida y drenar el líquido en tanques de 50 ton, el cual contaba con cinco secciones separadas; el cambio en la DBO antes y después del tratamiento fue medido usando los procedimientos de los Métodos Estandar Los resultados de EM en el control del mal olor en la porqueriza en Nagamine , Okinawa son presentados la Tabla 5 del ANEXO A y el efecto de EM en la purificación de las aguas residuales son indicadas en la figura 2.

Como se indica en la Tabla 5, existe una marcada disminución en la formación del ion amonio y otros elementos causantes del mal olor. Con el uso de EM en este experimento, las bacteria fotosintéticas son muy capaces de separar el ion hidrógeno del amonio, sulfuro de hidrógeno, hidrocarburos , y sintetizar azúcares , mientras las bacterias ácido lácticas generan ácidos lácticos, y las levaduras y Aspergillus sp son capaces de formar alcohol y variedades de ácidos orgánicos. Estos tipos de microorganismos EM, son

efectivos en el rompimiento de los elementos causantes del mal olor en los materiales de desecho de los cerdos, y por medio de la producción de ácidos orgánicos y alcohol, neutralizar estos elementos (Higa, Teruo, 1992).

En la ciudad de Pusan , al Sur de Corea, la Cruz Roja tiene un programa de manejo de los desechos con Tecnología de EM. Los desechos son convertidos en fertilizante orgánico con EM bokashi en un contenedor especial ( condiciones anaerobias ) . Debido a los resultados favorables , 120,000 familias están usando el sistema, y los agricultores en los países vecinos a Pusan están usando fertilizantes en sus fincas (Shintani Masaki et al, 1998)

En Japón más de 2000 grupos están manejando desechos de alimentos con la tecnología de EM. Este es un fertilizante de alta calidad y no provoca problemas de mal olor e insectos dañinos (Shintani Masaki et al., 1998)

En la comunidad del college de la **EARTH ( Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda ) de Costa Rica**, se ha tratado de promover el compostaje, pero esto no ha sido exitoso debido al mal olor. Bajo las condiciones de clima tropical húmedo, los desechos de pollo se descomponen rápidamente. En años recientes, en Japón y Corea del Sur se ha hecho popular convertir los desechos de pollo en bokashi utilizando Microorganismos Efectivos. Este estudio fue iniciado para desarrollar un procedimiento y tecnología adecuado para el manejo de los desechos de pollo en la comunidad de la **EARTH en la Región Tropical Húmeda de Costa Rica** (Shintani Masaki et al., 1998).

Se utilizó un recipiente plástico para preparar bokashi, lo cual resolvió el problema de las moscas y animales. Se adicionó aserrín seco inoculado con EM a los desechos de pollo para evitar el olor a putrefacción por el realce del proceso de fermentación. El producto final , bokashi de desechos de pollo resultó más eficiente que el compost de materia orgánica. La aplicación de bokashi en desechos de pollo aumentó significativamente el crecimiento en pepino y maíz, contrario al supuesto que éste podría inducir una deficiencia de nitrógeno (Shintani Masaki, 1998).

El uso de compostera es una buena alternativa para el manejo de los desechos de pollo. Con éste, los problemas son resueltos. Sin embargo, es necesario volteos sucesivos, o los malos olores persisten. Los resultados de muestras del bokashi y compost fueron enviados al laboratorio y los resultados son presentados en el **ANEXO B**. También se llevó a cabo un experimento en campo para determinar la calidad del bokashi como fertilizante ( un control, 5 partes de suelo y 1 parte de bokashi y 9 partes de suelo y 1 de bokashi) con pepino (*Cucumis sativus*) y maíz (*Zea maíz*) por un período de 15 días.

Las semillas fueron germinadas en algodón y posteriormente fueron transplantadas en potes plásticos. Después de dos semanas las plantas fueron cortadas y tres partes de las plantas fueron medidas : altura de la planta, raíz y follaje.

### **5.2.2. Aplicaciones de EM suspensión.**

Básicamente EM puede ser aplicado de cuatro formas diferentes, tales como:

- ❖ EM1 solución stock.
- ❖ EM bokashi.
- ❖ EM5 repelente.
- ❖ Extracto de planta fermentado.

De estas cuatro aplicaciones solamente se tratarán los aspectos relacionados con EM1 Solución stock y con EM bokashi.

#### **5.2.2.1 EM1 solución Stock.**

La solución stock está constituida fundamentalmente por una porción o parte de EM concentrado el cual es diluido en otra parte de melaza más 20 partes de agua, luego tomar 1 parte de ésta solución y diluirlo en 1 parte de melaza en las proporciones de agua indicadas en los usos de acuerdo a la utilidad que se le quiera dar, luego dejar de 24 a 48 hrs en reposo y cerrado para permitir el proceso de fermentación, luego aplicar. Este proceso de dilución se hace con vista a disminuir los gastos. Además se recomienda no utilizar el producto concentrado ya que ocasiona daños muy severos a los cultivos producto a los cambios de temperatura tan altos que se originan dado las reacciones que tienen lugar.

##### **5.2.2.1.1 Usos.**

Una vez que se realizaron las diluciones correspondientes y el proceso de fermentación terminó en el período de tiempo establecido, se está en condiciones de utilizarlo de la siguiente manera:

1. Para una dispersión foliar use una dilución 1:500 ó 1:100
2. Para irrigación use dilución 1:10,000.
3. Para obtención de compost utilice dilución 1:50 ó 1:100
  - Para ingredientes con alto contenido de Carbono utilice 1:200
  - Para ingredientes con alto contenido de Nitrógeno 1:500
  - Para expertos en EM bokashi 1:1

#### **5.2.2.2 Elaboración de EM bokashi**

##### **5.2.2.2.1 Definición**

**Bokashi** es una palabra japonesa que significa materia orgánica fermentable.

Para la elaboración de éste se necesita agua, melaza, EM1 y además otros materiales que constituyen desperdicios orgánicos tales como: semolina de arroz, cascarilla de café, rastrojo de café o pepena, harina de pescado, aserrín, residuos de madera como los



llamados colochos, arena volcánica, gallinaza, alimento para aves, torta de soja, torta de algodón, etc. Sin embargo es recomendado como un ingrediente importante la semolina de arroz por su excelente contenido de nutrimento para el desarrollo de microorganismos, también se recomienda agregar materiales porosos.

#### **5.2.2.2 Usos de EM bokashi**

Los usos fundamentales de EM bokashi como su definición lo plantea es para la degradación de materia orgánica fermentable (Compost) la cual puede utilizarse como mejorador del suelo en el caso que la relación C/N sea muy alta, la cual va a estar en función del alto contenido de Carbón que esté presente en el y/o los materiales que se utilicen para la elaboración de EM bokashi, y como fertilizante en el caso que la relación C/N disminuya, que va a depender fundamentalmente de la utilización de materiales altamente nitrogenado como la harina de pescado, trigo, etc.

Las soluciones recomendadas para este uso en particular son las siguientes:

1. Preparar una solución 1:50 ó 1:100 para obtener resultados óptimos, independientemente de las características del material.
2. Prepare una solución 1:200 para materiales altamente carbonados.
3. Preparar una solución 1:500 para materiales altamente nitrogenados.

#### **5.2.2.3. Preparación de EM bokashi procesos anaerobios**

1. Preparar una solución 1:50, 1:100, 1:200 ó 1:500 de acuerdo a la situación en particular.
2. Mezclar los ingredientes o materiales seleccionados en función de las necesidades a suplir.
3. Agregar EM solución y mezclar bien mientras se controla el contenido de humedad que se encuentra en un rango de 30-40%, la cual es verificada por tacto.
4. Poner la mezcla en una bolsa de forma tal que no permita el movimiento de aire (bolsa de polietileno o papel). Cierre la bolsa y mantenga las condiciones anaerobias
5. Esta es ubicada en lugar donde no esté expuesto directamente los rayos de sol o un lugar oscuro; el tiempo de fermentación es de 1-2 semanas. El bokashi está listo cuando haya pasado el tiempo de fermentación y emane un olor agridulce. El bokashi anaerobio debe ser usado después de la preparación, si se quiere almacenar se debe dispersar en piso de concreto, secar al aire y empacarlo en bolsa de vinil.

#### **5.2.3. Precios de Adquisición.**

El producto se comercializa en recipientes de 1 litro o de 1 ó 5 galones, resultando el siguiente precio por litro mostrado en la **Tabla # 5**.

**Tabla # 5**  
**Costo de adquisición de EM**

Cantidad	Precio de planta [US\$]	Litros	Precio por litro [US\$/lts]
1 litro	10	1.000	10.00
1 galón	25	3.785	6.61
5 galones	117	18.925	6.18

Cabe aclarar que el precio de este producto una vez instalada la planta en Nicaragua no será el mismo, este disminuirá. En la actualidad éste es ofrecido a 3.00 \$/lt, por cortesía la planta EM Technologies Inc, ubicada en Tucson, Arizona.

### **5.3. Consumo de agua en el proceso industrial del Beneficiado húmedo tradicional.**

Grandes, medianos y pequeños beneficios se han caracterizado por utilizar los recursos hídricos para el transporte, despulpado y lavado del café, así como el vertido de los residuos y subproductos del beneficiado a los cursos de agua, con alto grado de contaminación de los mismos, dañando la calidad del agua para el consumo humano y silvestre. Trabajos de Investigación realizados por el Centro Agronómico Tropical de Investigación CATIE consideran que en éste proceso, tal como se desarrolla actualmente, se consumen grandes volúmenes de agua limpia entre 1.0 a 2.24 m<sup>3</sup> por fanega de café cereza procesada (1 fanega de café cereza procesada o café uva es aproximadamente equivalente a 520 lbs de café cereza, equivalente a 1 quintal de café oro), contaminándose cantidades equivalentes; generándose dos subproductos: pulpa y mucílago.

En cambio, los trabajos investigativos realizados por Gámez et.al calculan que para beneficiar 1kg de café uva se utilizan 7 lts de agua. Así, por ejemplo, en la finca San Luis , Matagalpa , en 1993 se utilizaban para el despulpado entre 45 y 68 lts de agua por lata (20 latas de café uva son equivalentes a 1 qq de café oro), de lo anterior resulta que en la finca en cuestión se utilizaban 4 m<sup>3</sup> de agua por qq de café oro procesado. En los mismos trabajos anteriormente mencionados, Gámez et al., se considera el siguiente consumo de agua:

**En el despulpe :** 1 m<sup>3</sup> / qq oro ò 0.56 m<sup>3</sup> / qq uva ( 0.5 m<sup>3</sup> / ton )

**En el lavado.** de 1 a 2 m<sup>3</sup> / qq oro (0.5 a 1 m<sup>3</sup> / ton )

#### **5.3.1. Pulpa de café.**

La pulpa es el primer y principal subproducto que se obtiene en el proceso de beneficiado, en la etapa del despulpado. Inicialmente posee un contenido de humedad superiores al 85 % lo que constituye la mayor desventaja en su utilización, desde el punto de vista de su transporte, manejo y procesamiento. La pulpa es un material ácido con un pH de aproximadamente de 4.5 .

### 5.3.1.1. Caracterización de la pulpa

Se han reportado muchos estudios concernientes a la composición química de la pulpa de café. Por ejemplo Uribe, menciona que la pulpa de café fresca contiene un **85 % de humedad, 0,319 % de nitrógeno, 0,002 % de fósforo, y 0,62 % de potasio**; además, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso y boro en bajas concentraciones. Braham y Bressani, reportan que el contenido promedio de minerales en la fracción de cenizas de la pulpa evidencia un alto contenido de potasio(CICAFE, 1992), tal como se muestra a continuación, el contenido de Cenizas y minerales en la pulpa de café, según Braham y Bressani

**Tabla 6**  
Composición de la pulpa según Braham y Bressani.

Compuesto	Contenido
Cenizas	8.3 mg %
Calcio	554 mg %
P	116 mg %
Fe	15 mg %
Na	100 mg %
K	1765 mg %
Mg	trazas
Z	4 ppm
Cu	5 ppm
Mn	6,25 ppm
B	26 ppm

En la Tabla 7 se presenta la composición química aproximada de la pulpa de café según Zuluga 1989.

### 5.3.1.2. Valor de la pulpa como abono .

En experimentos llevados a cabo en Colombia (Chinchiná y Bionay ), Brasil y Centro América se ha comprobado que la pulpa de café es un valioso abono orgánico cuya aplicación produce aumentos significativos en la producción del café y otras plantas de valor económico. Se han registrado aumentos del 80 al 300 %, sobre los correspondientes testigos, en la producción de cafetos a los cuales se les ha aplicado entre 5 y 10 kilos de pulpa por año, su efecto ha sido mayor que la aplicación de varios.

**Tabla # 7**  
**Composición química aproximada de la pulpa de café**

<b>Nutrientos</b>	<b>Pulpa deshidratada</b>
<b>Humedad</b>	6,93 %
<b>Materia seca</b>	93,07 %
<b>Extracto etéreo</b>	2,50 %
<b>Fibra cruda</b>	15,10 %
<b>Nitrógeno</b>	1,32 %
<b>Proteína (Nx 6,25)</b>	8,25 %
<b>Cenizas</b>	8,12 %
<b>Extracto libre de Nitrógeno</b>	59,10 %
<b>Carbohidratos</b>	74,10 %
<b>Cafeína</b>	0,75 %
<b>Tanino</b>	3,70 %
<b>Ca</b>	0,32 %
<b>P</b>	0,05 %
<b>Na ( ppm )</b>	160,0 %
<b>Fe ( ppm )</b>	250,0 %

Basándose en varios estudios realizados en Colombia y Centro América, pueden darse las siguientes cifras indicativas de la composición química de la pulpa. Tabla 8

**Tabla 8**  
**Caracterización inicial de la pulpa de café en Colombia y Centroamérica**

<b>Parámetro</b>	<b>Contenido</b>
<b>Humedad</b>	74 a 78 %
<b>Materia orgánica</b>	90 a 92 %
<b>Nitrógeno Total</b>	1,4 a 1,9 %
<b>Fósforo Total</b>	0,3 a 0,35 %
<b>Potasio ( K<sub>2</sub>O )</b>	3,5 a 3,7 %

La pulpa de café se ha utilizado como fertilizante orgánico aplicado directamente sobre los cultivos. En los Beneficios generalmente la pulpa se acumula en las áreas destinadas para su descomposición, donde los nutrientes son disueltos y se pierden. De la misma manera en la descomposición anaerobia los ácidos del material crean malos olores y moscas. En las grandes acumulaciones de pulpa la descomposición se lleva a cabo solo en los estratos superficiales, mientras que en las capas más profundas sin oxígeno, la pulpa cambia a un color amarillo mostaza y la transformación se suspende después de pasar por las fases iniciales de fermentación alcohólica y acética, por eso se ha llegado a considerar como necesario la realización de volteos repetidos o extender el material en capas poco profundas. La operación completa debe tomar entre 4 a 10 semanas y es indicado por el pH de 10, C/N de 1:10 y el no incremento de la temperatura.

## **VI. MATERIAL Y METODO.**

### **6.1. AREA DE ESTUDIO**

Para cumplir con los objetivos planteados en el estudio fue recepcionada primeramente un total de 14,430 lbs de pulpa de café (6,559.99 kg) del **Beneficio de café Santiago**, ubicado en el **Departamento de Jinotepe**. Por otra parte la muestra de basura orgánica a procesar fue tomada del **Mercado Oriental de Managua**; específicamente la generada en la **Zona 2 del Mercado**. El total de basura recepcionada fue de 9,828 lbs (4,467.27 kg). El total de materiales a procesar fue determinado en función del tamaño de las pilas;  $1\text{m}^3$  y la densidad correspondiente a cada desecho. Ambos materiales fueron trasladados a las instalaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería, UNI de Managua, Nicaragua.

Para garantizar la reproducibilidad del experimento, fue construido un galerón rústico de  $100\text{m}^2$  completamente cerrado, con el objeto de controlar la influencia de los parámetros ambientales sobre el experimento. **Fotografía 1 ANEXO D**

### **6.2. METODOLOGIA.**

#### **6.2.1. Caracterización inicial de los desechos.**

Primeramente fue tomada una muestra de basura fresca y de pulpa de café, utilizando la NOM-AA-15 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo-Residuos Sólidos Municipales - Muestreo - Método de cuarteo.

Mediante el método de cuarteo se obtiene una muestra representativa de 1 kg, la cual se vierte dentro de un molino triturador para obtener un producto más homogéneo y de tamaño semejante a la arena gruesa. De dicho producto se toma la cantidad necesaria para la determinación de humedad según la NOM-AA-16. El resto del producto obtenido de la molienda se utilizan para las determinaciones químicas, físicas y biológicas.

A las dos muestras obtenidas se les determinó el contenido de materia orgánica, pH, carbono orgánico total, nitrógeno total, densidad aparente y contenido de coliformes totales, coliformes fecales y recuento total de colonias.

#### **6.2.2. Elaboración de inoculos.**

Una vez caracterizado cada desecho, se prepararon los diferentes inoculos a utilizar en el proceso.

### 6.2.2.1. EM bokashi.

Según la literatura se necesitan 50 lbs de bokashi (22.72 kg) para tratar 1 tonelada de basura. Sobre la base de ello fue calculada la cantidad total de bokashi para tratar tres pilas definidas de la siguiente manera:

**Tabla # 9**  
**Pilas inoculadas con EM bokashi**

Pilas	Material	Cantidad de bokashi Kg/ m <sup>3</sup> de desecho	Cantidad de desecho por pila (kg)
A	Pulpa de café	11	437.00
E	Basura	6	247.27
I	Pulpa de café-basura	6	250.00

Fue preparado un total de 24 kg de bokashi (52.8 lbs) utilizando harina de soya, harina de hueso y semolina de arroz en la siguiente proporción:

Material	Proporción	Cantidades( kg )
Semolina de arroz	2	12
Harina de pescado	1	6
Harina de hueso	1	6

Una vez definidas las cantidades a utilizar, fue calculada la cantidad de EM suspensión necesaria para el total de materiales.

#### 6.2.2.1.1. Necesidades de EM suspensión y melaza.

La relación a utilizar de EM suspensión es de 1:50, lo cual significa que el 2 % corresponde a EM suspensión concentrado, 2 % de melaza y 96 % de agua. Un total de 10 lts de la solución fue preparada con los siguientes requerimientos:

**Tabla # 10.**  
**Volumen de materiales utilizados en la preparación de EM suspensión.**

MATERIAL	VOLUMEN ( lt )
EM SUSPENSIÓN	0.2
MELAZA	0.2
AGUA	9.6

Cada uno de estos materiales fueron mezclados, posteriormente se dejó fermentar durante tres días. En ese tiempo la solución estaba lista para la preparación del

bokashi. La preparación consistió en mezclar muy bien cada uno de los materiales citados anteriormente y se le fue adicionando la suspensión fermentada hasta obtener un porcentaje de humedad entre 30 - 40 % el cual fue medido al tacto. Una vez alcanzando el porcentaje de humedad deseado fue alcanzado con un volumen total de 7.5 lts de la suspensión. Posteriormente, la mezcla fue envasada en bolsas plásticas completamente cerradas, durante un periodo de 15 días. **Fotografía 2 del ANEXO D.** Una vez transcurrido este periodo de tiempo el bokashi estaba listo para utilizarlo.

### 6.2.2.2 EM suspensión

Para determinar la cantidad total de EM suspensión necesaria para la inoculación se utilizó la misma relación que en el caso de la preparación del bokashi. El volumen total preparado para la inoculación de tres pilas fue de 4 lts por pila. Ver **Fotografía 3 del ANEXO D.**

El procedimiento a seguir es el mismo descrito anteriormente. La suspensión preparada fermentó durante tres días.

**Tabla # 11.**  
**Pilas inoculadas con EM suspensión.**

Pilas	Material	Volumen de EM suspensión ( lt )	Cantidad de desecho por pila (kg)
B	Pulpa de café	4	437.00
F	Basura	4	247.27
J	Pulpa de café Basura	4	250.00

### 6.2.2.3. Lodos.

Los lodos utilizados en la inoculación de las tres restantes pilas provienen de aguas residuales domésticas tratadas en lagunas anaerobias de la ciudad de Granada. La cantidad de lodo a incorporar en cada pila fue obtenido mediante el siguiente procedimiento.

#### 6.2.2.3.1. Muestreo.

La toma de muestra fue realizada de forma aleatoria. Se tomaron varias muestras en distintos puntos de la Laguna situados a 10 mts del borde de la laguna para obtener una muestra compuesta. La toma de lodos fue realizada manualmente, lanzando una cubeta de aluminio al centro de la laguna así como en los laterales de la misma. El total de lodo tomado fue de aproximadamente 60 lts. Las muestras se sometieron a decantación durante tres días, previo a la inoculación, para garantizar de esta manera la incorporación de una mínima porción de agua con los sólidos. Quedando un volumen de 30 litros.

#### 6.2.2.3.2. Requerimiento de lodos.

Dado que en la literatura consultada no se reportan criterios del por ciento de lodos recomendados para ser utilizados ya sea como mejorador de materiales destinados a compostaje o como inoculo en la degradación aeróbica de materiales, se optó por utilizar un 2 % del volumen total de las pilas lo cual corresponde a 8.754 kg de lodo por pila. La literatura recomienda para el tratamiento de aguas usar del 5 al 10 por ciento del volumen del fermentador.

#### 6.2.4. Construcción de pilas.

Una vez que los diferentes inoculos estaban en condiciones de aplicarlos, se procedió a trasladar los dos tipos de materiales a tratar. Tanto la pulpa de café como la basura fueron trasladada a las instalaciones del experimento en sacos de 130 lbs (59 kg) contabilizando un total de 50 sacos de pulpa de café provenientes del Beneficio de café Santiago y 50 sacos de basura provenientes del Mercado Oriental de Managua.

Una vez recepcionados los materiales se procedió a la separación de aquellos materiales indeseables tales como plástico, baterías, papel, metales, entre otros, ver **Fotografía 4 del ANEXO D**. A la par se iba pesando la cantidad total de desechos que conformarían cada pila y se procedió a mezclar el material con cada tipo de inoculo. A continuación se presenta un resumen de esta etapa.

**Tabla # 12**  
**Resumen del total de Pilas a tratar.**

<b>inoculo</b>	<b>Pulpa de café 437.00 kg 437.00 kg</b>	<b>Basura 247.27 kg</b>	<b>Pulpa de café basura 250.00 kg</b>
<b>EM BOKASHI</b>	<b>A</b>	<b>E</b>	<b>I</b>
<b>EM SUSPENSION</b>	<b>B</b>	<b>F</b>	<b>J</b>
<b>LODOS</b>	<b>C</b>	<b>G</b>	<b>K</b>
<b>TESTIGO</b>	<b>D</b>	<b>H</b>	<b>L</b>

Cabe aclarar que para el caso de las pilas inoculadas, la inoculación se llevó a cabo en dos etapas. Al inicio se inoculó con la mitad del total calculado para la masa total de desecho a tratar y la otra parte al noveno día de iniciado el proceso, correspondiendo a la etapa termofílica con un período de duración de aproximadamente 34 días para las pilas inoculadas.

Concluida esta etapa se procedió al monitoreo y cuantificación de los parámetros físicos, químicos y físicos - químicos durante el proceso de degradación.



#### **6.2.4. Métodos analíticos usados en la cuantificación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos durante el proceso.**

##### **6.2.4.1. TEMPERATURA.**

La temperatura fue medida durante un período de dos meses y ocho días, iniciando el control el 16 de marzo de 1999, que corresponde al día de construcción de las doce pilas culminando el día 24 de mayo del año en curso. La temperatura fue medida tres veces en el día correspondiendo a la mañana, medio día y tarde. Las mediciones se hicieron siempre en la parte interior de las pilas; para posteriormente sacar un promedio por día por pila. Para medir la temperatura se utilizó un termómetro digital metálico para suelos.

##### **6.2.4.2. HUMEDAD**

Para cuantificar el mismo se tomaron un total de 17 muestras de acuerdo a la NOM-AA-16 Protección al ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos sólidos - Municipales - Determinación de Humedad; trabajando tres réplicas por cada muestra. Se utilizó método gravimétrico para determinar el porcentaje de humedad.

##### **6.2.4.3. PESO VOLUMÉTRICO.**

Este parámetro fue determinado antes de iniciar el proceso, a cada tipo de material. La cuantificación se realizó de acuerdo a la NOM-AA-19. Norma Oficial Mexicana Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Peso Volumétrico.

##### **6.2.4.4. SÓLIDOS VOLÁTILES**

Esta expresa aquella parte de la materia orgánica que se transforma en gas debido a calcinación a una temperatura de 550 °C y que corresponde en su mayoría a la materia orgánica que se encontraba en la muestra. Para su cuantificación se tomó un total de 17 muestras con tres réplicas por muestra para las doce pilas. Por semana se tomaron dos muestras durante los dos meses y medio que duró el proceso. La muestra que se utilizó en la determinación de humedad se muele en un molino de donde sale con una consistencia de talco. La muestra molida se cuartea sucesivamente hasta obtener 4 gr los cuales son colocados en cápsulas de porcelana para posteriormente quemar las muestras en un horno durante 2 horas a 105 ° C. Las mismas se dejan enfriar y se pesan posteriormente. Luego poner las cápsulas en una mufla a 600 °C durante 4 horas. Por diferencia de peso entre los sólidos totales y el porcentaje de cenizas se calcula el porcentaje de materia volátil.

#### 6.2.4.5 MONITOREO DEL pH.

30 mg de compost fue adicionado a 75 ml de agua destilada y agitada aproximadamente durante 30 minutos. Dejándose en reposo durante 2 horas. Antes de realizar la lectura se agita y se decanta la muestra. El pH fue determinado por triplicado mediante método potenciométrico. Dos muestra por semana fueron tomadas durante un mes y medio, posteriormente fue tomada una muestra compuesta para cada una de las restantes seis semanas con un total de 17 muestras. En el caso de las pilas inoculadas con EM bokashi y EM suspensión en pilas de basura y en mezclas fueron monitoreadas hasta la muestra 12 dado que para esa fecha el proceso de degradación para las mismas fue completado.

#### 6.2.4.6. CARBONO ORGÁNICO Y MATERIA ORGÁNICA.

Las pérdidas de materia orgánica durante el proceso de compostaje pueden alcanzar el 30 % de la materia seca total. El método utilizado en la cuantificación del carbono y materia orgánica fue el método **KURMIES**.

0.15 gr de muestra fue transferida a un matraz erlenmeyer de 250 ml al cual se le adicionó 25 ml de dicromato de potasio y 40 ml de ácido sulfúrico concentrado para posteriormente colocar las muestras en baño María por media hora y agitar cada 15 minutos. Se enfrió y aforó con agua destilada. Las muestras fueron tapadas con polietileno, agitadas y se dejaron sedimentar. Se decantó 30 ml de la solución y se realizó la lectura en un espectrofotómetro a 590 nm. El porcentaje de carbono se calcula de la siguiente manera:

$$\% C = (a/w)*0.25*1.03$$

donde :

a es la concentración de Cr + en la muestra, mmol/l

1.03,0.2225: factores de corrección por recuperación incompleta

W es el peso de la muestra

%C porcentaje de carbono

A igual que en los casos anteriores se tomaron un total de 17 de muestras cada una con tres réplicas. Las determinaciones fueron realizadas en el Laboratorio de Físico Química del Programa de Investigación y Docencia en Medio Ambiente.

El porcentaje de materia orgánica se calculó multiplicando el porcentaje de carbono orgánico por el factor 1.724. Estandar método para suelos. Tomo de Análisis químico.

#### 6.2.4.7. NITROGENO AMONIAICAL Y N- NITRATOS

El nitrógeno amoniacal fue determinado por método de destilación en el cual el NH<sub>3</sub> fue atrapado y condensado como NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. La solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> fue titulada con solución de NaOH.

La concentración de nitrógeno de nitratos se realizó mediante el método de reducción. Después de la eliminación del  $\text{N-NH}_4^+$  fue adicionado  $\text{NaOH}$  al 30 % y la aleación de D'vardas a cada muestra con el objeto de reducir el  $\text{N-NO}_2^-$  a  $\text{N-NH}_4^+$ . El calculo se realiza de la misma manera para la determinación de  $\text{N-NH}_4^+$ . Al igual que con los parámetros anteriores, éstos dos fueron monitoreados durante un período de 2 meses y medio con un total de 17 muestras.

#### **6.2.4.8. NITRÓGENO TOTAL.**

El método Kjeldahl fue utilizado para cuantificar este parámetro en cada tratamiento y para cada tipo de material a compostar. Un total de 17 muestras fueron tomada por pila con replicas de tres por determinación.

#### **6.2.4.9. FÓSFORO TOTAL**

El método a utilizar para la determinación será el método OLSEN.

#### **6.2.4.10. POTASIO.**

Este fue cuantificado solamente al material inicial y al final del proceso o compost, mediante Fotometría de llama en el Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.

#### **6.2.4.11. RELACION CARBONO / NITROGENO.**

La relación C/N será cuantificada mediante análisis elemental de muestras secas. Para el calculo de la relación se utilizó el porcentaje de carbono orgánico y no el total, ya que el mismo no pudo cuantificarse. En cuanto al nitrógeno se utilizó el nitrógeno total.

#### **6.2.4.12. CONTROL MICROBIOLÓGICO.**

Para cumplir con los parámetros microbiológicos establecidos por las Normas Austríacas 2100 "Desechos tóxicos y peligrosos" se cuantificará la presencia de coliformes totales y fecales a cada material a tratar al inicio y al final del proceso mediante la técnica de tubos múltiples. Las Unidades Formadoras de Colonia, UFC / por gramo de muestra, será calculado mediante conteo en placas y factor de dilución.

#### **6.2.5. ENVASE DEL PRODUCTO FINAL.**

Una vez concluido el monitoreo de las pilas durante dos meses y medio, se procedió a almacenar el compost en sacos de 54.54 kg (120 lbs). Previo a su almacenamiento las pilas fueron secadas durante un día exponiéndolas al sol para posteriormente tamizarlas. El objeto de esto es separar del producto final piedras o

cualquier otro material que no haya sido degradado y que no cumpla con el diámetro de partícula establecido.

### 6.2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.

El experimento de aplicación de los cuatro tratamientos analizados se realizará completamente al azar sobre las unidades experimentales sin repeticiones, por lo cual el diseño que se utilizará será un diseño completamente aleatorizado. El modelo que se utilizará será de efectos fijos ya que lo que interesa es conocer el efecto que ocasiona cada tratamiento sobre cada material a degradar. Los efectos estarán constituidos por cada uno de los inoculos tales como: EM bokashi, EM suspensión y los lodos, en cada uno de los materiales a tratar. Por otra parte los niveles del factor o tratamientos fueron escogidos específicamente por el experimentador, por lo que las conclusiones a las que se llegue después de realizada la prueba de hipótesis, no podrá extenderse a otros tratamientos del mismo factor no considerados en forma explícita en el análisis. El modelo que describirá los valores de los datos u observaciones es el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \gamma_i + e_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, k \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array}$$

donde  $y_{ij}$  representa la  $j$ -ésima observación tomada para el  $i$ -ésimo tratamiento, y  $\mu$  es un parámetro común para todos los tratamientos tal que:

$$\mu = \frac{\sum_i \mu_i n_i}{\sum_i n_i} = \frac{n \sum_i \mu_i}{N} = \frac{n \sum_i \mu_i}{kn} = \frac{\sum_i \mu_i}{k}$$

siendo la  $\sum_i n_i = kn = N$  el número total de observaciones tomadas para los  $k$  tratamientos.

$\gamma_i$  representa un parámetro propio únicamente del  $i$ -ésimo tratamiento, que se denomina efecto del tratamiento  $i$ , definido como la desviación de la media  $\mu_i$  de dicho tratamiento respecto de la media común,  $\mu$ , es decir :

$$\gamma_i = \mu_i - \mu$$

tal que  $\gamma_i = 0 \quad \mu_i = \mu \quad i = 1, 2, \dots, k$

Para poder realizar la prueba de hipótesis sobre igualdad de medias que se propondrán más adelante, es necesario hacer las siguientes suposiciones:

Las suposiciones necesarias a considerar para aplicar este modelo son:

- El error aleatorio  $e_{ij}$  es independiente de cualquier otro error  $e_{ij}$ , es decir los datos son independientes.

- Los datos presenten una distribución normal
- Homosedasticidad u homogeneidad de varianzas.

El nivel de significancia a utilizar será del 5 % con el objeto de evitar sesgo de la información por parte del investigador.

Los resultados que se obtendrán durante el monitoreo de los 12 parámetros en el proceso de degradación serán sometidos a análisis estadístico de varianza, **ANOVA**, utilizando el programa **SAE**. Este análisis se realizará con el fin de detectar diferencias significativas entre cada una de las poblaciones, correspondientes a cada tratamiento.

Antes de proceder a la aplicación del análisis de ANOVA será necesario comprobar si las poblaciones analizadas cumplen con las tres suposiciones planteadas anteriormente.

La prueba de independencia, siendo la prueba más importante, establece que los datos a los que se aplique el modelo sean independientes dentro y entre las muestras, es decir, que cada observación no se relacione con las restantes con el fin de soportar debidamente la suposición inicial de que los errores  $e_{ij}$  son independientes. Esta suposición es indispensable para justificar el empleo de la prueba F al realizar el análisis de varianza. Esta prueba será realizada mediante método gráfico.

La condición de normalidad será comprobada mediante método gráfico, haciendo uso de la función de densidad que describe cada población analizada.

La tercera condición, homosedasticidad será comprobada mediante la prueba de Bartlett. Esta prueba establece que las varianzas para las poblaciones de las cuales provienen las muestras son iguales entre sí, y corresponden al valor común  $\sigma^2$

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \sigma_4^2$$

Esta condición implica que aún cuando los distintos tratamientos puedan tener efectos sobre la media de cada parámetro analizado, no afectan la dispersión de las variables analizadas. Tomando en cuenta lo anterior, si las poblaciones no difieren por dispersión, podrían hacerlo por que sus medias fuesen estadísticamente diferentes. Entonces la hipótesis nula a probar es :

**$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$  ( No hay diferencias entre métodos )**

**$H_1: \text{Al menos una media es distinta}$  ( hay diferencias entre método )**

El método de **ANOVA** provee de un método para aceptar o rechazar hipótesis que se plantean acerca de la igualdad de medias para dos o más poblaciones normales de varianzas semejantes. El **ANOVA** hace uso de un estadístico que

corresponde al cociente de dos varianzas muestrales independientes, esto es, el estadístico F y de su distribución de probabilidad. En el caso de aquellas variables en que sea rechazada la hipótesis nula, se procederá a aplicar el método de **DUNCAN**, con el fin de establecer las diferencias específicas por pareja.

## VII. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

### 7.1. Caracterización inicial de los materiales a compostar.

Los resultados iniciales tanto físicos, químicos y microbiológicos son presentados en las Tablas 13 y 14. Al comparar los resultados obtenidos en la pulpa de café con otras caracterizaciones realizadas no se encuentra similitud entre los valores obtenidos. Incluso ni al compararlos entre ellos. La caracterización que más se aproxima a estos es la reportada en la en la Tabla 8. Esto puede deberse a que en algunos casos se trata de pulpa fresca, pulpa deshidrata o pulpa con cierto tiempo de disposición a la intemperie como sucede en esta situación y al método analítico usado en la cuantificación del parámetro.

La relación C/N inicial para la pulpa de café se considera adecuada para garantizar la degradación de la misma en un tiempo razonable.

**Tabla13**  
**Caracterización microbiológica inicial**

	Mesófilos aeróbios	Coli.Total	Coli.Fecal
Material	UFC/g	NMP/100g	NMP/100 g
Pulpa de café	1.20 10 <sup>5</sup>	7.0 010 <sup>6</sup>	11.00 10 <sup>5</sup>
Basura	2.60 10 <sup>5</sup>	1.6 010 <sup>7</sup>	NC
Basura - pulpa de café	8.2 010 <sup>5</sup>	4.0 010 <sup>7</sup>	4.60 10 <sup>7</sup>
S	3.75 10 <sup>5</sup>	2.04 10 <sup>7</sup>	2.3 10 <sup>7</sup>

**Tabla 14**  
**Caracterización física y química inicial**

Material	% M. Orgánica	% COT	pH	% N Total	Kg / m <sup>3</sup> Densidad aparente	% K	% P	C/N
Pulpa de café	54.96	31.90	7.40	0.86	437.70	0.96	0.4	37.00
Basura orgánica	67.00	39.00	8.41	1.83	309.00	0.45	0.4	21.31
Mezcla	61.00	35.45	7.91	1.34	373.35	0.71	0.4	26.45
S	6.019	3.549	0.50	0.48		0.254		7.990

S: Desviación estandar.

En cuanto a la caracterización de la basura se obtiene una relación baja debido al alto contenido de nitrógeno total inicial. Sin embargo, al compara la relación con los resultados presentados en la tabla 3, esta es más alta.

Sin embargo, la mezcla logra mejorar todos los parámetros con valores intermedios a los dos materiales puros. En cuanto a macros elementos, N y K la pulpa es la que presenta los mayores valores.

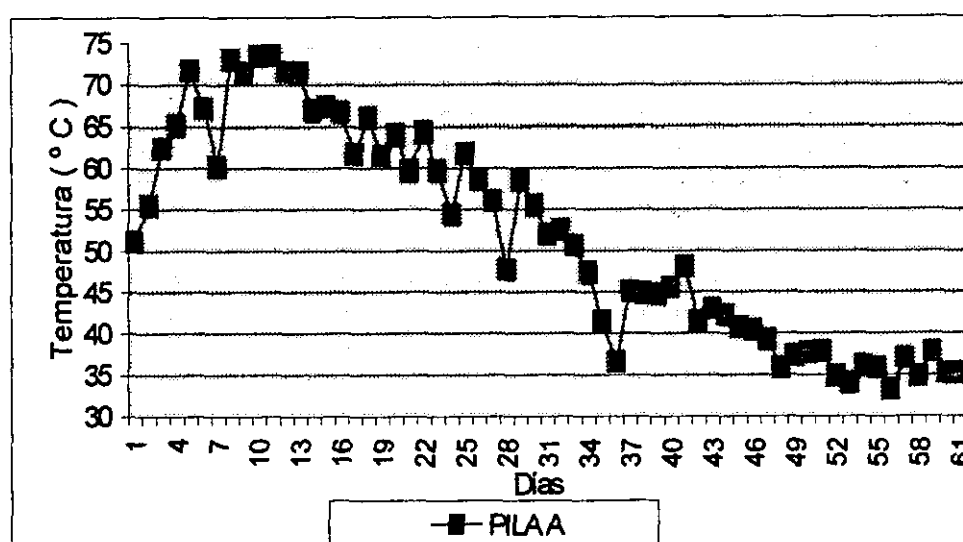
## 7.2. ANALISIS DE LOS PARAMETROS DEL PROCESO.

### 7.2.1. Análisis de la temperatura en pilas de pulpa de café.

El análisis estadístico de los datos mediante análisis de varianza dio como resultado la aceptación de la hipótesis nula, lo cual implica que no existen diferencias significativas en el comportamiento de la temperatura durante la degradación de la pulpa de café. Esto implica que tanto en las pilas inoculadas como en el testigo los resultados de temperatura son iguales. Los resultados obtenidos del análisis de ANOVA se presentan en el **ANAEXO E**. Dado que son estadísticamente iguales se analizará la tendencia que describe el comportamiento de la temperatura para una de las pilas.

La **figura 1** describe el comportamiento seguido por la temperatura en el tiempo. Con una etapa termofílica muy bien definida que se extiende hasta aproximadamente el día 41. La etapa mesofílica al igual que la termofílica se encuentra bien definida; con una duración de aproximadamente 10 días. En esta etapa los valores de temperatura prácticamente corresponden a temperatura ambiental y con valores estables; lo cual indica que el sistema ha alcanzado la estabilidad y por ende el proceso de degradación ha concluido en un lapso de tiempo de 2 meses. Los correspondientes intervalos de temperaturas mesofílicas y termofílicas se presentan en la **Tabla 15**.

En estudios desarrollados por CICAFFE de Costa Rica, 1992, se monitoreo el comportamiento de la temperatura en el proceso de degradación de la pulpa de café mediante sistema de compostaje, durante un período de 3 meses. La tendencia obtenida indica una etapa termofílica con un tiempo de duración de 9 semanas y media con un máximo de temperatura de 63°C. El proceso alcanza 30°C a partir de la semana 11.

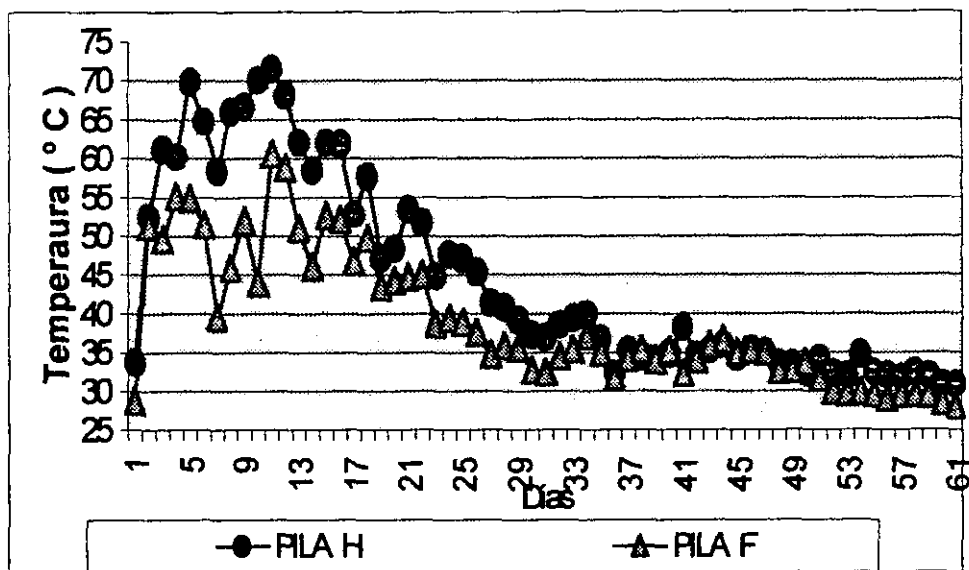


**Figura 1. Variación de la temperatura en pilas de pulpa de café**



### 7.2.2. Análisis de la temperatura en pilas de basura.

El análisis estadístico de los datos dio como resultado el rechazo de la hipótesis nula, por lo que los inoculos sí afectan el comportamiento de la temperatura durante la degradación de la basura. Los resultados del análisis estadístico se presentan en el ANEXO E. Las diferencias por parejas encontradas corresponden a los tratamientos con EM suspensión - testigo y lodos- testigo. No encontrándose diferencias entre EM bokashi y EM suspensión así como entre el lodo y los inoculos basado en EM por lo que cualquiera de los tres inoculos afectan en igual medida a este parámetro. Por tal razón solamente se realizará el análisis entre el testigo y uno de los tratamientos con inocular.



**Figura 2. Variación de la temperatura en pilas de basura**

E (inoculada con bokashi)  
G (inoculada con lodos)

F (inoculada con EM suspensión)  
H (testigo)

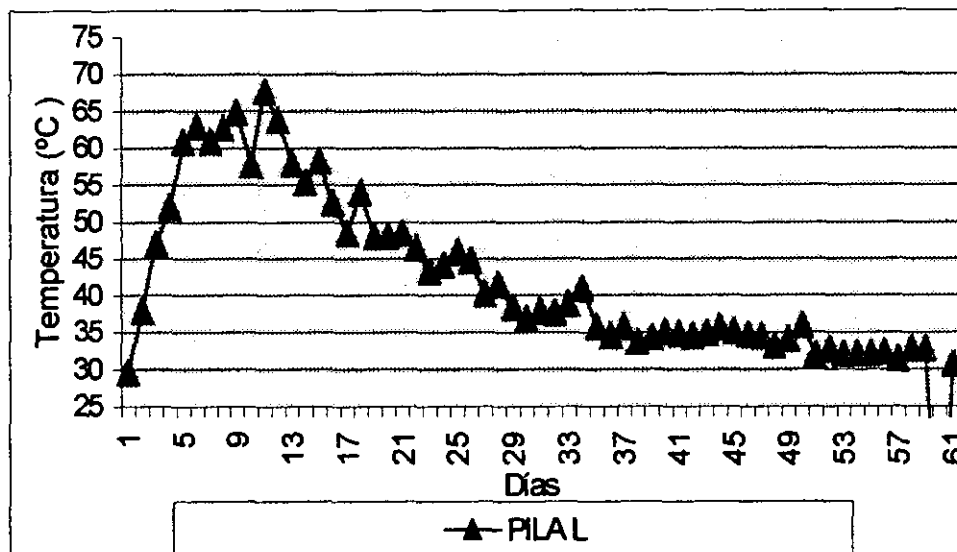
La figura 2 muestra el comportamiento descrito por la temperatura en el tiempo durante la degradación de la basura. La curva F describe el comportamiento descrito por los tres inoculos aplicados. Claramente se aprecian las diferencias existentes lo cual concuerda con el análisis estadístico y con el aspecto físico que presentaban las pilas inoculadas respecto al testigo a partir de la tercera semana de iniciado el proceso. La pila testigo presenta los valores más altos de temperatura termofílica extendiéndose hasta el día 33 contrario a la pila inoculada la cual a partir del día 22 se encuentra en etapa mesofílica. Se observa por otra parte que las diferencias mayores tienen lugar en la etapa termofílica de dicho proceso contrario a la etapa mesofílica la cual es prácticamente igual en todas las situaciones.

Al comparar los resultados con los obtenidos por Argüello Herrera, 1994, al tratar desechos sólidos orgánico generados en el mercado de Masaya, se aprecian diferencias en cuanto a los valores de temperatura reportados y al tiempo de duración de cada etapa al compararlo con los tratamientos. Sin embargo, el testigo presenta valores de temperatura similares. La etapa termofílica según Argüello se extiende a los 78 días alcanzando temperatura ambiente y estable a los 94 días de iniciado el proceso. Al comparar estos resultados con los tratamientos se establece una diferencia en 34 días.

### 7.2.3. Análisis de la temperatura en pilas de pulpa de café basura en relación 1:1

El análisis estadístico de los datos dio como resultado la aceptación de la hipótesis nula, lo cual implica que la media de la temperatura en las cuatro situaciones analizadas es la misma, por lo cual la actividad desarrollada por los microorganismos fue igual, por ende la actividad térmica también es la misma. Los resultados del análisis de ANOVA se presentan en el ANEXO G

La trayectoria seguida en las mezclas de pulpa de café- basura en proporción 1:1 es mostrada en la figura 3. En la misma se aprecia que la etapa termofílica en todos las situaciones es más corta con una duración de 29 días que cuando se degradan ambos materiales puros con una duración de 49 días. Por el contrario se obtiene una etapa mesofílica con mayor duración de 33 días. Los resultados obtenidos son similares a los que se obtuvieron al tratar solamente basura.



**Figura 3. Variación de la temperatura en pilas de pulpa de café-basura**  
 I (inoculada con EM bokashi)      J (inoculada con EM suspensión)  
 K (inoculada con fodo)            L (testigo)

**Tabla 15**  
**Intervalo de temperatura durante el proceso de compostaje de los**  
**diferentes materiales a tratar**

Pilas	Intervalo termofílico	Intervalo termofílico	Intervalo mesofílico	Intervalo mesofílico
	Máxima °C	Mínimo °C	Máxima °C	Mínima °C
A	73.5	40.33	39.2	25
B	70.933	40.8	38.26	32.2
C	69.56	40.43	38.43	35.96
D	67.4	41.86	37.1	31.2
E	67.86	40.2	37.66	27.73
F	60.63	43.5	39.46	26.9
G	68.5	41.4	39.5	28.26
H	68.16	40	39.53	30.06
I	71.56	40.83	39.9	30.9
J	66.73	40.8	39.6	29.4
K	67.37	40.23	39.63	30.5
L	67.63	40.23	38.4	30.06

#### 7.2.4. PORCENTAJE DE HUMEDAD.

##### 7.2.4.1. Porcentaje de humedad en pilas de pulpa de café.

El porcentaje de humedad inicial para las pilas de pulpa de café debería esperarse igual en todos los casos. Sin embargo, la Pila A y Pila B presentan una diferencia de 3.06 % menor respecto a la Pila C y D. % pila D. Esta diferencia inicial en el material se atribuye a que el día antes de iniciar la construcción de las pilas, los sacos de pulpa de café quedaron a la intemperie y la lluvia de esa noche incrementó el contenido de humedad en los sacos apilados en la superficie no siendo así con los sacos inferiores. Los resultados iniciales y finales se presentan en la tabla 16 obteniéndose valores finales de porcentaje de humedad óptimos comprendidos entre 35 y 40 % para las pilas A y B.

**Tabla 16**  
**Porcentaje inicial y final de humedad en pulpa de café**

% de Humedad	Pila A	Pila B	Pila C	Pila D
Inicial	68.75	69.98	72.43	73.5
Final	39.33	36.19	46.85	48.63
Pérdidas	29.42	33.79	25.58	24.87

En el transcurso del monitoreo se observó que la pulpa de café fue la que más rápidamente evaporaba el agua con relación a la basura y a la mezcla, por lo cual fue sometida a riegos más frecuentes a diferencia de los otros ensayos.

La Pila C presentó característica diferente a las tres pilas restantes ya que tuvo lugar la formación de grumos por lo que fue necesario someterla a un ritmo de

volteos diferente a las restantes. Esta característica es adjudicada a los lodos adicionados a la misma.

El comportamiento observado en las tendencias coincide con los resultados del análisis estadístico ANOVA, **ANEXO E**, ya que sí existen diferencias significativas. Al aplicar el método de Duncan para establecer las diferencias específicas por parejas se obtuvo como resultado diferencias entre las medias de los tratamientos con EM bokashi - testigo, EM suspensión - testigo, EM bokashi - lodos y EM suspensión - lodos. El porcentaje promedio más elevado corresponde al testigo con 59.831 %. El porcentaje promedio de humedad correspondiente a las pilas A y B se encuentra en rango óptimo.

En cuanto a las comparaciones entre EM bokashi - EM suspensión los promedios del porcentaje de humedad no presentaron diferencias, por lo cual se plantea que ambos inoculos ejercen la misma influencia sobre este parámetro. Por otra parte los lodos con el testigo no reportan diferencias significativas entre ambos.

#### **7.2.4.2 Porcentaje de humedad en pilas de basura.**

El análisis estadístico de los datos reporta que no existen diferencias entre las medias de cada tratamiento por lo que son estadísticamente iguales. Los resultados se presentan en el **ANEXO F**. Las Pilas G y H fueron monitoreadas durante los dos meses y medio que se controló el experimento a diferencias de las pilas E y F las a simple vista presentaban un estado de degradación muy avanzado a diferencias de G y H. A pesar de no existir diferencias entre los tratamientos la pila G fue sometida a volteos más frecuentes a diferencias de las otras dado la compactación del material producto al contenido de humedad más alto en comparación con las tres restantes. Los resultados iniciales y finales se presentan en la Tabla 17.

**Tabla 17**  
**Porcentaje inicial y final de humedad en basura**

% de Humedad	Pila E	Pila F	Pila G	Pila H
Inicial	69.21	67.85	78.53	68
Final	37.58	39.68	36.28	34.81
Pérdidas	31.63	28.17	42.23	33.19

El porcentaje de humedad final en las cuatro situaciones se encuentra dentro de rango óptimo comprendido entre 35 y 45 %

#### **7.2.4.3. Porcentaje de humedad en pilas de basura - pulpa de café.**

El comportamiento general seguido es similar al obtenido en las pilas de basura.

Las diferencias estadísticas encontradas corresponden a los tratamientos con EM bokashi - lodos; EM suspensión - testigo y testigo - EM bokashi, situación similar a la obtenida en la pulpa de café. El mayor porcentaje promedio corresponde al testigo con 57.47 % de humedad. El tratamiento con lodo resultó igual al testigo con valor promedio de 53.13 %. Los tratamientos con EM bokashi y EM suspensión alcanzaron valores promedios de 45.74 % y 47.54 % respectivamente, ambos valores dentro del rango óptimo situación similar a la obtenida en la degradación de pulpa de café. Los resultados del análisis estadístico se presentan en se presentan en el **ANEXO G**. Los resultados iniciales y finales así como el porcentaje de pérdida de humedad durante el proceso son presentados en la tabla 18.

**Tabla 18.**  
**Porcentaje inicial y final de humedad en la mezcla.**

% de Humedad	Pila I	Pila J	Pila K	Pila L
Inicial	69.9	62.68	81.54	80.71
Final	41.7	43.33	42.05	45.21
Pérdidas	28.2	19.35	39.49	35.5

## 7.2.5. SOLIDOS VOLATILES.

### 7.2.5.1. Sólidos volátiles en pilas de pulpa de café-

El análisis de **ANOVA** que se presenta en el **ANEXO E**, da como resultado la existencia de diferencias significativas. Las diferencias significativas encontradas corresponden a los tratamientos EM bokashi - testigo; EM suspensión - lodos y EM suspensión - lodos. Los tratamientos EM bokashi-EM suspensión resultaron ser diferentes.

Como se planteó anteriormente el proceso ha alcanzado la estabilidad cuando los sólidos volátiles alcanzan valores por **debajo del 40 % M.S** según establece la Norma Austríacas. Los resultados finales alcanzados fueron de 31.32 % para la pila A, 32.18 % pila B, 37.86 % pila C y 38.14 % pila D, valores que se encuentran por debajo al 40 % de sólidos volátiles que establece la **NORMA**, para que el proceso de degradación se haya completado. Los resultados promedios para A y B resultaron sin la existencia de diferencias. Esto corrobora los planteamientos anteriores aunado con las características físicas que presentaron estas dos pilas por lo que se plantea categóricamente que EM bokashi y EM suspensión afectan en la misma medida el proceso de degradación de la pulpa de café en un periodo de 10 semanas. A diferencias de las alternativas lodos y testigo que a pesar de estar por debajo del límite superior establecido por la Norma presentan valores en ese mismo tiempo, significativamente igual al 40 % M.S. Por otra parte todos los resultados son mayores que el valor mínimo de 18 % de M.S que estable la Norma para compost de basura.

### **7.2.5.2. Sólidos volátiles en pilas de basura.**

El análisis de ANOVA no reporta diferencias significativas entre los cuatro tratamientos, por lo que se plantea que el porcentaje de sólidos volátiles es el mismo. Los resultados se presentan en el **ANEXO F**.

Los Resultados finales fueron de 25.68 % pila E, 25.28 % Pila F, 24 % Pila G y 26 % Pila H encontrándose todos en Norma. Al comparar los resultados con los obtenidos por Argüello Herrera resultan prácticamente iguales pero en un lapso de tiempo de 21 semanas contrario a la situación que se analiza que alcanzó dichos valores en 10 semanas. Cabe resaltar que en el estudio de Argüello Herrera una de las pilas no cumplió con el valor mínimo de 18 % de M.S establecido en la Norma, la misma alcanzó un 15 % de M.S..

### **7.2.5.3. Sólidos volátiles en pilas de basura pulpa de café basura en relación 1:1.**

El análisis estadístico de los datos dio como resultados la aceptación de la hipótesis nula para la media del porcentaje de sólidos volátiles en el tratamiento de la mezcla de basura pulpa de café. Esto indica que no es necesario la adición de ningún inculo en el tratamiento de la mezcla de basura pulpa de café en relación 1:1. Los resultados de ANOVA se presentan en el **ANEXO G**. Los resultados obtenidos son similares a los obtenidos al analizar la basura sola.

## **7.2.6. pH**

### **7.2.6.1. Variación del pH en pilas de pulpa de café.**

El análisis estadístico de los datos dio como resultado la existencia de diferencias significativas entre las varianzas de la población para este parámetro, (prueba de Bartlett) indicando esta situación que los inoculos si afectan el comportamiento del pH durante la degradación de la pulpa de café, lo que se puede apreciar en la **figura 4**. Sin embargo, los resultados obtenidos para la media del pH acepta la hipótesis nula. Los resultados del ANOVA son presentados en el **ANEXO E**.

En la **figura 4** se aprecia un comportamiento variable durante el proceso de transformación de la pulpa de café con un valor inicial de 7.1, pudo haberse obtenido valores próximos a 4 debido a la liberación de amoniaco y otros ácido que se forman como parte del proceso. Esto probablemente no pudo apreciarse debido a que la pulpa a tratar no era fresca. Luego este valor se incrementa a 9 debido a que los ácidos sirven de substrato a las poblaciones sucesivas y por otra parte debido a la capacidad amortiguadora de ciertos componentes como las cenizas, cal, carbonatos presentes. Posteriormente se debe esperar que este valor descienda y se estabilice hasta alcanzar pH de 10 en un período de 10 semanas.

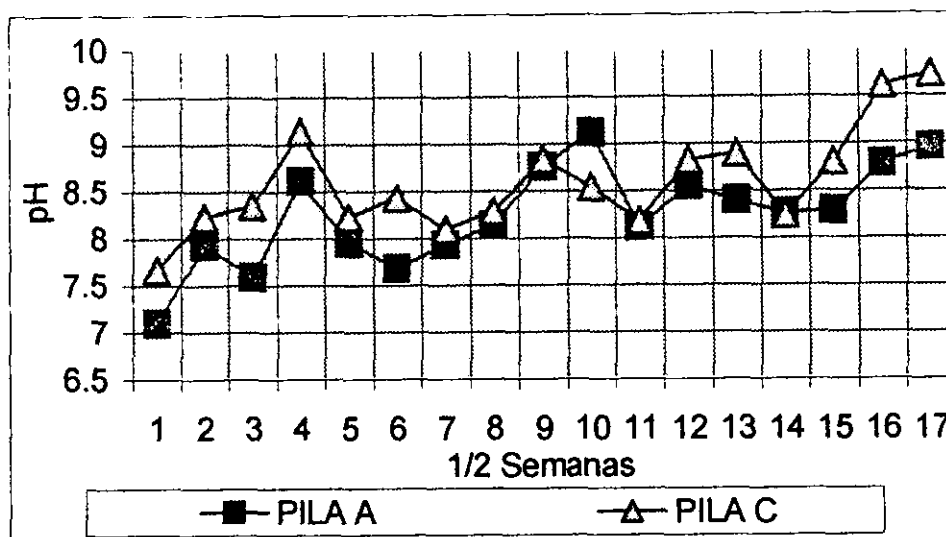


Figura 4. Variación del pH durante la degradación de pulpa de café

#### 7.2.6.2. Variación del pH en pilas de basura.

El análisis de ANOVA dio como resultado la no existencia de diferencias significativas entre los tratamientos. Lo cual indica que los mismos no afectan el comportamiento del pH en la degradación de la basura. Los resultados son presentados en el ANEXO F.

La figura 5 muestra el comportamiento del pH durante la degradación de la basura, con un comportamiento variable iniciando con valor de pH ácido el cual incrementa en la medida que el proceso de degradación se completa. Una vez completado el proceso de degradación se obtuvo un valor de 8 el cual al compararlo con lo que establece la Norma Austríaca cumple con la misma. Los resultados finales en cada situación corresponden a Pila E 8, Pila F 7.6, Pila G 8.04 y Pila H 8.18 los cuales son estadísticamente iguales.

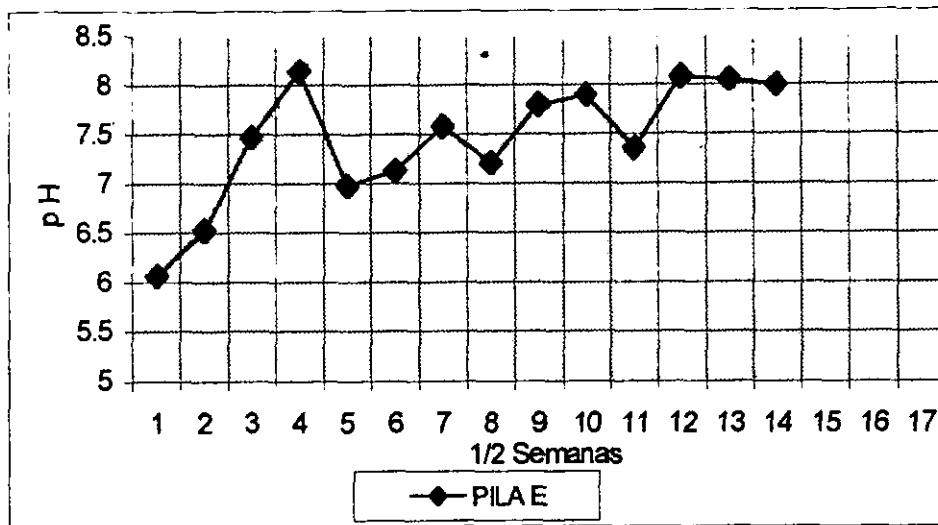


Figura 5. Variación del pH durante la degradación de basura

### 7.2.6.3. Variación del pH en pilas de basura pulpa de café en relación 1:1

Al mezclar la pulpa de café con basura en la mismas proporción se obtuvo resultados iniciales prácticamente neutros con 7.03 I, 7.07 J, 7.13 K y 7.1 pila L, si se comparan con los valores iniciales correspondientes a la pulpa de café.

El análisis estadístico de los datos reflejó la existencia de diferencias significativas entre tratamientos dado que el análisis entre varianzas rechaza la hipótesis de igualdad entre las mismas. Los resultados de ANOVA son presentados en el ANEXO G.

La figura 6 indica que en el proceso de degradación de la mezcla pulpa de café basura el inicio del proceso arranca con un valor de pH neutro para incrementar paulatinamente hasta valores de pH alcalinos. Esta situación es similar a la situación observada al tratar los materiales separados debido a que los compuestos ácidos que se forman en las primeras etapa del proceso resultan ser compuestos intermediarios que posteriormente son utilizados como substratos por otros microorganismos con la consecuente disminución en la concentración de los mismos y por ende con el incremento del pH. El rango de pH varió entre 7 y 9.5. Posteriormente en el muestreo 17 correspondiente a los dos meses una semana se aprecia una tendencia a disminuir. Las Normas Austríacas establece que para compost proveniente de basura debe cumplir con un pH de 7 a 8.5.

Los resultados finales obtenidos corresponden a 8 las pilas I e J, 9.25 la pila K y 9.19 la pila L.



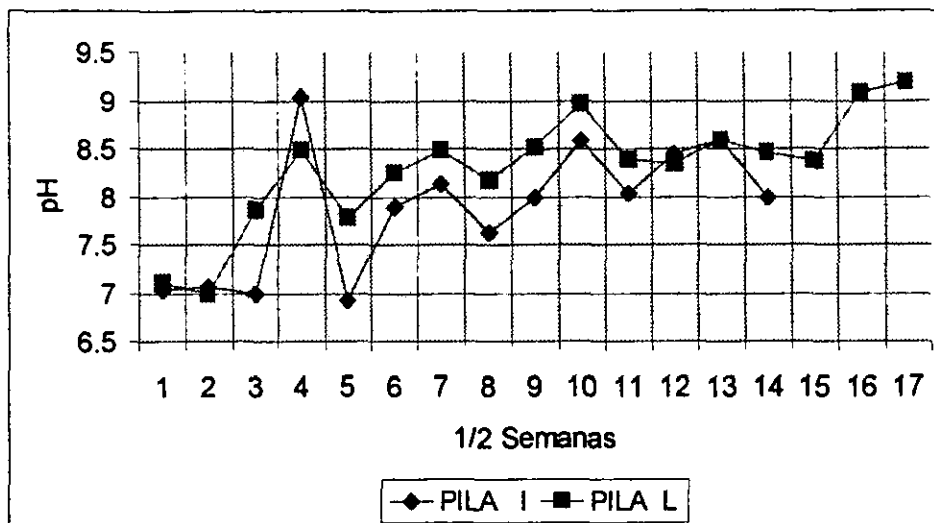


Figura 6. Variación del pH durante la degradación de pulpa de café- basura en relación 1:1

## 7.2.7. Materia orgánica y carbono orgánico.

### 7.2.7.1. Materia orgánica y carbono orgánico en pilas de pulpa de café.

Durante el transcurso de la fermentación aeróbica, las pérdidas de materia orgánica pueden alcanzar el 30 % de la materia seca total. La mayor parte de esta materia orgánica volatilizada corresponde a sustancias ricas en carbono y se producen en la primera etapa de la fermentación y no durante las altas temperaturas. Cuanto más activos han sido los microorganismos más carbono han consumido.

Los valores iniciales de materia orgánica corresponden a **54.96 %** para la pulpa de café con una tendencia a disminuir paulatinamente. Cabe aclarar que la pulpa de café a tratar no era fresca sino que tenía aproximadamente un mes y medio de estar apilada a la intemperie en el beneficio de café Santiago.

Las Normas Austríacas establecen que la materia orgánica degradable debe ser mayor o igual al **12 % M.S** como límite mínimo. Los resultados finales obtenidos se presentan en la figura 9. La tendencia desarrollada en cada pila es mostrada en la figura 7, la cual sigue una tendencia muy bien definida. Se aprecia que la Pila A y B desarrollan un comportamiento prácticamente igual; manteniéndose durante todo el monitoreo por debajo de las tendencias de C y D. Seguida a estas dos pilas se encuentra la pila C con valores no muy alejados de B y finalmente la pila D. Este comportamiento en conjunto con los analizados hasta el momento nos permite afirmar que si existe influencia por parte de los inoculos en la degradación de la pulpa de café con una eficiencia de remoción de **65.15 %** para

degradación de la pulpa de café con una eficiencia de remoción de **65.15 % para la Pila A , 60 % Pila B, 51.8 % Pila C y 35.08 % Pila D** en un período de tiempo de dos meses dos semanas. **Fotografía 8 del ANEXO D.**

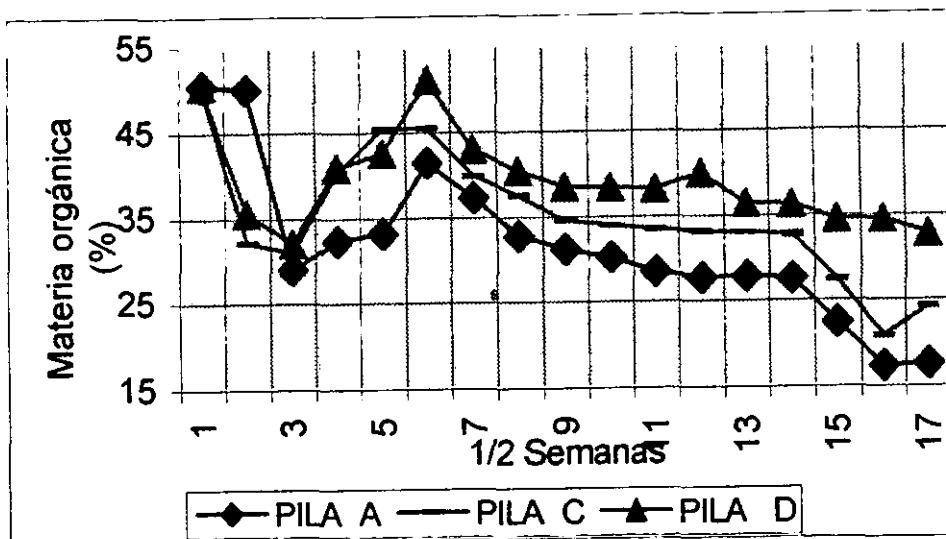
El carbono orgánico está estrechamente relacionado con el comportamiento de la materia orgánica. Las Normas establecen como límite permitido **0.9 %** de materia seca. El porcentaje inicial del mismo fue de **31.9 %**. La **figura 8** muestra claramente la tendencia mantenida por este parámetro, el cual sigue el mismo patrón que el de la materia orgánica. En ambos casos tanto de materia orgánica como carbono orgánico se ve el efecto que ocasionan los tres inoculos en la pulpa de café al compararlo con los testigos

Los resultados finales tanto para la materia orgánica como carbono orgánico son presentados en la **Figura 9**, encontrándose dentro de Norma la pila A, B y C tanto para el carbono como para la materia orgánica. Esto fue corroborado con la apariencia que presentaba la pila D la cual presentaba alto porcentaje de material no degradado a diferencias de las dos primeras.

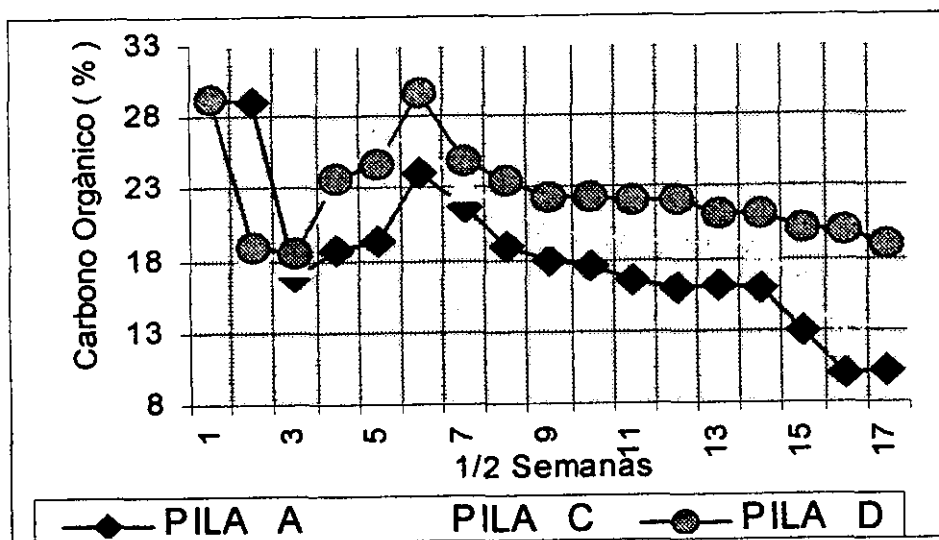
En el **ANAEXO E** se presentan los resultados del análisis estadístico, indicando el rechazo de la hipótesis nula. Esto conlleva a que la media del porcentaje y la varianza tanto de carbono orgánico como de materia orgánica en los cuatro tratamientos son diferentes, coincidiendo con el análisis que se ha venido presentando en el comportamiento que han seguido los parámetros anteriores.

Las diferencias significativas encontradas corresponden a los tratamientos entre EM suspensión - testigo y EM bokashi testigo El mayor porcentaje promedio de materia orgánica corresponde al testigo con **40.21 %**, posterior a esta se ubica la pilas inoculada con lodos con **35.123 %**., siendo las dos estadísticamente iguales, lo que corrobora el estado físico de degradación similar para el tratamiento con lodos y el testigo.

El promedio de materia orgánica para los tratamientos con bokashi y EM suspensión son de **31.029 y 32.929 %**, estadísticamente son iguales entre ellos y estadísticamente diferentes respecto al tratamiento con el testigo. Por lo cual se plantea que EM bokashi , EM suspensión y los lodos afectan la degradación de la pulpa de café. A pesar de ello físicamente se observó una mayor degradación en las pilas A y B respecto a C y C respecto a D.

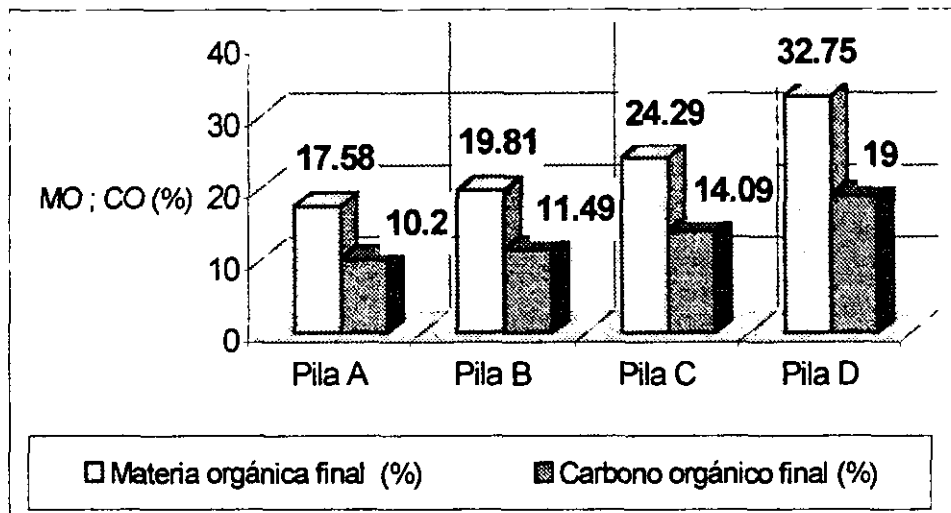


**Figura 7. Variación del contenido de materia orgánica en la degradación de pulpa de café**



**Figura 8. Variación del contenido de carbono orgánico en la degradación de pulpa de café**

El análisis estadístico de los datos para el porcentaje de carbono orgánico dio como resultado la existencia de diferencias significativa con los mismos resultados para el porcentaje de materia orgánica. Los resultados del análisis estadístico se presentan en el ANEXO E.



**Figura 9. Contenido final de materia orgánica y carbono orgánico en compost de pulpa de café.**

Al comparar los resultados con lo que establece la Norma el porcentaje de materia orgánica para las pilas A y B son las que más se aproximan al 12 % M.S que establece la Norma como limite inferior. La misma establece que el limite mínimo aceptable debe ser mayor o igual de 12 % M.S. Situación similar se obtiene para el porcentaje de carbono orgánico.

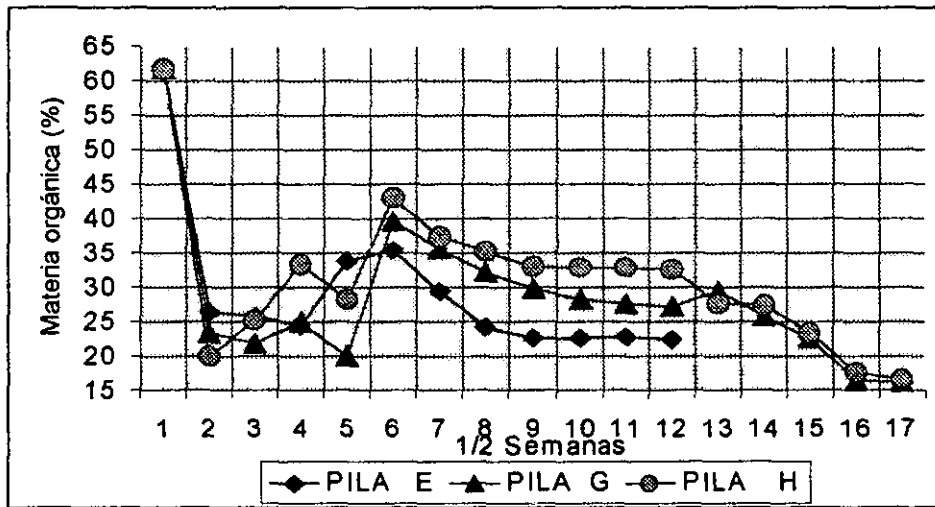
#### 7.2.7.2. Materia orgánica y carbono orgánico en pilas de basura.

Los resultados obtenidos en el análisis estadístico de los datos para el porcentaje de materia orgánica y carbono orgánico establecen que no existen diferencias significativas entre las medias de la población, sin embargo, la prueba de Bartlett rechaza la hipótesis nula por lo que las varianzas de la población son estadísticamente diferentes lo cual indica que los inoculos si afectan el comportamiento de la materia orgánica en la degradación de la basura. Los resultados de ANOVA se presentan en el ANEXO F. Ver fotografía 9 y 10 del ANEXO D.

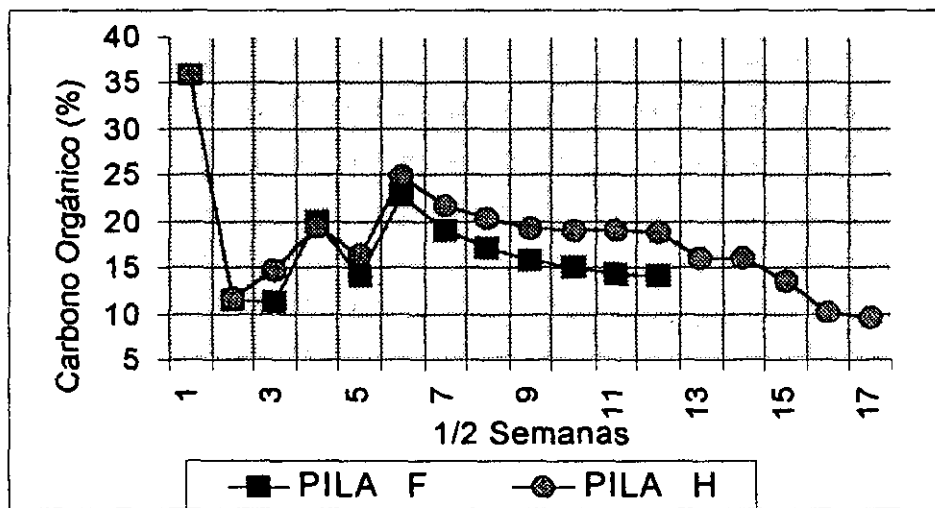
El porcentaje inicial de materia orgánica para la basura fue de 67 %. En la figura 9 se describe el comportamiento seguido por este parámetro lo cual corrobora los resultados obtenidos en la prueba de Bartlett. En el gráfico 10 se aprecia un comportamiento muy irregular a partir del muestreo 2 hasta el quinto, probablemente debido a errores en la calibración del espectrofotómetro. Después de este muestreo se observa una tendencia más definida y lógica. Al inicio del proceso se aprecian cambios bruscos en el porcentaje de estos en un lapso de tiempo de un mes; con la consecuente disminución de la materia orgánica y carbono orgánico en 60.8 % pila E, 47.77 % pila G y 43.05 % pila H %. Después de este tiempo sigue disminuyendo el porcentaje de estos parámetros pero a una razón más pequeña que al inicio. En esta segunda etapa se logra una disminución

del 7.16 % de la materia orgánica para la pila E, 15.5 % % G y 6.79 5 M.S para la pila H . Los resultados finales tanto para materia orgánica como carbono orgánica se muestran en la figura 12. Todas las pilas cumplen con lo establecido por la Norma.

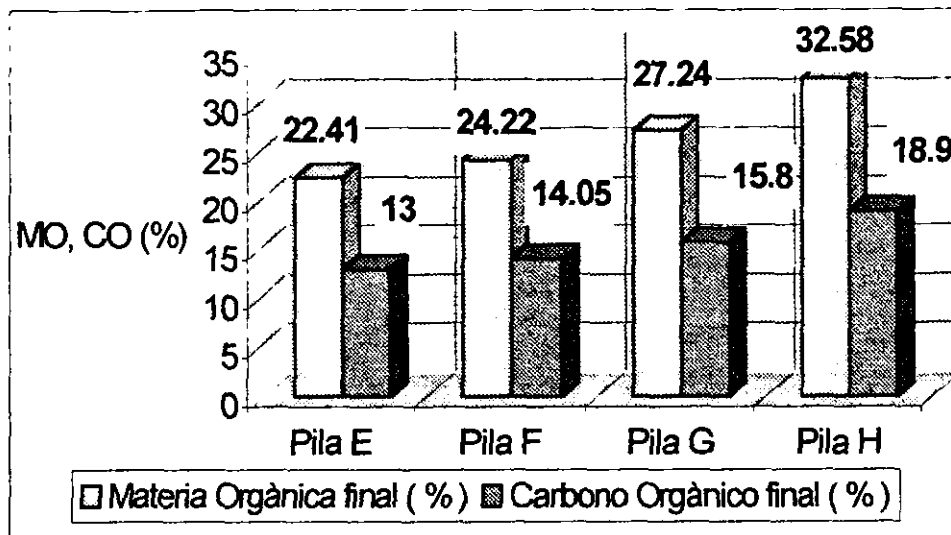
Al comparar los resultados con los obtenidos por Argüello Herrera,1992 se encuentra que los resultados son muy diferentes correspondiente a un 16.2 % de M.S para la materia orgánica la cual no llega a alcanzar el 12 % de M.S como limite mínimo que establece la Norma y 14.96 % M.S para el carbono el cual sobrepasa el 0.9 % de M.S como valor mínimo establecido por la Norma Austriaca.



**Figura10. Variación del contenido de materia orgánica en la degradación de basura**



**Figura 11. Variación del contenido de carbono orgánico en la degradación de basura**



**Figura 12. Contenido final de materia orgànica y carbono orgànico en compost de basura**

### 7.2.7.3. Materia orgànica y carbono orgànico en pilas de pulpa de café-basura en relación 1:1

El análisis estadísticos de los datos mediante ANOVA tanto para el carbono orgànico como para la materia orgànica dio como resultado la aceptación de la hipótesis nula, no obstante el análisis de varianzas da como resultado la existencia de diferencias entre las varianzas de la población por lo que se concluye que los inoculos si afectan el comportamiento de este parámetro durante la degradación de la mezcla de basura pulpa de café. Las diferencias existentes son apreciadas claramente en el gráfico 13 y 14.

Se inició con un 61 % de materia orgànica y un 35.45 % de carbono orgànico en la mezcla. Las tendencias desarrolladas por ambos parámetros se presentan en las figuras 13 y 14. En las mismas se aprecia una tendencia muy bien definida para el carbono orgànico desde el primer muestreo hasta el final. Sin embargo, para el porcentaje de materia orgànica no ocurre lo mismo. En los primeros muestreos se obtuvieron valores muy irregulares probablemente debidos a una mala calibración en el equipo. No obstante, a partir del muestreo 5 se aprecia una tendencia muy definida hasta alcanzar valores estables. Los mayores cambios en el porcentaje de la materia orgànica y el carbono orgànico tuvieron lugar en un período de tiempo de un mes con un 46.76 % de materia orgànica para la pila I y un 35.3 5 para la pila L. Posteriormente se aprecian cambios en ambos parámetros pero en menor magnitud que al inicio, hasta alcanzar los valores finales que se presentan en la figura 14, en esta segunda fase se logra una disminución en la materia orgànica del 15.7 % para la pila I y 8.84 % para la pila L. Al comparar los

resultados con la Norma, los mismos se encuentran dentro de Norma. Los resultados obtenidos son superiores a los reportados por Argüello Herrera.

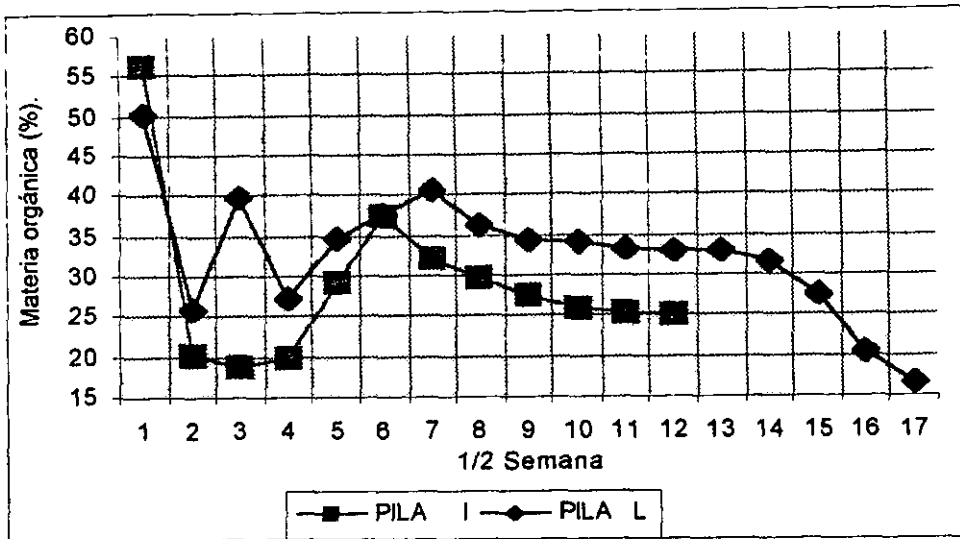


Figura 13. Variación de la materia orgánica durante la degradación de pulpa de café - basura en relación 1:1.

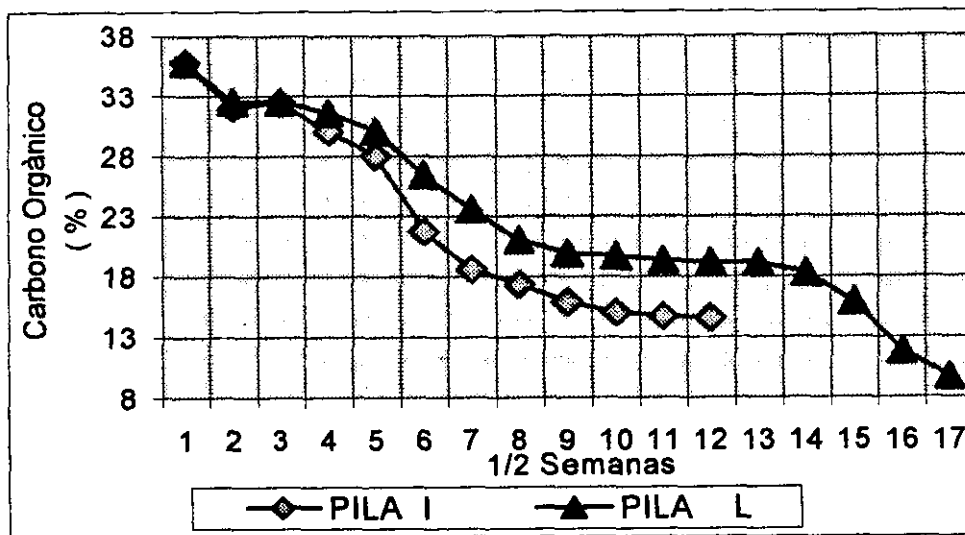
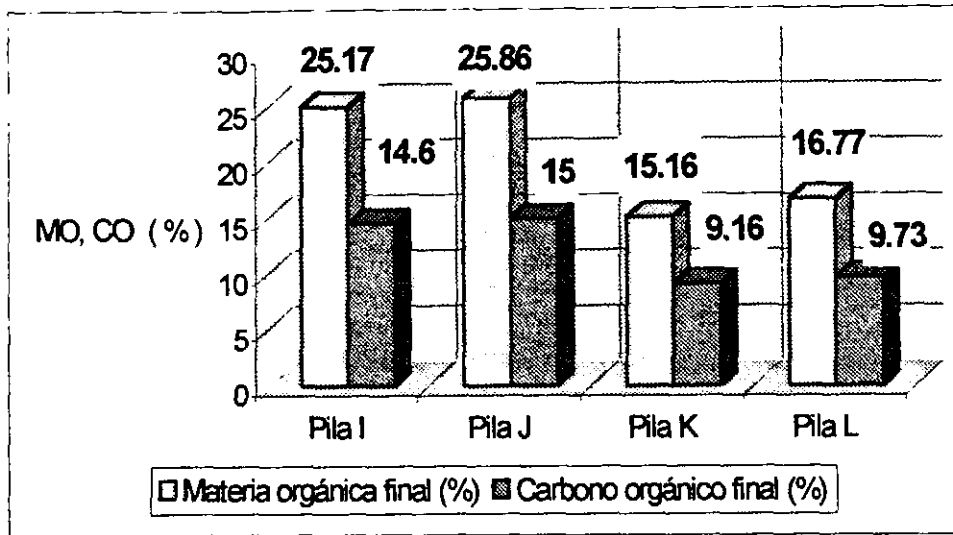


Figura 14. Variación de carbono orgánico durante la degradación de pulpa de café basura en relación 1:1



**Figura 15. Contenido inicial y final de carbono orgánico y materia orgánica en compost de pulpa de café basura en relación 1:1**

#### **7.2.8. Nitrógeno amoniacal y nitrógeno de nitrato.**

##### **7.2.8.1. Nitrógeno amoniacal y nitrógeno nitratos en pilas de pulpa de café.**

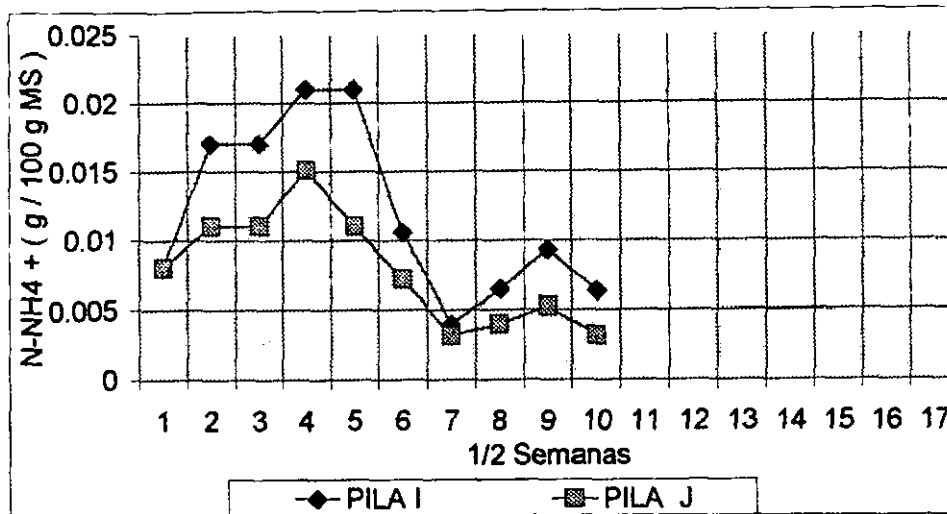
Según las Normas Austríacas en el compost el porcentaje final de nitrógeno amoniacal  $N-NH_4^+$  no debe exceder de 0.04 % de MS. La presencia de  $N-NH_4^+$  es un indicador de materia inestable (Argüello Herrera, 1994).

El análisis estadístico para la concentración del nitrógeno amoniacal establece que el promedio de la concentración del  $N-NH_4^+$  y las varianzas para la población no presenta diferencias significativas, por lo que la concentración promedio es igual en todos los casos. A pesar de estos resultados, en la figura 16 se aprecia que en la etapa inicial del proceso de degradación que comprende desde el día uno hasta el día de treinta las concentraciones de este compuesto para la pila A y el testigo son muy diferentes. A partir del mes las diferencias entre puntos se hacen mínimas, esta situación podría indicar que los inoculos afectan solamente al inicio del proceso de degradación.

Las concentraciones iniciales fueron 0.14 g / kg de MS pila A, 0.05 g/ kg de MS pila B, 0.08 g/kg de MS pila C y 0.06 g/kg de MS pila D. En la Tabla 22 se reportan los resultados obtenidos tanto de nitrógeno amoniacal como de nitrógeno nitrato durante todo el proceso de degradación de la pulpa de café para cada situación analizada.



Los resultados finales fueron de 0.06 g/kg de MS A , 0.13 Pila C y 0.11 D g /kg de MS. Todas las pilas se encuentran por debajo del 0.04 % de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> que establece la Norma.



**Figura 16. Variación de la concentración de nitrógeno amoniacal en la degradación de pulpa de café.**

#### 7.2.8.2 Nitrógeno amoniacal y nitrógeno de nitrato en pilas de basura.

Las diferencias significativas encontradas corresponden a los tratamientos con EM bokashi - EM suspensión; testigo - EM suspensión y lodos - EM suspensión. El mayor porcentaje promedio corresponde a la pila inoculada con bokashi, lo cual indica que es el tratamiento donde tuvo lugar la mayor actividad degradadora y la primera en alcanzar la estabilidad al mes y medio de transcurrido el proceso. Los promedios de concentración son de 0.012 g / kg de MS pila E, 0.004 g /kg de MS pila F, 0.005 g/ kg de MS pila G y 0.007 g / kg de MS pila H.

No se detectó diferencias entre la concentración de los tratamientos en F - G; F- H y G-H por lo que se plantea que la actividad degradadora en estos tratamientos fue igual, siendo mayor en la pila inoculada con EM bokashi.

En la figura 17 se observa que la tendencia desarrollada para el N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en la pila inoculada con bokashi es la que presenta las concentraciones más altas hasta el muestreo 5, descendiendo posteriormente hasta alcanzar valores estables y llegar al valor final. Los valores más próximos a esta corresponden a la pila testigo con un comportamiento similar a la descrita anteriormente, aunque con valores muy por debajo de los obtenidos en E. Las concentraciones finales fueron de 0.034 g/ kg de MS pila E, 0.041 y 0.05 g / kg de MS pila G y H.

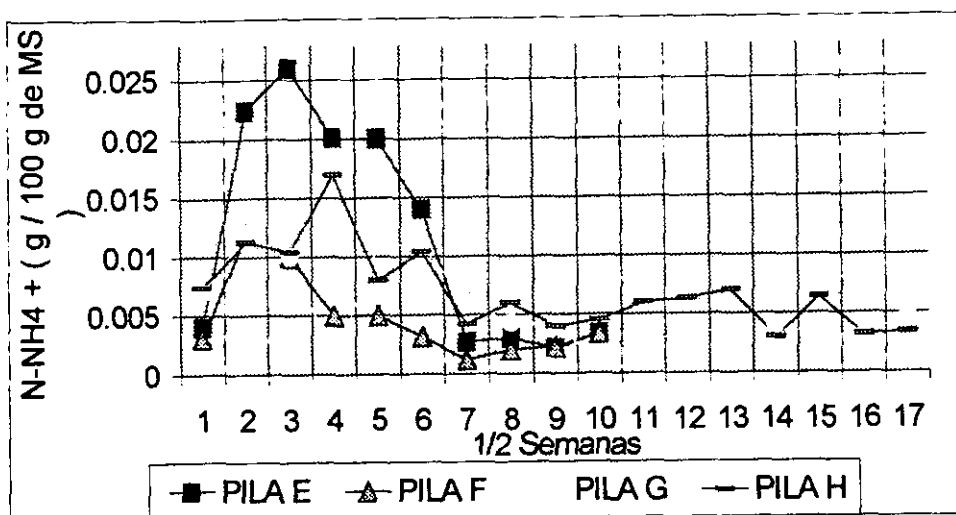


Figura 17. Variación de la concentración de nitrógeno amoniacal en la degradación de basura.

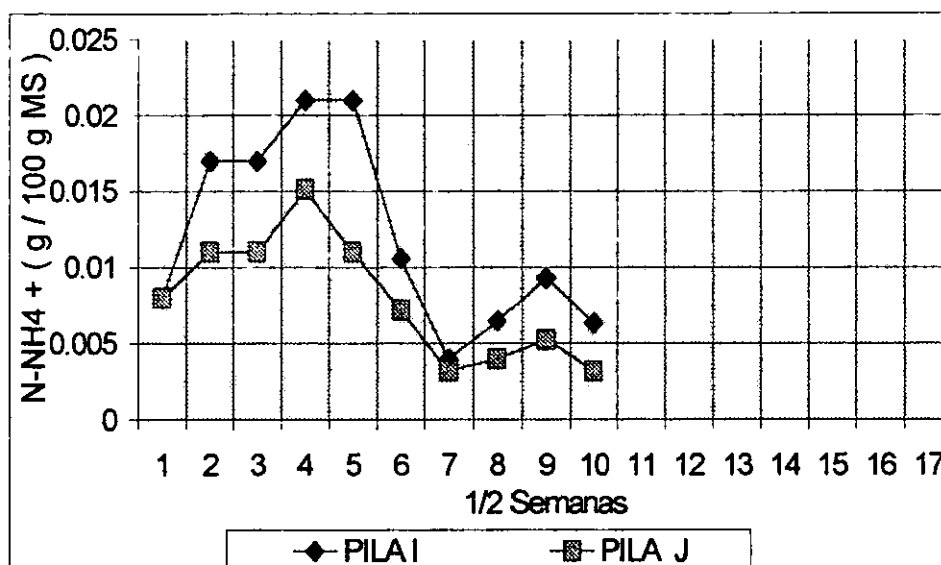
La Tabla 20 del ANEXO C muestra los resultados obtenidos durante la degradación de basura orgánica, tanto de  $N-NH_4^+$  como del  $N-NO_3^-$  con valores iniciales de 0.04, 0.031, 0.07 y 0.074 g/kg  $N-NH_4^+$  en base seca para la Pila E, F, G, y H respectivamente.

### 7.2.8.3. Nitrógeno Amoniacal y Nitrógeno Nitrato en pilas de pulpa de café basura en relación 1:1

El análisis estadísticos de los datos dio como resultado, diferencias entre los tratamientos con EM bokashi - EM suspensión con resultados promedios de 0.127 y 0.079 g / kg de MS. Presentando la misma situación que en el tratamiento de la basura. Dado que no se detectó diferencias significativas entre los tratamientos lodos - testigo, lodos- EM suspensión, EM suspensión - testigo se concluye que el proceso de degradación y por ende la estabilización es igual en estas situaciones.

Con concentración inicial del  $N-NH_4^+$  de 0.08 Pila I, 0.08 Pila J, 0.0042 K y 0.04 g/kg MS pila L. En la figura 18 se describe el comportamiento desarrollado por este parámetro, se logra obtener la máxima actividad en las tres primeras semanas y media de iniciado el proceso, posteriormente inicia el proceso de disminución en la concentración como consecuencia del proceso de formación del nitrógeno de nitratos.

Las concentraciones finales obtenidas fueron de 0.077 y 0.065 g/kg de MS pilas K y L. La Pila I y J presentan un valor final de 0.0634 y 0.032 g/kg de MS. Todas las pilas alcanzan valores dentro de Norma.



**Figura 18. Variación de la concentración de nitrógeno amoniacal durante la degradación de pulpa de café basura en relación 1:1**

### 7.2.9. Relación C/N.

#### 7.2.9.1. Relación C/N en pilas de pulpa de café.

Las Normas Austríacas establecen que la relación C/N debe estar comprendida entre 10 y 20. La relación C/N inicial para la pulpa de café fue de 37.64.

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza, indican el rechazo de la hipótesis nula, por lo que las diferencias detectada por parejas mediante el método de Duncan resultaron ser los tratamientos con EM bokashi - testigo y lodos - testigo. Sin embargo, no se encontró diferencias entre EM bokashi - EM suspensión, EM suspensión - lodos, EM bokashi - lodos. Esto indica que el grado de madurez en las pilas de pulpa de café es afectada por los tres inoculos en la misma medida.

Los resultados promedios obtenidos fueron de 21.775 % pila testigo, 14.41 % pila con bokashi, 15.944 % pila con EM suspensión y 16.730 % pila con lodo.

La relación C/N incrementa rápidamente en la pila D probablemente debido a la deficiencia en el contenido de nitrógeno en esa etapa del proceso.

Por el contrario las pilas inoculadas con EM suspensión y EM bokashi mantienen una tendencia irregular que se mueve entre 20 y 10. La pila inoculada con lodos es la que presenta los resultados más bajos los cuales son presentados en la

en la **Tabla 22**. Este comportamiento pudo deberse a un incremento en nitrógeno causado por la adición de N vía la adición de lodos provenientes del tratamiento anaerobio de aguas residuales municipales, lo cual corrobora los planteamientos de la literatura.

Seguida a esta, se encuentran la **pila A y B** que resultaron ser estadísticamente iguales, las cuales según su tendencia no reportan síntomas de insuficiencia de nitrógeno, lo cual pudo deberse a la incorporación de nitrógeno en menores cantidades que las que aporta los lodos, a través de la adición de melaza para el caso de EM suspensión, pila B y por la adición de harina de soya y de pescado para la pila inoculada con EM bokashi.

Las relaciones **C/N final** son presentadas en la **Tabla 23**, concluyendo que en todos los casos los resultados se encuentran por debajo de **20**, manteniéndose los valores en el intervalo de **15 a 19.17**. Siendo la **pila C** la que menor relación presenta, seguida **B, A** y al final **D**. Comparando con las Normas todas las pilas están dentro de Norma.

Al comparar los resultados de los tres tratamientos los cuales resultaron estadísticamente iguales, con los reportados en la **Tabla 3** se observa que se asemejan mucho a los resultados obtenidos al tratar una mezcla de lodos de alcantarilla con cascarilla de arroz al cual le corresponde una relación C/N de 14.2 aproximándose mucho al tratamiento de la pulpa de café con lodos que le corresponde una relación C/N de 14.85. La relación que más se acerca a la relación C/N final para la pulpa de café inoculada con bokashi es la que se reporta para la basura con una relación de 15.8. En el caso del tratamiento con EM suspensión y el testigo los resultados finales se aproximan más al tratamiento de lodos de alcantarilla con aserrín el cual presenta una relación C/N final de 17.9.

#### **7.2.9.2. Relación C/N en pilas de basura.**

No se encontró diferencias significativas entre la media de la relación C/ N en el tratamiento de basura, por lo que se concluye que el grado de madurez en el proceso de compostaje de la basura no es afectado por la adición de inoculos ya que la hipótesis nula resultó aceptada. Los resultados son presentados en el **ANEXO F**.

Se partió de una relación **C/N inicial de 21.31**. Los resultados finales son presentados en la **Tabla 23**. Comparando estos resultados con la Norma las pilas G y H presentan valores finales en Norma a diferencia de las pilas E y F con valores por debajo de la Norma. Al comparar estos resultados con los de la **Tabla 3** se aprecia que la relación C/N en el testigo es igual a la relación C/N para el compost de basura con 15.8. En el caso de las pilas inoculadas con EM las relaciones se aproximan más a la relación C/N reportada para el compost de estiércol de pollo con 8.21. La relación más alta corresponde a la pila inoculada con lodos la cual se aproxima más a la relación C/N del compost obtenido a partir de lodos de alcantarilla y aserrín.

### 7.2.9.3. Relación C/N en pilas de pulpa de café - basura en relación 1:1

La relación C/N de partida fue de 26.45 con una tendencia a disminuir a partir del segundo muestreo. El análisis de diferencias significativas dio como resultado el rechazo de la hipótesis nula por lo que la media de las relaciones C/N en mezcla de basura pulpa de café es afectada por los inoculos coincidiendo esta situación con lo ocurrido en la práctica. Las diferencias encontradas corresponden a los tratamientos con EM suspensión - lodos. El promedio mayor corresponde al tratamiento con EM suspensión con 22.777 %, el tratamiento con lodos presentó un 16.670 %, tratamiento con EM bokashi 18.281 y el testigo 16.672. Como se observa en los tratamientos EM bokashi - testigo, lodos - testigo, EM bokashi - lodos no existen diferencias significativas en sus promedios por lo que el grado de madurez alcanzado en estas situaciones es el mismo.

La pila J es la pila que mantiene la relación más alta hasta el muestreo 8 para alcanzar los mismos valores que la pila L hasta el muestreo 12.

La pila inoculada con lodos y la inoculada con EM bokashi dado que son estadísticamente iguales reflejan un comportamiento muy similar y con valores muy próximos uno respecto al otro. La pila testigo mantiene los valores más bajos hasta en el muestreo 7 para incrementar en el muestreo 11 manteniéndose por encima hasta alcanzar el valor final, el cual es mostrado en la **Tabla 23**.

Los resultados finales se encuentran en un intervalo de 8 a 18. Estando Fuera de Norma la pila I. Al comparar los resultados con los de la **Tabla 3** se obtiene una relación C/N para el testigo similar a la que se obtiene para el compost proveniente del tratamiento de lodos de alcantarilla y aserrín con una relación de 17.9. Para el caso de la pila inoculada con EM suspensión y lodos sus relaciones se aproximan a las obtenidas para el compost proveniente de hoja con una relación de 12.1. La pila inoculada con EM bokashi presenta resultados similares a los obtenidos al tratar basura inoculada con EM bokashi.

**Tabla 23. Relación C/ N final en compost de los materiales a degradar**

PILAS	C/N inicial	C/N final
A	37.64	15.68
B	37.64	17.09
C	37.64	14.85
D	37.64	19.17
E	21.31	8.28
F	21.31	6.38
G	21.31	20.8
H	21.31	15.51
I	26.45	8.34
J	26.45	12.29
K	26.45	12.27
L	26.45	17.78

## 7.2.10. Nitrógeno total en compost de los diferentes materiales.

### 7.2.10.1. Nitrógeno total en pilas de pulpa de café.

Una buena fermentación aeróbica no debe perder más del 20 % de la cantidad inicial de nitrógeno. Las Normas Austríacas establecen que su límite debe ser mayor o igual a 0.8 %. El porcentaje inicial para la pulpa de café fue de 0.86 % de nitrógeno total el cual presentó una tendencia a incrementar hasta el muestreo 11 en las tres primeras pilas para posteriormente disminuir hasta alcanzar los valores finales.

El análisis estadístico de los datos se presenta en el ANEXO E. Los resultados obtenidos indican diferencias en los tratamientos con EM bokashi - lodos, EM suspensión - lodos. El porcentaje promedio mayor corresponde al tratamiento con lodos con 1.713 %, lo cual era de esperarse. Los tratamientos restantes presentaron promedios de 1.277 pila A, 1.213 pila B y 1.351 pila C, considerados elevados. Esto nos permite corroborar con los planteamientos de la literatura coincidiendo en que la adición de lodos contribuye en el incremento del porcentaje de nitrógeno total.

Todas las pilas describen el mismo comportamiento con sus correspondientes magnitudes, las cuales fueron mayores en las pilas C y D. La pila D y C presentan valores prácticamente iguales las cuales resultaron estadísticamente iguales, lo mismo sucede con las pilas A y B. Esto puede apreciarse en la figura 19. Los valores finales son mostrados en la figura 20.

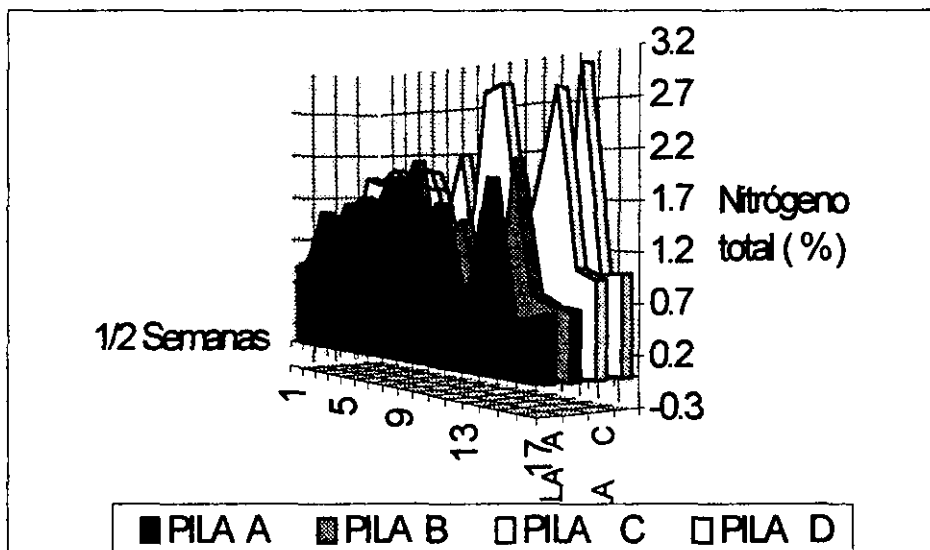
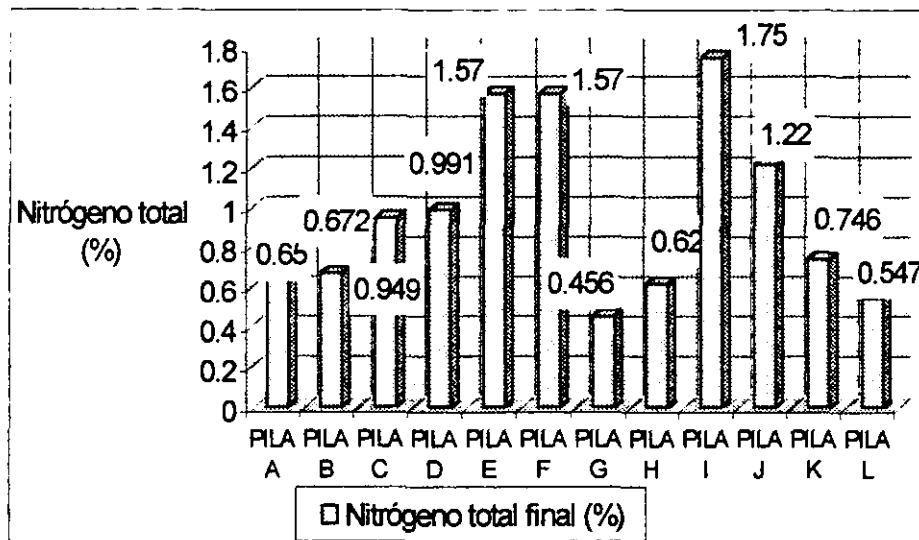


Figura 19. Contenido de nitrógeno total en compost de pulpa de café



**Figura 20. Variación del contenido de nitrógeno total en el proceso de degradación de pulpa de café**

Los resultados obtenidos están acorde con lo analizado en la relación C/N para la pulpa de café, excepto para la pila D puesto que realmente es la que presenta el mayor contenido de nitrógeno total final por lo cual debería tener la relación C/N final más baja, sin embargo, solo la pila inoculada con lodos y el testigo cumplen con lo establecido por la Norma en este parámetro.

Las pérdidas alcanzan un 24.44 % M.S para la pila A, 21 % MS pila B contrario a los resultados en C y D en las cuales se detectó un incremento en dichos porcentajes.

#### **7.2.10.2. Nitrógeno total en pilas de basura.**

El porcentaje de inicial de nitrógeno fue de 1.83 % para la basura orgánica generada en el Mercado de Managua. Este resultado al compararlo con el obtenido por Argüello Herrera resultan muy similares, reportando un 1.6 % de nitrógeno total en base seca.

El análisis de diferencias significativas acepta la hipótesis nula, por lo que las medias para el porcentaje de nitrógeno total son iguales en todos los tratamientos. Los valores promedios encontrados fueron 1.092 pila E, 0.946 % pila F, 1.204 % pila G y 1.072 % pila H. Los resultados de ANOVA son presentados en el ANEXO F.

Los resultados de relación C/N están acorde con los obtenidos para este parámetro. En la figura 21 se presenta el comportamiento descrito por este parámetro coincidiendo el mismo con los resultados del ANOVA. Los resultados finales se presentan en la figura 20. Al comparar estos resultados con los

obtenidos por Argüello Herrera se observan diferencias para los tratamientos con EM suspensión y EM bokashi para los cuales se obtuvo una pérdida del 16.1 % a diferencias del 40 % obtenido por Argüello Herrera. En los dos casos restantes se detectaron pérdidas de hasta el 60 %.

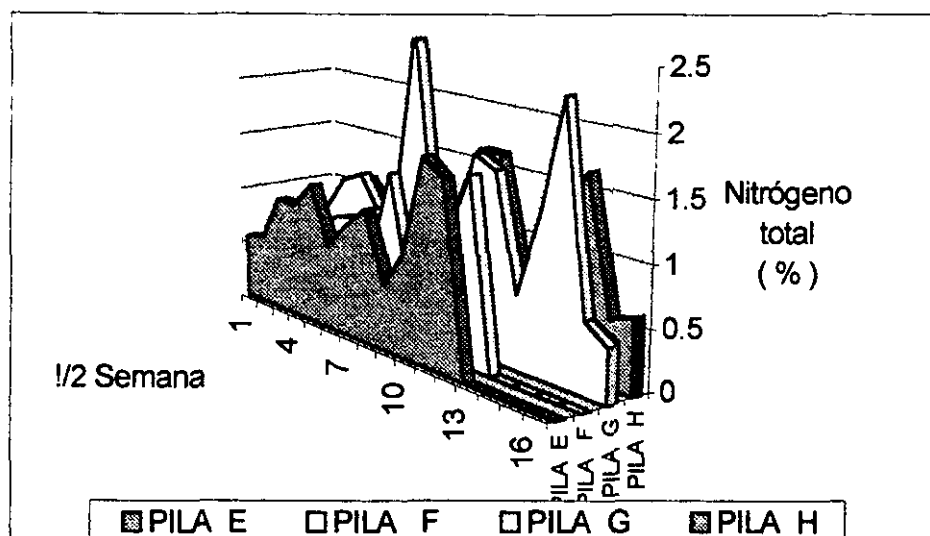


Figura 21. Variación del contenido de nitrógeno total en el proceso de degradación de basura

### 7.2.10.3. Nitrógeno total en pilas de pulpa de café basura en relación 1:1

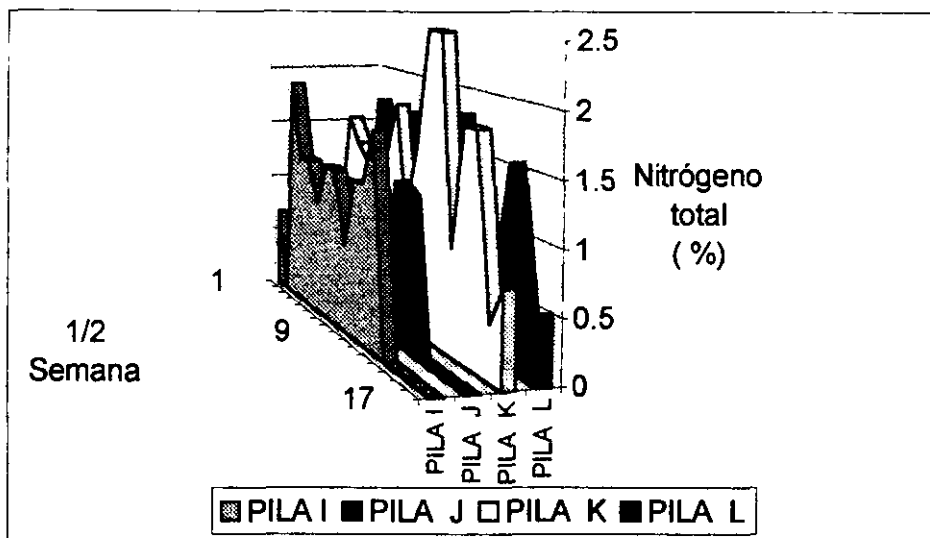
El porcentaje inicial de nitrógeno total para la mezcla fue 1.34 % de MS. El análisis estadístico de los promedios dio como resultado la presencia de diferencias significativas solamente en los tratamientos EM suspensión - testigo, correspondiendo el mayor porcentaje promedio al testigo con 1.432 % y 1.33 % para el tratamiento con EM suspensión. No se detectó diferencias para los tratamientos EM bokashi - testigo, EM bokashi - lodos, testigo - lodos, lo cual es muy importante ya que el simple hecho de mezclar pulpa de café y basura mejora el porcentaje de nitrógeno total sin necesidad de incorporar inoculos.

Las tendencias desarrollada por este parámetro coinciden con el análisis estadístico, en la figura 22 se observa que en un inicio el comportamiento desarrollado fue irregular para todos los casos con tendencia a incrementar más que a disminuir. El porcentaje final más elevado correspondió a la Pila I y J. Los valores más bajos correspondieron a la pila inoculada con lodos y el testigo los cuales están fuera de Norma.

Al comparar los resultados con los de Argüello Herrera se establece que para las pilas inoculadas con lodos y el testigo dado que son estadísticamente iguales se obtuvo una pérdida de 44.32 % similar a las pérdidas obtenidas en este estudio, las cuales se encuentran fuera de Norma. En cuanto a las pilas inoculadas con EM bokashi se obtuvo una pérdida de 8.9% y para la inoculada con EM bokashi se



detectó un incremento en el porcentaje, ambas pilas cumplen con lo establecido por la Norma.



**Figura 22. Variación del contenido de nitrógeno total en la degradación de pulpa de café basura en relación 1:1**

### 7.2.11. Fósforo total.

#### 7.2.11.1. Fósforo total en pilas de pulpa de café.

En el compost el fósforo se encuentra en forma de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ). Las Normas establecen que el contenido de fósforo total debe ser mayor o igual a 0.4 %. Para llevar de fósforo total a pentóxido de fósforo total dividir por 0.436. La pulpa de café presentó un valor inicial de 0.36 % de fósforo total lo cual equivale a 0.825 % de Fósforo total en forma de  $P_2O_5$ .

El análisis estadístico dio como resultado que el porcentaje promedio de fósforo total es afectado por la adición de inoculos. Las diferencias significativas encontradas corresponden fundamentalmente a los tratamientos con EM suspensión - EM bokashi. El porcentaje más elevado corresponde al tratamiento con EM bokashi lo cual nos permite afirmar sin ninguna duda que los diferentes materiales que conforman este inoculo contribuyen en el incremento de este nutriente en el producto final. Los porcentajes promedios son 0.566 % tratamiento con bokashi, 0.417 % EM suspensión, 0.478 % lodos y 0.462 % para el testigo

Los valores finales son presentados en la **Figura 23**. Todas la Pilas se encuentran por encima del limite inferior que establece la Norma, por lo cual todas cumplen con la Norma.

Al comparar estos resultados con los obtenidos por Argüello Herrera para compost de basura, se encuentra que los obtenidos en el testigo como los inoculados con lodo y EM suspensión son similares a los reportados este autor con un 0.48 % de

M.S . Sin embargo, la pila inocula con EM bokashi presentó un valor final de 0.69 % . Como se ve todas las pilas cumplen con la Norma.

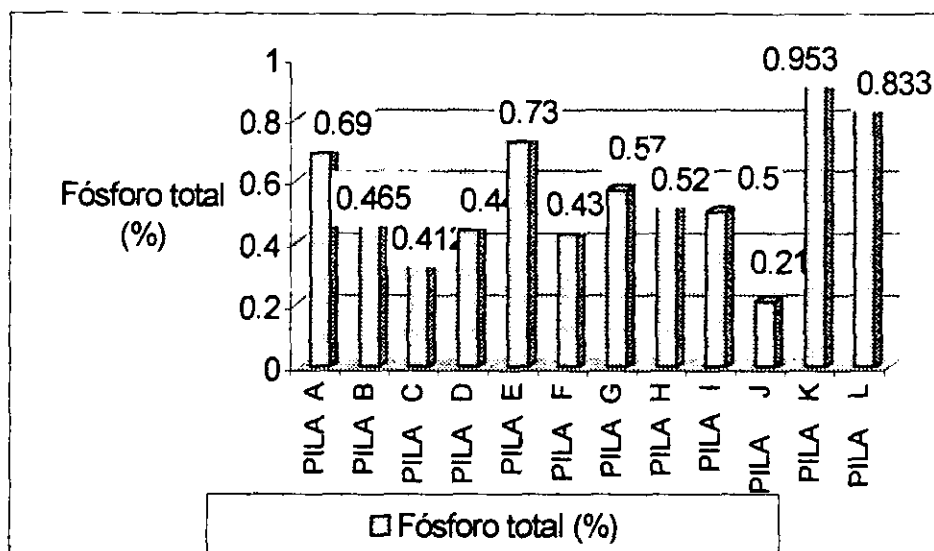


Figura 23. Porcentaje final de fósforo total en compost de diferentes materiales.

#### 7.2.11.2. Fósforo total en pilas de basura.

Al igual que en la pulpa de café, se partió de 0.36 % de fósforo total para la basura. El análisis estadístico de los datos reporta diferencias significativas para los tratamientos con EM bokashi - EM suspensión, lodos - EM bokashi y testigo - EM bokashi. La situación obtenida es igual a los resultados obtenidos en el tratamiento de la pulpa de café. El promedio para el tratamiento con bokashi fue de 0.67 %, lo cual corrobora nuevamente los planteamientos hechos en el análisis de la pulpa de café. Los resultados promedios se presentan en el ANEXO F, con 0.442 % tratamiento con EM suspensión, 0.514 % tratamiento con lodos y 0.470 % el testigo.

Los máximos valores durante el transcurso del proceso correspondieron a la pila E hasta alcanzar su correspondiente valor final. Seguida a esta se ubica la pila G y F con resultados bastante estables hasta el muestreo 11..

Al comparar con lo establecido por la Norma todas las pilas se encuentran dentro de la misma y los porcentajes obtenidos para la pila inoculada con EM bokashi y lodos son superiores a lo que reporta Argüello Herrera. La pila testigo y la inoculada con EM suspensión alcanzan valores similares a los obtenidos por Argüello Herrera al tratar basura.

### **7.2.11.3. Fósforo total en pila de basura - pulpa de café en relación 1:1**

Se inició con **0.36 % de fósforo total** al igual que en los casos anteriores. Los resultados obtenidos se encuentran muy próximos uno respecto a otro fundamentalmente para las pilas inoculadas EM suspensión, lodos y el testigo.

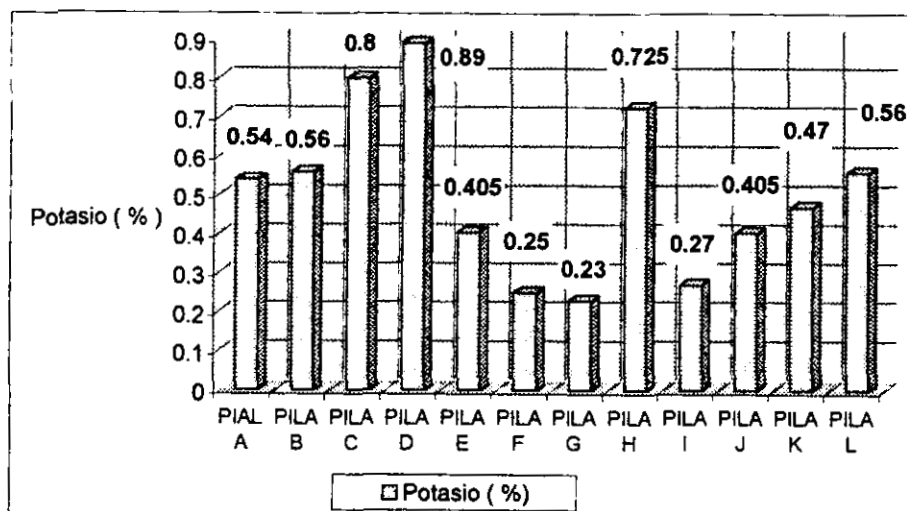
Al igual que en los casos anteriores, si se encontró diferencias significativas entre los diferentes tratamientos para la media del porcentaje de fósforo total. Las diferencias significativas encontradas corresponden a los tratamientos con EM suspensión - EM bokashi, correspondiendo el mayor porcentaje al tratamiento con bokashi. El resto de comparaciones resultó ser estadísticamente iguales en la mezcla de los dos componentes, siendo la pila inoculada con bokashi la que presenta el mayor porcentaje con situación similar a las dos anteriores. Los resultados del ANOVA se presentan en el **ANEXO G**, con 0.608 % tratamiento con EM bokashi, 0.367 % tratamiento con EM suspensión, 0.5 % tratamiento con lodos y 0.495 % testigo. Todas cumplen con la Norma excepto la pila con EM suspensión.

### **7.2.12. POTASIO FINAL.**

#### **7.2.12.1. Porcentaje de potasio inicial y final en el estudio.**

El Potasio se encuentra en el compost en forma de óxido de potasio y es esencial en la formación de carbohidratos y en la síntesis de proteínas. Las Normas establecen como límite permisible **0.3 % de MS**.

Los porcentajes iniciales encontrados fueron **0.45 % para la basura, 0.96 % para la pulpa de café y 0.705 para la mezcla de basura y pulpa**. Los resultados finales son presentados en la **Figura 30**. Al comparar los resultados finales con la Norma las únicas fuera de Norma corresponden a **F,G e I**.



**Figura 24. Contenido de potasio total en producto final**

### 7.2.13. CONTROL EPIDEMIOLÓGICO DEL COMPOST.

Las Normas establecen que el número de unidades formadoras de colonias Deben satisfacer los límites siguientes:

Temperatura	UFC
22 °C	$10^6$ a $10^7$
37 °C	$10^7$ a $10^8$
53 °C	$10^7$ a $10^8$

La mayor concentración inicial de mesófilos aerobios correspondió a la mezcla de pulpa de café basura y la concentración más baja fue para la pulpa de café. Después de la etapa termofílica se determinó nuevamente los mismos parámetros mesófilos y termófilos aerobios. En la **Tabla 26** se presentan los resultados finales para los casos analizados y en la **Tabla 13** el resultado de la caracterización inicial.

**Tabla 26**  
**Caracterización microbiológica final**

FUENTE	Mesófilos aerobios UFC/g	Termófilos aerobios UFC/g	Coli total NMP/100 ml	Coli fecal NMP/100 ml
A	$1.7 \cdot 10^7$	$5.50 \cdot 10^4$	$4.50 \cdot 10^3$	$4.50 \cdot 10^3$
B	$1.6 \cdot 10^6$	$6.40 \cdot 10^5$	$3.30 \cdot 10^4$	$1.30 \cdot 10^4$
C	$1.20 \cdot 10^7$	$5.10 \cdot 10^5$	$3.30 \cdot 10^4$	$2.00 \cdot 10^3$
D	$1.10 \cdot 10^7$	$6.30 \cdot 10^6$	$4.90 \cdot 10^4$	30.00
E	$1.60 \cdot 10^7$	$1.20 \cdot 10^6$	$1.20 \cdot 10^4$	$2.00 \cdot 10^3$
F	$1.50 \cdot 10^6$	$1.60 \cdot 10^6$	$1.30 \cdot 10^4$	$4.50 \cdot 10^3$
G	$2.20 \cdot 10^7$	$6.00 \cdot 10^4$	$4.90 \cdot 10^4$	$1.30 \cdot 10^4$
H	$1.70 \cdot 10^7$	30.00	$4.90 \cdot 10^4$	$1.70 \cdot 10^4$
I	$1.30 \cdot 10^7$	$5.00 \cdot 10^5$	$2.80 \cdot 10^5$	$2.20 \cdot 10^5$
J	$1.90 \cdot 10^7$	$4.50 \cdot 10^5$	$9.50 \cdot 10^4$	$4.90 \cdot 10^4$
K	$1.50 \cdot 10^7$	30.00	$1.20 \cdot 10^4$	$4.50 \cdot 10^3$
L	$1.90 \cdot 10^6$	$9.70 \cdot 10^4$	$7.00 \cdot 10^4$	$2.60 \cdot 10^4$
S	$7.50 \cdot 10^6$	$8.90 \cdot 10^6$	$2.71 \cdot 10^4$	$6.17 \cdot 10^4$

Los mesófilos aeróbios en todas las pilas se encuentran dentro de Norma con un crecimiento significativo comparándolos con las concentraciones iniciales detectadas. Para determinar si los termófilos aerobios comprendidos a la temperatura de  $53^{\circ}\text{C}$  cumplían con la Norma, fue necesario someter los resultados obtenidos para cada material a un análisis de prueba de hipótesis. A continuación se describe el cálculo realizado para la pulpa de café. Los resultados obtenidos para la basura y la mezcla se presentan en el ANEXO F y ANEXO G.

### 7.2.13.1. PRUEBA DE HIPOTESIS PARATERMOFILOS EN PULPA DE CAFÉ

La hipótesis a probar es la siguiente:

$H_0 : \mu \geq 10^7$  ( Hipótesis nula )

$H_1 : \mu < 10^7$  (Hipótesis alternativa )

$$X_A = 5 \cdot 10^5$$

$$X_B = 4.5 \cdot 10^5$$

$$X_C = 30$$

$$X_D = 9.7 \cdot 10^4$$

$$X_{\text{media}} = 0.026 \cdot 10^7$$

$$t_{0.05} = 2.35$$

$$S^2 = 6.25 \cdot 10^{10}$$

$$S = 2.50 \cdot 10^5$$

$$n = 4$$

$$\mu_x = 1.029 \cdot 10^7 \text{ ( valor critico a comparar con la media de la muestra )}$$

Dado que la media cae hacia el lado derecho de la gráfica, que corresponde a la zona de aceptación de la hipótesis nula, la misma se acepta por lo cual se plantea que la concentración final de termófilos cumple con lo establecido en la Norma. Para las pilas de basura y mezcla se realizó el mismo calculo concluyendo que la concentración de termófilos en basura y mezcla cumplen con la Norma.

### 7.2.13.2. PRUEBA DE HIPOTESIS PARA COLIFORMES FECALES EN PULPA DE CAFÉ

La hipótesis a probar es la siguiente:

$H_0 : \mu \geq 10^2$  ( Hipótesis nula )

$H_1 : \mu < 10^2$  ( Hipótesis alternativa )

$$X_A = 4.5 \cdot 10^3$$

$$X_B = 1.3 \cdot 10^3$$

$$X_D = 2 \cdot 10^3$$

$$X_C = 30$$

$$X_{media} = 1.957 \cdot 10^3$$

$$t_{0.05} = 2.35$$

$$S^2 = 3.53 \cdot 10^5$$

$$S = 1.880 \cdot 10^3$$

$$n = 4$$

$$\mu_x = 2.21 \cdot 10^3 \quad \left( \text{valor critico a comparar con la media de la muestra} \right)$$

Dado que la media de las muestras cae dentro de la zona de aceptación de la hipótesis nula se concluye que la concentración de coliformes fecales cumple con el límites superior establecido por la Norma. En las dos situaciones restantes sucede lo mismo.

### 7.3. ENVASE DEL PRODUCTO FINAL

Los resultados finales del proceso de embazado del producto final se presentan en la **Tabla 28**, con sus correspondientes porcentaje de reducción de la masa final. Al comparar los resultados para el caso de la pulpa de café se aprecia que en todos las que sufrieron el mayor porcentaje de reducción fueron las pilas inoculadas con EM suspensión y EM bokashi.

**Tabla 27.**  
**Porcentaje de reducción en el volumen final**

Pilas	Producto final ( kg )	Broza ( kg )	% de reducción
A	264.09	16.36	64.07
B	184.54	23.63	47.55
C	201.36		46
D	145.45		33.23
E	93.18	6.36	40.25
F	98.63	12.72	45.03
G	54.54	6.81	24.8
H	63.63	6.81	28.48
I	107.72	5.45	45.26
J	123.63	14.09	55.08
K	70	4.54	29.81
L	41.81	6.36	19.26

#### **7.4. ANALISIS DE GASTOS EN EL PROCESO.**

Esta parte del estudio tiene como objetivo determinar los costos adicionales incurridos en la puesta en marcha de cada una de las alternativas inoculadas; para compararlas con los costos involucrados en la alternativa tradicional. No se plantea un estudio económico completo ya que el objeto no es evaluar la efectividad técnico económica de la instalación de una planta procesadora de desechos, sino más bien con el interés de determinar si el incremento en gastos adicionales en las alternativas inoculadas es significativamente más alto comparado con el proceso tradicional. Esto con el objeto de verificar si los aspectos económicos constituyen una limitante para la puesta en práctica de cualquiera de estas variantes.

Dado que no se conoce cual es el monto en costos de producción por metro cúbico tratado, se asumirá que para tratar el mismo en condiciones normales se incurre en un gasto que denominaremos  $C_1$ , el cual incluye todos los elementos del costos de producción como consumo de agua, mano de obra, consumo de energía eléctrica, depreciación de equipos y materiales, costos de combustible, entre otros.

Para que la comparación entre las variantes tenga sentido se asume también que en las tres restantes alternativas se procesará el mismo volumen de materiales, por lo que el costo de producción total en cada una de ellas estará dado por:

#### **$C_1$ + Costos por inoculo**

A continuación se presentarán por tanto el desglose de los costos de adquisición de los materiales utilizados en la preparación de los inoculos, lo cual se reduce a

los costos en la preparación de EM bokashi y EM suspensión. Para los lodos se asumirá que no tienen costos, por lo cual su incremento será cero. En las Tablas 9 y 10 se reportan los requerimientos de los materiales totales para preparar un total de 23 kg de bokashi. En la Tabla 28 se presenta el desglose de los requerimientos por pila y en la Tabla 29 los costos implicados en dicha elaboración.

**Tabla 28**  
**Requerimientos de materiales en pilas inoculadas con bokashi**

Pilas	Requerimiento de bokashi kg	Requerimiento de harina de pescado kg	R. de Semolina kg	R. de harina de soja kg	EM Suspensión en solución lt
A	11	2.75	5.5	2.75	2
E	6	1	4	1	2
I	6	1	4	1	2

**Tabla 29**  
**Gastos incurridos en pilas inoculadas con bokashi**

Costos de adquisición (Córdobas)					
Pilas	Requerimiento de bokashi ( kg )	C. de harina de pescado ( Córdobas )	Costos de semolina ( Córdobas )	C de harina de soja ( Córdobas )	Costo de EM suspensión (Córdobas )
A	11	14.05	8.47	11.25	6.63
E	6	7.62	4.62	6.13	6.63
I	6	7.62	4.62	6.13	6.63

**1kg de harina de pescado = 1.27 córdobas**  
**1 kg de semolina = 0.77 córdobas**  
**1 kg de harina de soja = 6.13 córdobas**  
**Melaza = 0.2 lt para preparar 10 lts de solución**  
**EM stock = 0.2 lt para preparar 10 lts de solución**

Los gastos totales por pila son presentados a continuación:

Costos	Pila A	Pila E	Pila I
Córdoba			
Harina de soja	11.25	4.62	4.62
Harina de pescado	14.05	7.62	7.62
Semolina	8.47	4.62	4.62
EM suspensión	6.63	6.63	6.63
Total	40.4	23.49	23.49
Total (Dólar)	3.20	1.864	1.864



Esto nos indica que los costos adicionales incurridos en las alternativas inoculadas con EM bokashi presentan un incremento mínimo lo cual no constituirá una limitante en el caso de poner en práctica las mismas.

En el caso del tratamiento con lodos los costos totales son iguales a los costos de la alternativa tradicional, siendo por tanto esta alternativa la más atractiva desde el punto de vista económico comparado con las dos anteriores.

Los requerimientos totales relacionados con las alternativas inoculadas con EM suspensión son mostrados en la **Tabla 11**. La **tabla 30** presenta los el desglose de requerimientos por alternativa

**Tabla 30**

**Requerimientos de materiales en pilas inoculadas con EM suspensión**

Pilas	Requerimiento de EM suspensión (lt )	Requerimiento de melaza (lt)	Requerimiento de agua ( lt )
B	0.08	0.08	3.84
F	0.08	0.08	3.84
J	0.08	0.08	3.84

**Tabla 31**

**Costos incurridos por pila en la inoculación con EM suspensión**

Costos de adquisición Córdobas	PILA B	PILA F	PILA J
EM suspensión	6.84	6.84	6.84
Melaza	1.43	1.43	1.43
Total (Córdoba)	8.27	8.27	8.27
Total (Dólar)	0.63	0.63	0.63

Datos de referencia de los costos son presentados en la **Tabla 32**. Los cuales fueron proporcionados por EM Technologies Inc. Tucson Arizona.

**Tabla 32.**

Volumen ( lt )	Precio (dólar)
1 MELAZA	1.38
1 EM SUSPENSION	6.6

Al igual que en el tratamiento con EM bokashi el incremento obtenido es prácticamente sería nulo, por lo cual se puede plantear que el trabajar en estas condiciones no incrementa significativamente los costos totales de producción del compost y por ende la misma no constituye una limitante económica.

## **VIII. CONCLUSIONES**

A través de la cuantificación de los parámetros que inciden directamente en el proceso de compostaje establecidos por las NORMAS Austriacas 2100 "Desechos tóxicos y peligrosos", y a través del análisis estadístico de los datos, fue posible el cumplimiento de los objetivos planteados en este trabajo. Por lo que se concluye que en el proceso de degradación de :

### **8.1. Pulpa de café.**

#### **8.1.1 Análisis estadístico**

Si existe influencia de los diferentes tratamientos en la degradación de la pulpa de café, la cual fue verificada mediante las diferencias significativas encontradas ya sea por medio de las varianzas de la población, prueba de Bartlett o a través de las medias de la población. En el análisis estadístico se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos con inoculo y el testigo en el porcentaje de materia orgánica, carbono orgánico, pH, relación C/N, nitrógeno total, porcentaje de humedad, y fósforo total. Con excepción en la temperatura, la que resultó ser estadísticamente igual en las cuatro situaciones. Entre tratamientos EM bokashi y EM suspensión resultaron ser estadísticamente iguales en todos los parámetros excepto en el contenido de nitrógeno amoniacal y el contenido de fósforo. Las diferencias entre estos inoculos y el tratamiento con lodos dieron como resultado la existencia de diferencias para nitrógeno total, fósforo total y potasio.

#### **8.1.2. Influencia en la degradación de la materia orgánica y en la calidad del producto final.**

Sobre la base del análisis estadístico se concluye que los tres inoculos disminuyen el tiempo de degradación de la pulpa de café en un período de 10 semanas contrario al testigo que para esa misma fecha presentaba un porcentaje de materia orgánica muy elevado. Los porcentajes finales obtenidos corresponde a 17.58 % tratamiento con EM bokashi, 19.81 % tratamiento con EM suspensión, 24.29 % tratamiento con lodos cumpliendo los tres con lo establecido por la Norma. El testigo presentó un 32.75 %. Esto además fue corroborado con el aspecto físico que presentaba cada pila inoculada respecto al testigo. En cuanto a los macronutrientes, los cuales son usados para establecer criterios de calidad en el producto final se concluye que los resultados finales en los tres tratamientos presentan todos sus parámetros dentro de norma excepto para el nitrógeno total en los tratamientos con EM bokashi y EM suspensión. No obstante el tratamiento con EM bokashi presenta el mayor porcentaje de fósforo total. Los resultados finales en cuanto a NPK por tratamiento son : tratamiento con EM bokashi 0.65 % N, 1.58 % P y 0.54 % K respectivamente . Tratamiento con EM suspensión 0.672 % de N, 1.06 % de P y 0.56 % de K. Tratamiento con lodos 0.94 % de N,

0.944 de P y 0.8 % de K siendo la alternativa óptima desde el punto de vista de calidad

## **8.2 Basura.**

### **8.2.1 Análisis estadístico**

El análisis estadístico de los datos obtenidos en el transcurso de la degradación en la basura, establece la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos con inoculos así como diferencias de los inoculos con el testigo.

Las diferencias significativas corresponden a la temperatura en el tratamiento con EM suspensión - testigo; sólidos volátiles, porcentaje de materia orgánica para EM bokashi - lodos y EM bokashi- testigo ;  $N-NH_4^+$  para los tratamientos EM bokashi- EM suspensión; EM suspensión - lodos; testigo-EM suspensión y para el porcentaje de fósforo total con diferencias entre los tratamientos EM bokashi-EM suspensión. El resto de los parámetros resultó estadísticamente iguales.

### **8.2.2 Influencia en la degradación de la materia orgánica y en la calidad del producto final.**

Sobre la base de los resultados obtenidos en el análisis estadístico para el porcentaje de materia orgánica y nitrógeno amoniacal, se concluye que tanto EM bokashi como EM suspensión degradan la basura en un período de 4 semanas a diferencias de los lodos y el testigo que para ese mismo período presentaban un porcentaje de materia orgánica más elevado de 35 %. Los resultados coinciden con la apariencia física que presentaba cada pila.

La relación C/N final obtenida fue de 8.28 % tratamiento con bokashi, 6.38 % tratamiento con EM suspensión siendo las relaciones más bajas e indicando que son las primeras en alcanzar la estabilidad, 20.8 % tratamiento con lodos y 15.51 % testigo. Los tratamientos con bokashi y EM suspensión no cumplen con lo establecido por la Norma Austríaca a diferencias del testigo y el tratamiento con lodos que sí cumplen con la Norma.

En cuanto a calidad se refiere, no cabe duda que con la incorporación del bokashi se logra mejorar el porcentaje de fósforo, Para el nitrógeno total no se detectó diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados finales obtenidos son 22.41 % de MO, 1.57 % de N, 1.674 % de P y 0.456 % K para el tratamiento con bokashi. El tratamiento con EM suspensión presenta un 24.22 % MO, 1.57 % N, 0.986 % de P y .25 % de K el cual está fuera de Norma. El tratamiento con lodos presenta un 27.24 % de MO, 0.456 % de N, 1.37 % de P y 0.23 % de K. Este presenta deficiencia de N y K. Por otra parte el testigo presentó un 32.58 % de MO, 0.62 % de N, 1.192 % de P y 0.725% de K. Por lo que se concluye que por razones de calidad y disminución en el tiempo de degradación el tratamiento con EM bokashi resulta ser la alternativa más atractiva, con todos sus parámetros en Norma.

### 8.3. Mezcla de basura pulpa de café.

#### 8.3.1. Análisis estadístico.

El análisis estadístico de los datos dio como resultados diferencias significativas entre los tratamientos con inoculos así como entre éstos y el testigo. Se encontraron diferencias significativas en todos los parámetros analizados excepto para la temperatura, la cual resultó estadísticamente igual en las cuatro pilas. Los tratamientos con EM bokashi y EM suspensión resultaron ser estadísticamente iguales en todos los parámetros con excepción del contenido de fósforo. En cuanto al porcentaje de materia orgánica los tres inoculos resultaron ser iguales entre sí y diferentes con relación al testigo, la relación C/N en los inoculos tuvo como resultado la no existencia de diferencias significativas. Al comparar estas relaciones con el testigo sí existen diferencias. Las diferencias significativas para el contenido de nitrógeno resultaron en los tratamientos EM suspensión - testigo, para el contenido de fósforo EM bokashi - EM suspensión y potasio EM bokashi-testigo.

#### 8.3.2 Influencia en la degradación y en la calidad del producto final.

Al igual que en los casos anteriores se concluye que los inoculos EM bokashi -EM suspensión y lodos disminuyen el tiempo de degradación de la mezcla basura pulpa de café en un periodo de un mes y medio a diferencias del testigo que logra alcanzar los mismos resultados finales a los dos meses.

La pila que presentó la relación C/N final más baja fue el tratamiento con bokashi con 8.34, 25.17 % de MO, 1.75 % de N, 1.146 % de P y 0.27 % de K. Esto nos indica que el grado de madurez de la misma es elevado y presenta deficiencia en el contenido de K. **El tratamiento con EM suspensión resultó la mejor alternativa de calidad alcanzando estos valores en un periodo de 6 semanas con un 25.86 % de MO, 1.22 % de N, 0.481 % de P y 0.405 % de K, todos sus parámetros están en Norma.** Los tratamientos con lodos y testigo presentan el porcentaje final de N por debajo de lo establecido por la Norma. Sus resultados corresponden a 15.16 % MO, 0.746 %N, 2.185 % de P, 0.47 % ; 16.77 % de MO, 0.547 % de N, 1.91 % de P y 0.56 % de K respectivamente.

#### 8.4. Análisis de costos en las alternativas.

La puesta en práctica de cualquiera de estas variantes resultaría económicamente viable ya que el incremento en costos de producción resultó de cero para el tratamiento con lodos , 3.20 dólares tratamiento con bokashi y 0.63 dólares el tratamiento con EM suspensión siendo la segunda opción más viable desde el punto de vista económico.

#### **8.4. Conclusiones generales.**

- De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que los inoculos EM bokashi y EM suspensión durante la degradación de la pulpa de café y la mezcla resultaron ser estadísticamente iguales en el 90 % de los parámetros analizados.
- Los inoculos EM bokashi, EM suspensión y lodos disminuyen el tiempo de degradación en la basura y la mezcla al compararlo con sus correspondientes testigos.
- Los inoculos EM bokashi y EM suspensión disminuyen el tiempo de degradación de la pulpa de café en la misma medida por lo que da igual usar uno u otro inoculo. Al comparar los resultados de degradación entre los tres inoculos los lodos ocupan la segunda posición esto debido a la formación de grumos en estas pilas lo cual impedía una transferencia de aire homogénea y eficiente a toda la masa de material, con la consecuente disminución en la actividad y por ende una degradación más lenta. Esto coincide con las características físicas de los productos obtenidos.
- EM bokashi provoca un incremento en el porcentaje de fósforo total en la basura, pulpa de café y mezcla al comparar los resultados con los tres restantes tratamientos.
- Los lodos provocan un incremento en el porcentaje de nitrógeno total en la basura y la pulpa de café, coincidiendo con los resultados reportados en la literatura.
- Los lodos dado el alto porcentaje de humedad que presentan, provocan condiciones anaerobias en las pilas de basura. Al tratar la basura en mezcla con la pulpa de café, no se obtuvo condiciones anaerobias.
- La pulpa de café pierde el contenido de agua más rápidamente, al compararla con la basura y la mezcla.

## IX. BIBLIOGRAFIA.

- Acevedo Ernesto, 1998. Evaluación de dos inoculos para el arranque de un reactor UASB para el tratamiento de vinazas. Facultad de Ingeniería .Programa de pos grado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Santiago de Cali. Colombia.
- Alcaldía de Managua,1993-1994.Perspectiva del basurero de Acahualinca. Managua, Nicaragua
- Argüello Herrera Mercedes.1994.Evaluación y adaptación de tecnología de compostificación para el tratamiento de los desechos sólidos orgánicos de la ciudad de Masaya. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua
- A.M. Martin.1991. Bioconversion of waste materials to industrial products. Elsevier Science Publishers.LTD.
- Asociación de Ingenieros sanitarios de Antioquía, AINSA. Desechos sólidos. Medellín,Colombia. Septiembre de 1987.
- Bauer Heidi et .a.l, 1993. Desarrollo del proyecto de compost en el matadero de Masaya. Departamento de biomasa. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.
- Berríos Edgar, 1997. Análisis del sistema de producción del café convencional. El caficultor. Año 4, N° 17, Abril- Septiembre de 1997.
- Beneficio ecológico. Una alternativa de protección al medio. El caficultor. Año 4. N° 16. Enero - Marzo de 1997.
- Bressani et.al., 1972. Pulpa y pergamino de café. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. Separado de Turrialba. Vol.22, N° 3, pág. 299-304. Julio - Septiembre.1972.
- Centro de Investigaciones del café. CICAFFE. Elaboración de bio abono a partir de la pulpa de café. Instituto del café de Costa Rica. Heredia. Costa rica.1992. Segunda edición.
- C. Frederick et.al., 1993. Yard waste composting : Studies using different mixed of leves and grass in Laboratory scale system. Michigan State University, East Lansing, Michigan. Compost science and utilization . Vol.1. N°3, p.85-96
- Chanyasak and Kubota,1981. Carbon/ Organic nitrogen ratio in water extrac as measure of composting degradation. J.Fermentation. Technol.,Vol.59,N°3, p.215-219.

- Días Luis et .al. ,1993. Composting and recycling Minicipal Solid Waste. Lewis publishers.
- Duindam Peter et .al., 1990. Investigación de los desechos sólidos en la ciudad de Masaya. Departamento de Biomasa. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua. Nicaragua.
- FAO,1980. El reciclaje de la materia orgánica en la agricultura de América Latina. ONU. Roma.
- First International Conference on Kyusei Nature Farming at Khon Kaen.
- Thailand. October17-21. 1989.
- Flores Valenzuela et.al.,1995. Diplomado de residuos sólidos Modulo III. Procesos de tratamientos para el control de residuos sólidos municipales y peligrosos. Julio.
- Gámez et.al., 1997. Diagnóstico de la situación del café en Nicaragua. Programa ambiental Nicaragua-Finlandia. PANIF. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua. Nicaragua.
- Gómez et .al., 1986. Effect of different inoculum levels of heterogeneas mixed culture in acidogenic fermentation. Biotechnologing Letters. Vol.8, Nº 11, pag. 533-836.
- Higa Teruo. 1990. The complete data EM enciclopedia. First edition, Japan.
- Higa Teruo,1993. Studies on Purification and recycling of animals waste using Effective Microorganims (EM ).College of Agriculture, University of Ryukyus. Japan.
- Iannotti Frost et. al., 1992. Quality control indicator. Compost stability. Biocycle. November.
- Jaramillo ,1987. Manual de relleno sanitario. Medellín, Colombia. Abril.
- Kyusei EM,1995. Taller sobre Micoorganismos Efectivos para una agricultura y ambiente sostenible. EM technologies , Inc. Tucson, Arizona. Diciembre de 1995.
- Koen de Jong, 1994. Plan para el manejo de desechos sólidos para Managua. Alcaldía de Managua. Marzo.
- Kubota et.al., 1984. Rate of composting of dewatered sewage sludge in continuously mixed isothermal reactor.Ferment.Technol., Vol.62, Nº 3, p.285-292.

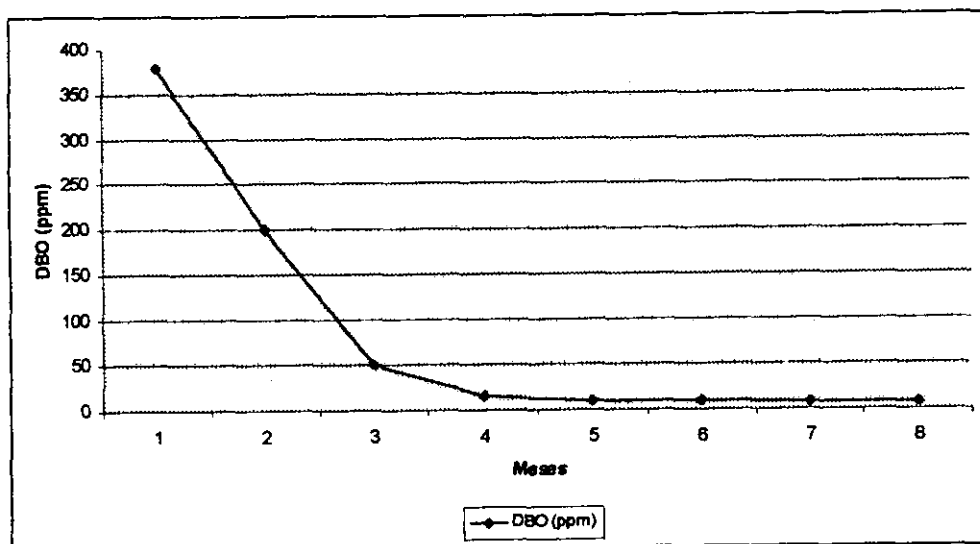
- Mburu et.al., 1996. Environmentally sound management of coffee research foundation .Riuru, Kenya. Kenya coffee. Vol.61, N° 716. Junio.
- Mendoza.W. 1994. Balance de calor en el proceso de biodegradación de lodos activados por fermentación sólida. UAMI. México. DF. Diciembre.
- Metcalf Eddy.1985. Tratamiento y depuración de agua residuales. Editorial Labor.S.A.
- Monstgomery.1993. Probabilidad y estadística para Ingeniería y Administración. Tercera edición. Compañía editorial continental.
- Nakasaki et. al., 1985. Effect of the temperature of composting of sewage sludge. Applied and environmental microbiology, Vol.50, N° 6,p.1526-1530.
- Nakasaki et. al., 1985. Change in microbial numbers during thermophilics composting of sewage sludge with reference to CO<sub>2</sub> evolution rate. Yokohama, Japan. Applied and environmental microbiology.p 37-41. Jan.
- 34 Nakasaki et. al.,1987.Transformation of water soluble organic material during thermophilics composting of sewage. Department Chemicals Engineering, Faculty of Engineering, Shizuoka University, Hamamatsu, Japan. J. Ferment.Technol., Vol.65.p.675-681.
- 35 Nakasaki et.al., 1985. Characteristic of mesophilic bacteria isolated during termophilic composting of sewage sludge. Yokohama, Japan. Applied and environmental microbiology. P.42-45. Jan.
- 36 Nakasaki et.al., 1984. Effect of seeding during thermophilics composting of sewage sludge. Research Laboratory of resources utilization, Tokyo. Institute of tecnology, Japan.
- 37 Otero del Peral,1988. Residuos sólidos urbanos. Madrid, España.
- Reyes et .al.,1997. Tratamiento de desechos sólidos orgánicos con EM para la producción de compost. Universidad Nacional de Ingeniería, UNI. Managua, Nicaragua.
- Rivas et .al.,1992. Impacto ambiental de los desechos sólidos en el Distrito IV de Managua, Nicaragua. Diciembre.
- Robinson and Stentiford, 1993.Improving the aerated static pile composting methods by the incorporation of moisture control. Compost science and utilization.



- Rodríguez et .al,1993. La pulpa de café excelente abono orgánico. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.
- Salinas Manuel,1993. Plan para el manejo de los desechos sólidos de Managua. Alcaldía de Managua. Nicaragua.
- Second International Conference on Kyusei Nature Farming at Luiz de Queiroz College of Agriculture. University of Sao Paulo. Piracicaba, SP, Brazil. October 7-11, 1991.
- Shintani et .a.l, 1998. Developing of kitchen garbage recycling Technology with Effective Microorganims for the Humid Tropical Region in Costa Rica. Escuela de Agronomía de la Región Tropical Humeda, EARTH, del Limón, Costa Rica.
- T. Haug, 1979. Engineering principles of sludge compposting. Journal WPCF. Vol.51, N°.8
- Tchobanoglou et .a.l,1986.Desechos sólidos. Volúmen 2.
- Tseng et al,1996. A fourier transformation infrared Spectroscopic Analysis of organic matter degradation in a Bench scale solid substrate fermentation . Biotechnology and Bioengineering. Vol.52.p 661-671.
- Villareal Aranda et al,199. Apuntes de Diseño de experimentos. Facultad de Ingeniería Ambiental. División de posgrado. UNAM. México.
- Wonnacot,1997.Introducción a la Estadística. Quinta edición. Editorial Limusa.

# ANEXO A

**A1. Resultados de EM en la purificación de aguas residuales generadas en una porqueriza en Nagamine**



**Fig.1 Efecto de EM en la purificación de aguas residuales generadas en una porqueriza ubicada en Nagamine**

**Tabla1. Efecto de EM en el control de malos olores en una porqueriza.**

Compuesto	Antes(ppm)	Después (ppm)
Amonio	1.4	0.16
Sulfuro de hidrógeno	0.026	0.013
Sulfuro de metilo	0.001	0.0002
Metil mercaptano	0.0038	0.0004
Acido iso valérico	0.001	0.0006
Acido n- valérico	0.0046	0.0021
Acido n-butirico	0.028	0.013

**A2. Resultados en la calidad y rendimiento en cultivo de crisantemos al aplicar desechos de la porqueriza tratados con EM.**

Altura normal	Altura normal	L	M	S	Total (cajas)
	cm				
Método tradicional	71.6	6	15	5	27
Tratamiento con EM	80.6	22	6	1	29

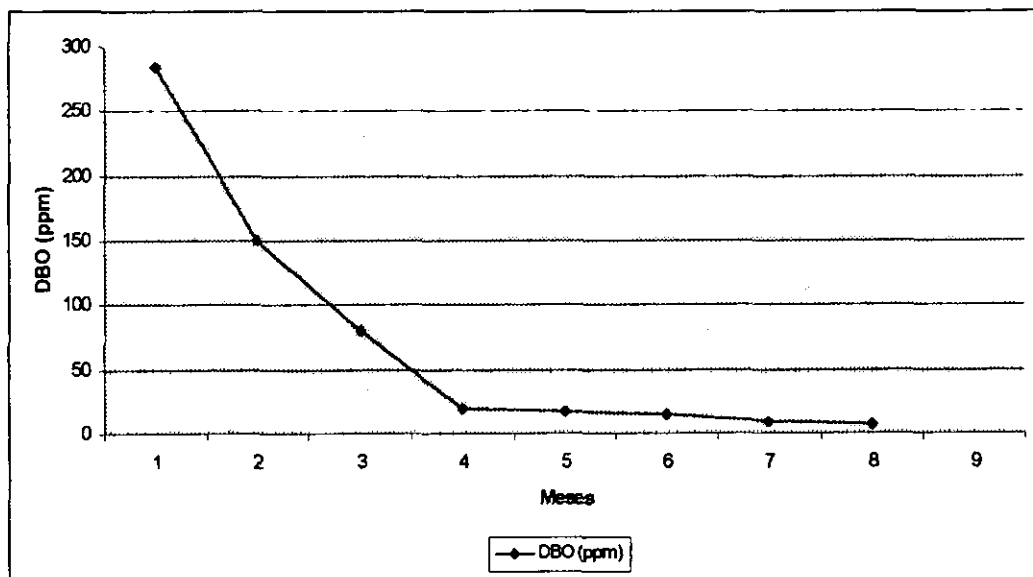
\*L ; altura(80-85 cm), P eso (15<= planta),  
 M; altura ( 70- 85 cm), peso ( 35g <= planta < 45g)  
 S; altura (60-85), peso (25g<=planta<35g)

**Tabla 3. Resultados en el rendimiento de cultivos de tomate y frijol tratados con los desechos de cerdos inoculados con EM.**

	Frijoles	Tomates
Método tradicional*	278.8	817.7
Tratamiento con EM*	293.8	926.7
Indice**	105	113

\* unidad (kg / 100 m<sup>3</sup>)

\*\* tratamiento con EM / método tradicional x 100



**Fig.2 Resultados obtenidos en la purificación de aguas residuales generadas en una porqueriza en Nakatsugawa.**

**A2. Resultados del estudio de compostaje de desechos de gallina desarrollado en la EARTH, del Limón, Costa Rica.**

**Tabla1. Propiedades químicas del bokashi a partir de estiércol de pollo y de compost.**

Tratamiento.	% Peso seco				mg/kg						%			
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Mn	Ph	Hum	C	MO	C/N
Bokashi*	1.7	0.34	0.96	1.93	0.27	0.21	46	52	323	7.28	14.4	35.2	61.3	21
Composr**	0.64	0.23	0.51	2.94	0.5	0.16	77	66	646	8.19	49.4	6.3	10.8	9.9

- Desechos de pollo más aserrín
- + Solamente desechos de pollo

ESTA TESIS NO DEBE  
QUEDAR EN LA BIBLIOTECA

# **ANEXO B**

## B1. Efecto de EM bokashi en la eficiencia de diferentes cultivo

Tabla 2. Efecto del bokashi en el crecimiento del cultivo de pepino.

Tratamiento	Altura de la planta	Longitud de la raíz	Longitud de la hoja	Ancho de la hoja
Bokashi 9:1	8.2a	37.7a	5.8a	6.5a
Bokashi 5:1	8.1a	28.5b	5.7a	6.4a
Testigo	6.9b	24.6b	4.4b	4.9b

La letra a indica la no existen diferencias significativas a un 99 % de confiabilidad, con la prueba de rangos múltiples de Duncan.

No existen diferencias significativas entre el ancho y longitud de la hoja así como en la altura de la planta entre el bokashi 5:1 y el bokashi 9:1, indicando la sensibilidad de la planta a responder a pequeñas cantidades de bokashi.

Sin embargo, ambos tratamientos indican una diferencia significativa en comparación con el testigo. El tratamiento con bokashi 9:1 fue mayor la longitud de la raíz y el tratamiento 5:1 con el control no presentó diferencias significativas.

Tabla 3. Efecto del bokashi obtenido con desechos de pollo en el crecimiento de cultivo de maíz.

Tratamiento	Altura de la planta	Longitud de la raíz	Ancho de la hoja
Bokashi 9:1	9.5b	42.2a	34,6b
Bokashi 5:1	11a	41.2a	38.5a
Testigo	9.5b	34.1b	33.8b

En el caso del cultivo de maíz, tanto el bokashi 9:1 como el testigo no presentaron diferencias significativas en la altura de la planta y de la hoja. Esto demuestra que la planta de maíz necesita mayor cantidad de bokashi para tener un desarrollo mayor. Sin embargo, el crecimiento de la raíz, en los tratamientos con bokashi 9:1 y 5:1, los nutrientes simulan un crecimiento significativo de la raíz en comparación al control.

# ANEXO C

**TABLA 19**

**VARIACION DEL CONTENIDO DE NITRÓGENO AMONICAL Y N-NITRATO EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ**

Muestra	NO <sub>2</sub> A	N-NH <sub>4</sub> +A	NO <sub>3</sub> B	N-NH <sub>4</sub> +B	NO <sub>2</sub> C	N-NH <sub>4</sub> C	NO <sub>3</sub> D	N-NH <sub>4</sub> +D
1	0.031	0.14	0.051	0.05	0.075	0.08	0.06	0.06
2	0.05	0.17	0.051	0.463	0.075	0.19	0.06	0.14
3	0.04	0.6	0.051	0.3	0.075	0.55	0.1	0.27
4	0.04	0.324	0.03	0.2	0.041	0.35	0.1	0.244
5	0.022	0.3	0.022	0.2	0.041	0.2	0.074	0.303
6	0.034	0.131	0.04	0.143	0.04	0.221	0.05	0.226
7	0.02	0.125	0.0145	0.2	0.015	0.2	0.04	0.2
8	0.026	0.152	0.023	0.156	0.015	0.35	0.024	0.323
9	0.026	0.13	0.033	0.11	0.063	0.15	0.0088	0.163
10	0.075	0.092	0.086	0.111	0.13	0.1813	0.025	0.18
11	0.05	0.1025	0.05	0.095	0.114	0.134	0.07	0.1423
12	0.04	0.11	0.06	0.11	0.08	0.15	0.092	0.126
13	0.062	0.086	0.06	0.1	0.033	0.162	0.085	0.132
14	0.0511	0.113	0.032	0.085	0.033	0.13	0.054	0.14
15	0.0061	0.071	0.0141	0.0784	0.03	0.111	0.052	0.133
16	0.016	0.0634	0.004	0.073	0.044	0.11	0.043	0.12
17	0.016	0.06	0.0141	0.07	0.01	0.13	0.031	0.11

**TABLA 20**

**VARIACION DEL CONTENIDO DE NITROGENO AMONICAL Y N-NITRATO EN PILAS DE BASURA**

Muestra	NO <sub>2</sub> E	N-NH <sub>4</sub> +E	NO <sub>3</sub> F	N-NH <sub>4</sub> +F	NO <sub>2</sub> G	N-NH <sub>4</sub> +G	NO <sub>3</sub> H	N-NH <sub>4</sub> +H
1	0.007	0.04	0.05	0.031	0	0.07	0	0.074
2	0.05	0.224	0.0412	0.012	0	0.12	0	0.113
3	0.05	0.26	0.0412	0.1	0	0.1	0	0.104
4	0.05	0.201	0.00102	0.05	0	0.012	0.047	0.17
5	0.011	0.2	0.006	0.05	0	0.11	0.02	0.08
6	0.02	0.14	0.01	0.032	0.04	0.11	0	0.104
7	0.01	0.027	0.01	0.0122	0.014	0.061	0	0.042
8	0.01	0.03	0.006	0.02	0.014	0.043	0	0.06
9	0.011	0.021	0.006	0.0224	0.02	0.04	0.013	0.04
10	0.044	0.034	0.041	0.034	0.045	0.0113	0.043	0.0453
11					0.05	0.03	0	0.06
12					0.01	0.03	0	0.063
13					0.01	0.04	0	0.07
14					0.01	0.04	0	0.03
15						0.0314	0	0.064
16						0.03	0	0.032
17						0.05	0	0.034

Todos los datos están expresados en g/100 g de materia seca



**Tabla 22**  
**Relación C/N en pilas de pulpa de café**

MUESTRA	PILA A	PILA B	PILA C	PILA D
1	37	37	37	37
2	34.03	34.03	34.03	34.03
3	29.29	20.64	15.29	19.87
4	13.97	12.43	12.62	13.62
5	12.33	13.33	13.07	12.2
6	14	16.95	14.04	14.87
7	13.5	13.91	12.82	16.71
8	9.84	9.42	12.05	10.73
9	9.47	18.79	18.18	26.85
10	13.56	14.25	16.28	27.06
11	9.93	11.49	6.925	26.95
12	19.31	11.41	6.66	26.84
13	19.49	19.75	17.66	23.59
14	8.33	7.83	9.89	29.59
15	6.77	17.8	8.28	22.6
16	17.89	16.5	11.66	20.57
17	15.69	17.09	14.85	19.17

**Tabla 24**  
**Relación C/N en pilas de basura**

MUESTRA	PILA E	PILA F	PILA G	PILA H
1	21.31	21.31	21.31	21.31
2	26.77	19.32	30.79	18.95
3	15.23	14.51	15.47	14.91
4	14.48	29.39	12.85	17.49
5	16.36	16.05	9.45	19.08
6	27.83	24.4	23.71	25.69
7	17.24	30.15	19.15	22.84
8	13.62	12.19	7.13	21.46
9	25	29.81	17.5	16.7
10	15.04	30.61	18.41	11.65
11	7.7	13.61	9.68	11.66
12	8.28	6.38	10.06	24.23
13			27.41	25.41
14			11.45	12.14
15			5.76	8.19
16			17.09	18.27
17			20.8	15.51

**TABLA 21**  
**VARIACION DEL CONTENIDO DE NITROGENO AMONIAICAL Y N- NITRATO EN PILAS DE BASURA**  
**PULPA DE CAFÉ EN RELACION 1:1**

Muestra	N-NO <sub>3</sub> I	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> I	N-NO <sub>3</sub> J	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> J	N-NO <sub>3</sub> K	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> K	N-NO <sub>3</sub> L	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> L
1	0.0322	0.08	0.001	0.08	0.05	0.0042	0.05	0.04
2	0.0322	0.231	0.001	0.11	0.05	0.153	0.16	0.142
3	0.0322	0.17	0.001	0.11	0.02	0.1	0.16	0.12
4	0.056	0.21	0.001	0.151	0.02	0.123	0.005	0.2
5	0.03	0.21	0.0045	0.11	0.04	0.2	0.05	0.2
6	0.03	0.106	0.022	0.072	0.04	0.154	0.053	0.105
7	0.014	0.04	0.02	0.032	0.0065	0.07	0.02	0.07
8	0.05	0.065	0.02	0.04	0.08	0.093	0.02	0.12
9	0.02	0.093	0.012	0.0524	0.033	0.092	0.09	0.09
10	0.08	0.0634	0.06	0.032	0.036	0.056	0.044	0.063
11					0.024	0.06	0.03	0.061
12					0.024	0.0724	0.053	0.06
13					0.021	0.0731	0.032	0.08
14					0.065	0.075	0.06	0.133
15					0.02	0.0531	0.02	0.061
16					0.02	0.081	0.024	0.06
17					0.02	0.077	0.24	0.065

Todos los datos están expresados en g/100 g de materia seca

**Tabla 25**  
**Relación C/N durante la degradación de pulpa de**  
**café basura en relación 1:1**

MUESTRA	PILA I	PILA J	PILA K	PILA L
1	26.45	25.45	26.45	26.45
2	26	26	26	26
3	17.05	27.47	20.76	13.36
4	23.62	33	21.73	11.66
5	22.04	27.27	25-Ene	13.8
6	23.08	25.46	18.64	12.83
7	14.41	21.82	15.7	16.35
8	13.42	20.33	10.97	14.61
9	22.08	15.26	19.88	19.49
10	11.63	22.66	11.82	16.55
11	11.22	12.27	7.36	10.56
12	8.34	12.29	6.21	23.98
13			20.77	21.7
14			9.18	20.79
15			7.7	10.16
16			24.31	25.14
17			12.27	17.78
18				

# ANEXO D



Fotografía 1. Area de experimentación.



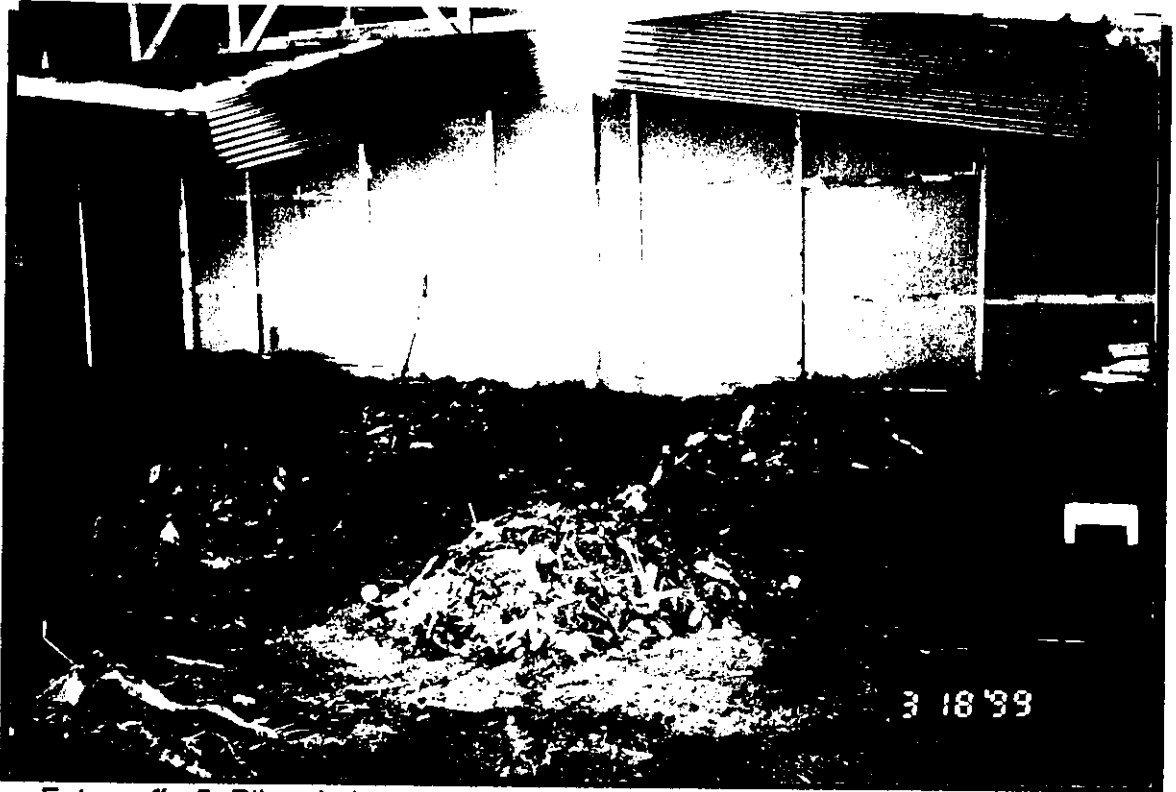
Fotografía 2. EM bokashi fermentado.



Fotografía 3. Solución de EM 1:50



Fotografía 4. Construcción de pilas



Fotografía 5. Pilas de basura y mezcla De izquierda a derecha mezcla, basura y pulpa de café

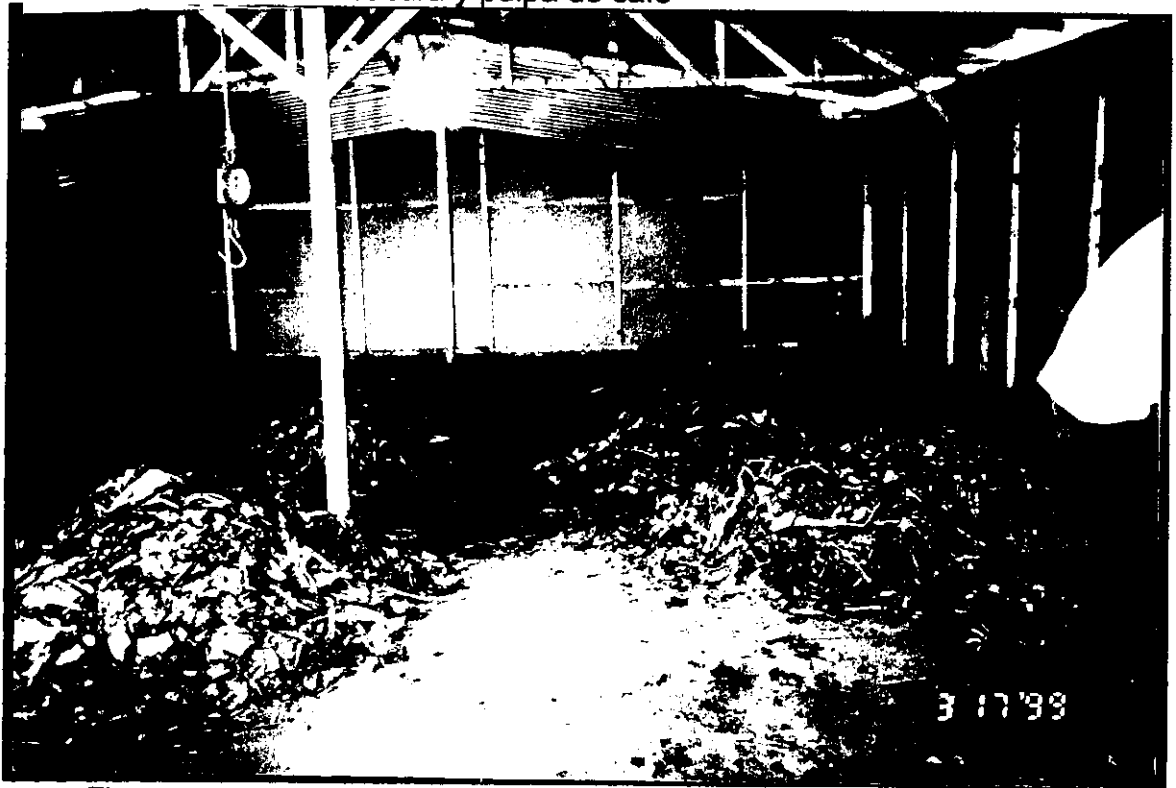
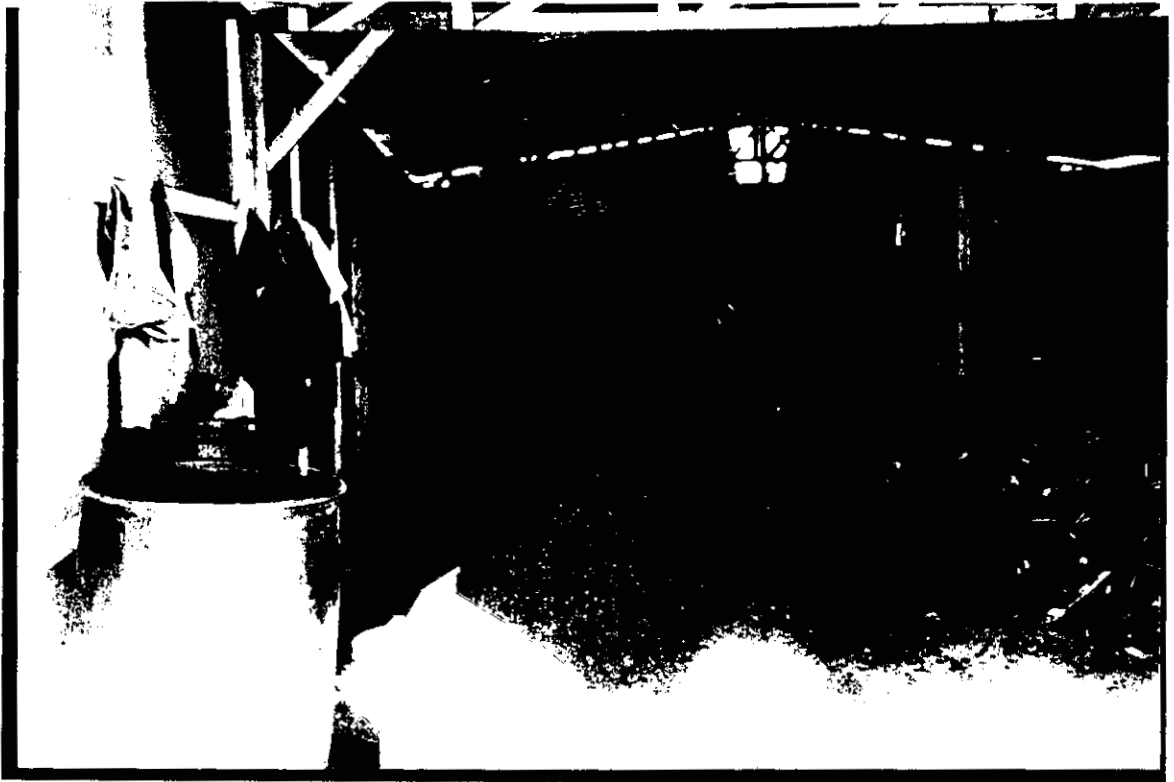


Figura 6. Pilas de basura y mezcla. De izquierda a derecha.



Fotografía 7. Pilas de pulpa de café. De atrás hacia delante tratamiento con bokashi, EMSuspensión, lodos y testigo.





Figura 8. Pulpa de café inoculada con lodos y testigo.  
A los dos meses de degradación.



Figura 9. Mezcla a los dos meses y medio. De atrás hacia delante bokashi, EM suspensión, lodos y testigo.



Figura 10. Basura inoculada con bokashi y EM suspensión. De atrás hacia delante tratamiento con bokashi y con EM suspensión.

# ANEXO E

**E.1 ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA LA TEMPERATURA EN PILAS DE PULPA DE CAFE**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	176.563	58.854	0.421
Error	276	0.39E+05	139.814	
Total	279	0.39E+05		

The F value of 0.421 with 3 and 276 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.74170

**Summary of Population Statistics**

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	70	49.387	1.625	25.000	73.500	0.262
2	70	47.786	1.436	32.200	70.930	-1.339
3	70	49.857	1.245	22.230	69.560	0.732
4	70	49.471	1.317	31.200	67.400	0.346
Total	280	49.125				

**E.2. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Squares	F
Treatments	3	1465.656	488.552	9.448
Error	64	3309.484	51.711	
Total	67	4775.141		

The F value of 9.448 with 3 and 64 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00005

### Summary of Population Statistics

Treatment	Obs	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	17	48.776	1.850	39.330	68.750	-5.200
2	17	50.135	1.854	36.190	69.980	-3.840
3	17	57.161	1.398	46.850	72.430	3.185
4	17	59.831	1.831	48.630	77.840	5.855
Total	68	53.9				

### PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS EN EL PORCENTAJE DE HUMEDAD.

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_3 = \mu_4$$

H1 : Al menos una sea diferente

$$\text{Sí } ( X_1 - X_2 ) < R$$

$$R = r_\alpha ( p, f ) \sqrt{MSw / nH}$$

Se acepta la hipótesis nula

Donde :

$n_H$  es el tamaño de la población en cada tratamiento

MSw Cuadrado medio del error

p = 2,3, 4.... K

K número de tratamientos

$\alpha$  nivel de confianza al 5 %

f grados de libertad correspondiente al MSw

X. media de la muestra

r Tabla de rangos significativo de Duncan al 5 % de confianza

Datos :

$$X_A = 48.776$$

$$MSw = 51.711$$

$$X_B = 50.135$$

$$n_H = 17$$

$$X_C = 57.161$$

$$X_D = 59.831$$

$$\sqrt{\frac{MS}{n}} = 1.744$$

$$gl = f = 64$$

GRUPO 1

$$X_A = 48.776$$

$$X_B = 50.135$$

$$X_C = 57.161$$

$$X_D = 59.831$$

$$R_4 = 5.362$$

$$R_3 = 5.068$$

$$R_2 = 4.925$$

GRUPO 2

$$X_A = 48.776$$

$$X_B = 50.135$$

$$X_C = 57.161$$

GRUPO 3

$$X_A = 48.775$$

$$X_B = 50.135$$

Grupo 1

$$R_4 : (X_A - X_D) = 11.055 > 5.362$$

$$R_3 : (X_B - X_D) = 9.696 > 5.068$$

$$R_2 : (X_C - X_D) = 2.67 < 4.925$$

Grupo 2

$$R_3 : (X_A - X_C) = 8.385 > 5.068$$

$$R_2 : (X_B - X_C) = 7.026 > 4.925$$

Grupo 3

$$R_2 : (X_A - X_B) = 1.359 < 4.925$$

### E.3. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE CENIZAS EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	2034.641	678.214	2.697
Error	64	0.16E+05	251.487	
Total	67	0.18E+05		

The F value of 2.697 with 3 and 64 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00005

Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	17	43.748	3.402	15.660	61.520	-6.630
2	17	46.215	3.660	16.090	65.040	-4.163
3	17	55.488	3.888	18.930	71.950	5.110
4	17	56.060	4.369	16.070	72.500	5.682
Total	68	50.378				

**PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS EN EL PORCENTAJE DE CENIZAS**

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_3 = \mu_4$$

H1 : Al menos una sea diferente

$$\text{Si } (X_1 - X_2) < R$$

$$R = r_\alpha(p, f) \sqrt{MSw / n_H}$$

Datos :

$$X_A = 43.748$$

$$X_B = 46.215$$

$$X_C = 55.488$$

$$X_D = 56.060$$

$$MSw = 251.487$$

$$n_H = 17$$

$$\sqrt{MSw} / n_H = 3.846$$

$$gl = 64 = f$$

GRUPO 1

$$X_A = 43.748$$

$$X_B = 46.215$$

$$X_C = 55.488$$

$$X_D = 56.060$$

$$R_4 = 11.826$$

$$R_3 = 11.527$$

GRUPO 2

$$X_A = 43.748$$

$$X_B = 46.215$$

$$X_C = 55.488$$

GRUPO 3

$$X_A = 43.748$$

$$X_B = 46.215$$



R2 = 10.861

Grupo 1  
 $R_4 : (X_A - X_D) = 12.312 > 11.826$   
 $R_3 : (X_B - X_D) = 9.845 < 11.527$   
 $R_2 : (X_C - X_D) = 0.572 < 10.86$

Grupo 2  
 $R_3 : (X_A - X_C) = 11.749 > 11.52$   
 $R_2 : (X_B - X_C) = 9.273 < 10.86$

Grupo 3  
 $R_2 : (X_A - X_B) = 2.416 < 10.86$

**E.4. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL pH EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ.**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	1.116	0.372	1.101
Error	64	21.613	0.338	
Total	67	22.729		

The F value of 1.101 with 3 and 64 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.31630

**Summary of Population Statistics**

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	17	8.238	0.125	7.100	9.130	-0.183
2	17	8.471	0.115	7.470	9.230	0.049
3	17	8.590	0.128	7.670	9.610	0.169
4	17	8.386	0.185	7.330	9.680	-0.035
Total	68	8.42				

**E.5. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE CARBONO ORGÁNICO EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ.**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	227.051	75.684	3.152
Error	64	1536.646	24.010	
Total	67	1763.697		

The F value of 3.152 with 3 and 64 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00005

**Summary of Population Statistics**

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	17	18.000	1.344	10.020	31.900	-2.192
2	17	19.102	1.297	11.300	31.900	-1.090
3	17	20.839	1.215	12.100	31.900	0.647
4	17	22.827	0.827	18.570	31.900	2.635
Total	68	20.192				

**PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS EN EL PORCENTAJE DE CARBONO ORGÁNICO**

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_3 = \mu_4$$

H1 : Al menos una sea diferente

$$\text{Sí } ( X_1 - X_2 ) < R$$

$$R = r_\alpha ( p, f ) \sqrt{MSw / nH}$$

Datos :

$X_A = 18$   
 $X_B = 19.102$   
 $X_C = 20.839$   
 $X_D = 22.827$

$MS_w = 24.01$   
 $n_H = 17$   
 $\sqrt{MS_w} \cdot n_H = 1.188$   
 $gl = 64 = f$

GRUPO 1

$X_A = 18$   
 $X_B = 19.102$   
 $X_C = 20.839$   
 $X_D = 22.827$

$R_4 = 3.653$   
 $R_3 = 3.530$   
 $R_2 = 3.356$

GRUPO 2

$X_A = 18$   
 $X_B = 19.102$   
 $X_C = 20.839$

GRUPO 3

$X_A = 18$   
 $X_B = 19.102$

Grupo 1

$R_4 : (X_A - X_D) = 4.827 > 3.653$   
 $R_3 : (X_B - X_D) = 3.725 > 3.530$   
 $R_2 : (X_C - X_D) = 1.988 < 3.356$

Grupo 2

$R_3 : (X_A - X_C) = 2.839 < 3.530$   
 $R_2 : (X_B - X_C) = 1.737 < 3.356$

Grupo 3

$R_2 : (X_A - X_B) = 1.102 < 3.356$

### E.6. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE MATERIA ORGANICA EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	816.836	272.279	3.723
Error	64	4680.000	73.125	
Total	67	5496.836		

The F value of 3.723 with 3 and 64 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00005

### Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	17	31.029	2.316	17.270	54.960	-3.993
2	17	32.929	2.233	19.480	54.960	-2.094
3	17	35.923	2.093	20.860	54.960	0.900
4	17	40.210	1.574	32.010	54.960	5.187
Total	68	35.023				

### PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS EN EL PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICO

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_3 = \mu_4$$

H1 : Al menos una sea diferente

$$\text{Si } (X_1 - X_2) < R$$

$$R = r_\alpha(p, f) \sqrt{MSw / n_H}$$

Datos :

$$X_A = 31.029$$

$$X_B = 32.929$$

$$X_C = 35.923$$

$$X_D = 40.210$$

$$MSw = 73.125$$

$$n_H = 17$$

$$\sqrt{MSw / n_H} = 2.074$$

$$gl = 64 = f$$

GRUPO 1

$$X_A = 31.029$$

$$X_B = 32.929$$

$$X_C = 35.923$$

$$X_D = 40.210$$

GRUPO 2

$$X_A = 31.029$$

$$X_B = 32.929$$

$$X_C = 35.923$$

GRUPO 3

$$X_A = 31.029$$

$$X_B = 32.929$$

R4 = 6.377  
 R3 = 6.166  
 R2 = 5.856

Grupo 1  
 R4 : ( X<sub>A</sub> - X<sub>D</sub>) = 9.180 > 6.377  
 R3 : ( X<sub>B</sub> - X<sub>D</sub>) = 7.281 > 6.166  
 R2 : ( X<sub>C</sub> - X<sub>D</sub>) = 4.287 < 5.856

Grupo 2  
 R3 : ( X<sub>A</sub> - X<sub>C</sub>) = 4.894 < 6.166  
 R2 : ( X<sub>B</sub> - X<sub>C</sub>) = 2.994 < 5.856

Grupo 3  
 R2 : ( X<sub>A</sub> - X<sub>B</sub>) = 1.9 < 5.856

### E.7. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL CONTENIDO DE NITROGENO AMONIAL EN PILAS DE PULPA DE CAFE

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	0.024	0.008	0.659
Error	64	0.764	0.012	
Total	67	0.787		

The F value of 0.659 with 3 and 64 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.58095

#### Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	17	0.163	0.033	0.060	0.600	-0.009
2	17	0.150	0.025	0.050	0.463	-0.023
3	17	0.200	0.028	0.080	0.550	0.028
4	17	0.177	0.018	0.060	0.323	0.005
Total	68	0.172				

**E.8. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA LA RELACION C/N EN PILAS DE PULPA DE CAFE**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	518.781	172.927	3.006
Error	64	3681.703	57.527	
Total	67	4200.484		

The F value of 3.006 with 3 and 64 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00005

**Summary of Population Statistics**

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	17	16.730	2.048	6.770	37.640	-0.485
2	17	15.944	1.620	7.830	37.640	-1.271
3	17	14.410	1.781	6.660	37.640	-2.805
4	17	21.775	1.883	10.730	37.640	4.561
Total	68	17.21				

**PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS EN LA RELACION C/N EN PULPA DE CAFE**

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_3 = \mu_4$$

H1 : Al menos una sea diferente

$$\text{Si } (X_1 - X_2) < R$$

$$R = r_{\alpha}(p, f) \sqrt{MSw / n_H}$$

Datos :

$$X_A = 15.944$$

$$X_B = 16.730$$

$$X_C = 14.41$$

$$X_D = 21.775$$

$$MSw = 57.527$$

$$n_H = 17$$

$$\sqrt{MSw / n_H} = 1.839$$

$$gl = 64 = f$$

GRUPO 1

$$X_C = 14.41$$

$$X_A = 15.944$$

$$X_B = 16.730$$

$$X_D = 21.775$$

$$R_4 = 5.65$$

$$R_3 = 5.467$$

$$R_2 = 5.194$$

Grupo 1

$$R_4 : (X_C - X_D) = 7.365 > 5.65$$

$$R_3 : (X_A - X_D) = 5.831 > 5.46$$

$$R_2 : (X_B - X_D) = 5.045 < 5.19$$

GRUPO 2

$$X_C = 14.41$$

$$X_A = 15.994$$

$$X_B = 16.730$$

Grupo 2

$$R_3 : (X_C - X_B) = 2.32 < 5.467$$

$$R_2 : (X_A - X_B) = 0.786 < 5.19$$

GRUPO 3

$$X_C = 14.41$$

$$X_A = 15.994$$

Grupo 3

$$R_2 : (X_C - X_A) = 1.534 < 5.19$$

### E.9. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE NITRÓGENO TOTAL EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	2.542	0.847	2.417
Error	64	22.431	0.350	
Total	67	24.973		

The F value of 2.417 with 3 and 64 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00006

Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum
1	17	1.277	0.122	0.560	1.920
2	17	1.213	0.128	0.210	2.100
3	17	1.352	0.160	0.820	3.060
4	17	1.713	0.160	0.860	2.880
Total	68	1.389			

**PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS EN EL PORCENTAJE DE NITROGENO TOTAL**

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_3 = \mu_4$$

H1 : Al menos una sea diferente

$$\text{Si } ( X_{.1} - X_{.2} ) < R$$

$$R = r_{\alpha} ( p, f ) \sqrt{MSw / n_H}$$

Datos :

$$X_{.A} = 1.277$$

$$X_{.B} = 1.213$$

$$X_{.C} = 1.713$$

$$X_{.D} = 1.351$$

$$MSw = 0.35$$

$$n_H = 17$$

$$\sqrt{MSw / n_H} = 0.14$$

$$gl = 64 = f$$

GRUPO 1

$$X_{.B} = 1.213$$

$$X_{.A} = 1.277$$

$$X_{.D} = 1.351$$

$$X_{.C} = 1.713$$

GRUPO 2

$$X_{.B} = 1.213$$

$$X_{.A} = 1.277$$

$$X_{.D} = 1.351$$

GRUPO 3

$$X_{.B} = 1.213$$

$$X_{.A} = 1.277$$



R4 = 0.4305  
 R3 = 0.4162  
 R2 = 0.4050

**Grupo 1**  
 R4 : ( X<sub>B</sub> - X<sub>C</sub> ) = 0.5 0 > 0.4305  
 R3 : ( X<sub>A</sub> - X<sub>C</sub> ) = 0.436 > 0.416  
 R2 : ( X<sub>D</sub> - X<sub>C</sub> ) = 0.361 < 0.405

**Grupo 2**  
 R3 : ( X<sub>B</sub> - X<sub>D</sub> ) = 0.13 8 < 0.416  
 R2 : ( X<sub>A</sub> - X<sub>D</sub> ) = 0.078 < 0.405

**Grupo 3**  
 R2 : ( X<sub>B</sub> - X<sub>A</sub> ) = 0.064 < 0.405

### E.10. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE FÓSFORO TOTAL EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	0.200	0.067	2.280
Error	64	1.875	0.029	
Total	67	2.076		

The F value of 2.280 with 3 and 64 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00008

#### Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	17	0.566	0.050	0.210	1.001	0.086
2	17	0.417	0.037	0.070	0.694	-0.064
3	17	0.478	0.035	0.280	0.806	-0.003
4	17	0.462	0.042	0.070	0.798	-0.019
Total	68	0.481				

**PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS  
ENCONTRADAS EN EL PORCENTAJE DE FOSFORO TOTAL.**

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_3 = \mu_4$$

H1 : Al menos una sea diferente

$$\text{Sí } ( X_{.1} - X_{.2} ) < R$$

$$R = r_{\alpha} ( p, f ) \sqrt{MSw / nH}$$

Datos :

$$X_{.A} = 0.566$$

$$X_{.B} = 0.417$$

$$X_{.C} = 0.478$$

$$X_{.D} = 0.462$$

$$MSw = 0.029$$

$$n_H = 17$$

$$\sqrt{MSw / n_H} = 0.0413$$

$$gl = 64 = f$$

**GRUPO 1**

$$X_{.B} = 0.417$$

$$X_{.D} = 0.462$$

$$X_{.C} = 0.478$$

$$X_{.A} = 0.566$$

$$R_4 = 0.1275$$

$$R_3 = 0.1227$$

$$R_2 = 0.1166$$

**GRUPO 2**

$$X_{.B} = 0.417$$

$$X_{.D} = 0.462$$

$$X_{.C} = 0.478$$

**GRUPO 3**

$$X_{.B} = 0.417$$

$$X_{.D} = 0.462$$

**Grupo 1**

$$R_4 : ( X_B - X_A ) = 0.149 > 0.1275$$

$$R_3 : ( X_D - X_A ) = 0.104 > 0.061$$

$$R_2 : ( X_C - X_A ) = 0.088 < 0.116$$

**Grupo 2**

$$R_3 : ( X_B - X_C ) = 0.061 < 0.122$$

$$R_2 : ( X_D - X_C ) = 0.016 < 0.116$$

**Grupo 3**

$$R_2 : ( X_B - X_D ) = 0.045 < 0.1166$$

# ANEXO F

**F.1. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA LA TEMPERATURA EN PILAS DE BASURA**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	1011.969	337.323	3.149
Error	276	0.30E+05	107.114	
Total	279	0.31E+05		

The F value of 3.149 with 3 and 276 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00005

**Summary of Population Statistics**

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	70	39.712	1.412	27.730	67.860	-0.197
2	70	37.494	1.073	26.900	60.630	-2.414
3	70	39.605	1.163	28.000	68.500	-0.303
4	70	42.822	1.273	29.700	68.160	2.914
Total	280	39.908				

**PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS LA TEMPERATURA EN PILAS DE BASURA**

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_3 = \mu_4$$

**H1 : Al menos una sea diferente**

$$\text{Sí } ( X_{.1} - X_{.2} ) < R$$

$$R = r_o (p, f) \sqrt{MSw} \quad nH$$

Datos :

$$X_E = 39.712$$

$$X_F = 37.494$$

$$X_G = 39.605$$

$$X_H = 42.822$$

$$MSw = 107.114$$

$$n_H = 70$$

$$\sqrt{MSw} / n_H = 1.237$$

$$gl = 276 = f$$

GRUPO 1

$$X_F = 37.494$$

$$X_G = 39.605$$

$$X_E = 39.712$$

$$X_H = 42.822$$

GRUPO 2

$$X_F = 37.494$$

$$X_G = 39.605$$

$$X_E = 39.712$$

GRUPO 3

$$X_F = 37.494$$

$$X_G = 39.605$$

$$R_4 = 3.735$$

$$R_3 = 3.612$$

$$R_2 = 3.426$$

Grupo 1

$$R_4 : (X_F - X_H) = 5.328 > 3.735$$

$$R_3 : (X_G - X_H) = 3.217 > 3.612$$

$$R_2 : (X_E - X_H) = 3.11 < 3.426$$

Grupo 2

$$R_3 : (X_F - X_E) = 2.218 < 3.612$$

$$R_2 : (X_G - X_E) = 0.107 < 3.426$$

Grupo 3

$$R_2 : (X_F - X_G) = 2.111 < 3.426$$

## F.2. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN PILAS DE BASURA

### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	409.422	136.474	1.208
Error	58	6552.094	112.967	
Total	61	6961.516		

The F value of 1.208 with 3 and 58 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.17761

Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	14	43.548	3.085	32.790	69.210	-2.526
2	14	43.698	2.371	35.010	67.850	-2.376
3	17	49.613	2.573	35.800	78.530	3.539
4	17	47.438	2.710	34.810	75.680	1.364
Total	62	46.074				

**F.3. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE CENIZAS EN PILAS DE BASURA**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	152.594	50.865	0.261
Error	50	9750.148	195.003	
Total	53	9902.742		

The F value of 0.261 with 3 and 50 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.85500

Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	10	39.733	4.385	14.230	61.290	0.173
2	10	36.778	4.143	12.640	57.790	-2.782
3	17	41.691	3.567	12.000	63.410	2.131
4	17	40.038	3.328	13.000	58.490	0.478
Total	54	39.560				

#### F.4. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL pH EN PILAS DE BASURA

##### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	1.640	0.547	1.215
Error	58	26.102	0.450	
Total	61	27.742		

The F value of 1.215 with 3 and 58 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.17021

##### Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	14	7.450	0.166	6.070	8.140	0.076
2	14	7.186	0.168	5.870	7.920	-0.188
3	17	7.598	0.173	5.390	8.310	0.224
4	17	7.262	0.170	5.530	8.180	-0.112
Total	62	7.374				

#### F.5. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE CARBONO EN PILAS DE BASURA

##### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	21.902	7.301	0.149
Error	54	2651.936	49.110	
Total	57	2673.838		

The F value of 0.149 with 3 and 54 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.92985

Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	12	17.397	2.087	13.000	39.000	-0.116
2	12	17.802	2.161	11.180	39.000	0.289
3	17	16.650	1.641	9.400	39.000	-0.863
4	17	18.203	1.636	9.620	39.000	0.690
Total	58	17.513				

**F.6. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA EN PILAS DE BASURA**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	65.180	21.727	0.149
Error	54	7859.625	145.549	
Total	57	7924.805		

The F value of 0.149 with 3 and 54 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.92946

Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	12	29.736	3.620	22.410	67.000	-0.388
2	12	30.669	3.709	19.270	67.000	0.545
3	17	28.722	2.821	16.210	67.000	-1.402
4	17	31.370	2.811	16.580	67.000	1.246
Total	58	30.12				



**F.7. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL CONTENIDO DE NITROGENO AMONICAL EN PILAS DE BASURA**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	0.33E-03	0.11E-03	3.996
Error	50	0.001	0.28E-04	
Total	53	0.002		

The F value of 3.996 with 3 and 50 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00005

**Summary of Population Statistics**

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	10	0.012	0.003	0.002	0.026	0.005
2	10	0.004	0.001	0.012	-0.003	
3	17	0.005	0.85E-03	0.001	0.012	-0.002
4	17	0.007	0.88E-03	0.003	0.017	-.20E-03
Total	54	0.007				

**PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS EN EL PORCENTAJE DE NITROGENO AMONICAL**

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_3 = \mu_4$$

H1 : Al menos una sea diferente

$$\text{Sí } ( X_{.1} - X_{.2} ) < R$$

$$R = r_\alpha ( p, f ) \sqrt{MSw / nH}$$

Datos :

$$X_E = 0.0117$$

$$X_F = 0.0004$$

$$X_G = 0.005$$

$$X_H = 0.007$$

$$MSw = 0.20 \cdot 10^{-4}$$

$$n_H = 14$$

$$\sqrt{\frac{MSw}{n_H}} = 0.0012$$

$$gl = 54 = f$$

GRUPO 1

$$X_F = 0.417$$

$$X_G = 0.462$$

$$X_H = 0.478$$

$$X_E = 0.566$$

$$R_4 = 0.0034$$

$$R_3 = 0.00359$$

$$R_2 = 0.0037$$

GRUPO 2

$$X_F = 0.417$$

$$X_G = 0.462$$

$$X_H = 0.478$$

GRUPO 3

$$X_F = 0.417$$

$$X_G = 0.462$$

Grupo 1

$$R_4 : (X_F - X_E) = 0.008 > 0.0037$$

$$R_3 : (X_G - X_E) = 0.007 > 0.0035$$

$$R_2 : (X_H - X_E) = 0.005 < 0.0034$$

Grupo 2

$$R_3 : (X_F - X_H) = 0.0061 > 0.003$$

$$R_2 : (X_G - X_H) = 0.0016 < 0.003$$

Grupo 3

$$R_2 : (X_F - X_G) = 0.045 < 0.0034$$

## F.8. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA LA RELACION C/N EN PILAS DE BASURA

### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	133.955	44.652	0.976
Error	54	2470.076	45.742	
Total	57	2604.031		

The F value of 0.976 with 3 and 54 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.40405

Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	12	17.405	1.909	7.700	27.830	-0.688
2	12	20.644	2.383	6.380	30.610	2.551
3	17	16.354	1.725	5.760	30.790	-1.739
4	17	17.970	1.258	8.190	25.690	-0.123
Total	58	18.093				

**F.9. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE NITRÓGENO TOTAL EN PILAS DE BASURA**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	0.474	0.158	0.667
Error	54	12.803	0.237	
Total	57	13.277		

The F value of 0.667 with 3 and 54 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.57627

Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	12	1.092	0.121	0.560	1.830	0.014
2	12	0.946	0.126	0.490	1.830	-0.133
3	17	1.204	0.150	0.440	2.620	0.125
4	17	1.072	0.099	0.557	1.830	-0.006
Total	58	1.079				

**F.10. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE FÓSFORO TOTAL EN PILAS DE BASURA**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	0.388	0.129	4.022
Error	54	1.738	0.032	
Total	57	2.126		

The F value of 4.022 with 3 and 54 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00005

Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	12	0.670	0.068	0.280	1.024	0.146
2	12	0.442	0.033	0.210	0.712	-0.082
3	17	0.514	0.037	0.210	0.890	-0.010
4	17	0.470	0.048	0.140	0.876	-0.054
Total	58	0.524				

**PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS EN EL PORCENTAJE DE FOSFORO TOTAL EN BASURA**

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_3 = \mu_4$$

H1 : Al menos una sea diferente

$$\text{Si } (X_{.1} - X_{.2}) < R$$

$$R = r_{\alpha}(p,f) \sqrt{MSw / nH}$$

Datos :

$$X_{.E} = 0.670$$

$$X_{.F} = 0.442$$

$$X_{.G} = 0.514$$

$$X_{.H} = 0.47$$

$$MS_w = 0.032$$

$$n_H = 15$$

$$\sqrt{\frac{MS_w}{n_H}} = 0.0461$$

$$gl = 54 = f$$

GRUPO 1

$$X_{.F} = 0.442$$

$$X_{.H} = 0.470$$

$$X_{.G} = 0.514$$

$$X_{.E} = 0.670$$

$$R_4 = 0.1420$$

$$R_3 = 0.1377$$

$$R_2 = 0.1309$$

GRUPO 2

$$X_{.F} = 0.442$$

$$X_{.H} = 0.470$$

$$X_{.E} = 0.514$$

GRUPO 3

$$X_{.F} = 0.442$$

$$X_{.H} = 0.470$$

Grupo 1

$$R_4 : (X_F - X_E) = 0.228 > 0.1420$$

$$R_3 : (X_H - X_E) = 0.2 > 0.1377$$

$$R_2 : (X_G - X_E) = 0.156 > 0.1309$$

Grupo 2

$$R_3 : (X_F - X_G) = 0.072 < 0.137$$

$$R_2 : (X_H - X_G) = 0.044 < 0.130$$

Grupo 3

$$R_2 : (X_F - X_H) = 0.028 < 0.1309$$

## F.11. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA TERMÓFILOS EN COMPOST DE BASURA

La hipótesis a probar es la siguiente:

$$H_0 : \mu_x \geq 10^7 \text{ (Hipótesis nula)}$$

$$H_1 : \mu_x < 10^7 \text{ (Hipótesis alternativa)}$$

$$X_E = 1.2 \cdot 10^6$$

$$X_F = 1.6 \cdot 10^6$$

$$X_G = 0.06 \cdot 10^6$$

$$X_H = 30$$

$$X_{media} = 0.0715 \cdot 10^7$$

$$t_{0.05} = 2.35$$

$$S^2 = 8.07 \cdot 10^5$$

$$S = 4.03 \cdot 10^5$$

$$n = 4$$

$$\mu_x = 1.094 \cdot 10^7 \text{ (valor crítico a comparar con la media de la muestra)}$$

Por tanto se acepta la hipótesis nula.

## F.12. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA COLIFORMES FECALES EN COMPOST DE BASURA.

La hipótesis a probar es la siguiente:

$H_0 : \mu_x \geq 10^2$  ( Hipótesis nula )

$H_1 : \mu_x < 10^2$  ( Hipótesis alternativa )

$$X_E = 2.0 \cdot 10^3$$

$$X_F = 4.5 \cdot 10^3$$

$$X_G = 13 \cdot 10^3$$

$$X_H = 17 \cdot 10^3$$

$$X_{\text{media}} = 91.2 \cdot 10^3$$

$$t_{0.05} = 2.35$$

$$S^2 = 9.029 \cdot 10^9$$

$$S = 9.502 \cdot 10^9$$

$$n = 4$$

$$\mu_x = 1.17 \cdot 10^5 \left( \text{valor crítico a comparar con la media de la muestra} \right)$$

Por tanto se acepta la hipótesis nula.

# **ANEXO G**

**G.1. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA LA TEMPERATURA EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ BASURA EN RELACION 1:1**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	238.250	79.417	0.593
Error	276	0.37E+05	134.007	
Total	279	0.37E+05		

The F value of 0.593 with 3 and 276 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.62389

**Summary of Population Statistics**

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	70	42.488	1.552	23.960	71.560	1.330
2	70	39.914	1.352	28.700	66.730	-1.244
3	70	41.326	1.329	30.460	67.360	0.168
4	70	40.904	1.287	29.600	67.630	-0.254
Total	280	41.158				

**G.2. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ BASURA EN RELACION 1:1**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	1357.391	452.464	5.568
Error	58	4713.250	81.263	
Total	61	6070.641		



The F value of 5.568 with 3 and 58 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00005

Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	14	45.746	2.590	33.210	69.900	-5.175
2	14	47.331	1.746	38.910	62.680	-3.590
3	17	53.132	2.386	41.350	81.540	2.211
4	17	57.475	2.260	45.210	80.710	6.554
Total	62	50.921				

**PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS EN EL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN MEZCLA**

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_3 = \mu_4$$

H1 : Al menos una sea diferente

$$\text{Si } ( X_{.1} - X_{.2} ) < R$$

$$R = r_\alpha ( p, f ) \sqrt{MSw / n_H}$$

Datos :

$$X_{.1} = 45.746$$

$$X_{.j} = 47.331$$

$$X_{.k} = 53.132$$

$$X_{.l} = 57.475$$

$$MSw = 81.263$$

$$n_H = 16$$

$$\sqrt{MSw / n_H} = 2.253$$

$$gl = 58 = f$$

**GRUPO 1**

$$X_{.1} = 45.746$$

$$X_{.j} = 47.331$$

$$X_{.k} = 53.132$$

**GRUPO 2**

$$X_{.1} = 45.746$$

$$X_{.j} = 47.331$$

$$X_{.k} = 53.132$$

**GRUPO 3**

$$X_{.1} = 45.746$$

$$X_{.j} = 47.331$$

$$X_{.L} = 57.475$$

$$R_4 = 6.941$$

$$R_3 = 6.720$$

$$R_2 = 6.330$$

#### Grupo 1

$$R_4 : (X_I - X_L) = 11.729 > 6.941$$

$$R_3 : (X_J - X_L) = 9.72 > 6.72$$

$$R_2 : (X_K - X_L) = 4.344 < 6.383$$

#### Grupo 2

$$R_3 : (X_I - X_K) = 7.386 > 6.72$$

$$R_2 : (X_J - X_K) = 5.80 < 6.383$$

#### Grupo 3

$$R_2 : (X_I - X_J) = 1.585 < 6.383$$

### G.3. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE CENIZAS EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ BASURA EN RELACION 1:1

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	990.133	330.044	1.239
Error	52	0.14E+05	266.392	
Total	55	0.15E+05		

The F value of 1.239 with 3 and 52 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.16137

#### Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	11	44.305	4.212	15.280	67.270	-1.850
2	11	40.501	4.453	13.840	59.290	-5.655
3	17	47.751	4.551	12.500	70.350	1.595
4	17	52.065	3.876	20.230	73.870	5.910
Total	56	46.156				

**G.4. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL pH EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ BASURA EN RELACION 1:1**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	1.872	0.624	1.485
Error	58	24.371	0.420	
Total	61	26.243		

The F value of 1.485 with 3 and 58 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.02664

**Summary of Population Statistics**

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	14	7.883	0.180	6.920	9.040	-0.226
2	14	7.994	0.153	7.010	8.810	-0.114
3	17	8.261	0.177	7.060	9.250	0.152
4	17	8.296	0.145	6.990	9.190	0.188
Total	62	8.109				

**G.5. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE CARBONO EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ BASURA EN RELACION 1:1**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	51.160	17.053	0.281
Error	54	3276.549	60.677	
Total	57	3327.709		

### Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	12	22.973	2.312	14.600	35.450	0.020
2	12	24.405	2.203	15.000	35.450	1.451
3	17	21.721	1.938	9.160	35.450	-1.233
4	17	22.716	1.829	9.730	35.450	-0.238
Total	58	22.954				

### G.6. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE MATERIA ORGANICA EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ BASURA EN RELACION 1:1

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	153.055	51.018	0.281
Error	54	9809.188	181.652	
Total	57	9962.242		

The F value of 0.281 with 3 and 54 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.84100

### Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	12	39.739	4.011	25.170	61.000	0.062
2	12	42.208	3.770	25.860	61.000	2.531
3	17	37.579	3.375	15.160	61.000	-2.098
4	17	39.182	3.157	16.770	61.000	-0.495
Total	58	39.677				

**G.7. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE NITROGENO AMONIAL EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ BASURA EN RELACION 1:1**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	0.013	0.004	1.637
Error	50	0.132	0.003	
Total	53	0.144		

The F value of 1.637 with 3 and 50 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.01376

**Summary of Population Statistics**

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	10	0.127	0.023	0.040	0.231	0.028
2	10	0.079	0.013	0.032	0.151	-0.020
3	17	0.090	0.011	0.004	0.200	-0.008
4	17	0.098	0.012	0.040	0.200	-.37E-03
Total	54	0.099				

**PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS EN EL CONTENIDO DE NITROGENO AMONIAL**

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_3 = \mu_4$$

H1 : Al menos una sea diferente

$$\text{Sí } ( X_{.1} - X_{.2} ) < R$$

$$R = r_{\sigma} (p,f) \sqrt{\frac{MSw}{nH}}$$

Datos :

$$X_{.I} = 0.1270$$

$$X_{.J} = 0.0790$$

$$X_{.K} = 0.090$$

$$X_{.L} = 0.098$$

$$MSw = 0.003$$

$$n_H = 14$$

$$\sqrt{\frac{MSw}{n_H}} = 0.0146$$

$$gl = 50 = f$$

GRUPO 1

$$X_{.J} = 0.0790$$

$$X_{.K} = 0.0900$$

$$X_{.L} = 0.0980$$

$$X_{.I} = 0.1270$$

$$R_4 = 0.0451$$

$$R_3 = 0.0437$$

$$R_2 = 0.0415$$

GRUPO 2

$$X_{.J} = 0.0790$$

$$X_{.K} = 0.0900$$

$$X_{.L} = 0.0980$$

GRUPO 3

$$X_{.J} = 0.0790$$

$$X_{.K} = 0.0900$$

Grupo 1

$$R_4 : (X_J - X_I) = 0.048 > 0.00451$$

$$R_3 : (X_K - X_I) = 0.037 < 0.0437$$

$$R_2 : (X_L - X_I) = 0.029 < 0.0415$$

Grupo 2

$$R_3 : (X_J - X_L) = 0.019 < 0.04$$

$$R_2 : (X_K - X_L) = 0.008 < 0.041$$

Grupo 3

$$R_2 : (X_J - X_K) = 0.011 < 0.0415$$

## G.8. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA LA RELACION C/N EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ BASURA EN RELACION 1:1

### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	276.652	92.217	2.246
Error	54	2216.748	41.051	
Total	57	2493.400		

The F value of 2.246 with 3 and 54 degrees of freedom

would be cause for Rejection of the Null Hypothesis  
at an Alpha level of 0.00020

### Summary of Population Statistics

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	12	18.102	1.764	8.340	26.450	-0.856
2	12	22.777	1.928	12.270	33.000	3.819
3	17	16.672	1.682	6.210	26.450	-2.286
4	17	18.281	1.417	10.160	30.120	-0.677
Total	58	18.958				

### PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS EN LA RELACION C/N EN MEZCLA.

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_3 = \mu_4$$

H1 : Al menos una sea diferente

$$\text{Sí } ( X_{.1} - X_{.2} ) < R$$

$$R = r_{\alpha} ( p, f ) \sqrt{ MSw / nH }$$

Datos :

$$X_{.1} = 18.102$$

$$X_{.j} = 22.77$$

$$X_{.k} = 16.672$$

$$X_{.L} = 18.281$$

$$MSw = 41.051$$

$$n_H = 15$$

$$\sqrt{ MSw / n_H } = 1.654$$

$$gl = 54 = f$$

GRUPO 1

$$X_{.k} = 16.672$$

$$X_{.1} = 18.102$$

$$X_{.L} = 18.281$$

$$X_{.j} = 22.777$$

GRUPO 2

$$X_{.j} = 16.6720$$

$$X_{.k} = 18.102$$

$$X_{.L} = 18.281$$

GRUPO 3

$$X_{.j} = 16.672$$

$$X_{.k} = 18.102$$

R4 = 5.1020  
 R3 = 4.9420  
 R2 = 4.6950

Grupo 1  
 R4 : ( X<sub>K</sub>- X<sub>J</sub>) = 6.105 > 5.102  
 R3 : ( X<sub>I</sub> - X<sub>J</sub>) = 4.675 < 4.942  
 R2 : ( X<sub>L</sub> -X<sub>J</sub>) = 4.496 <4.695

Grupo 2  
 R3 : ( X<sub>K</sub>- X<sub>L</sub>) = 1.608 < 4.942  
 R2 : ( X<sub>I</sub> -X<sub>L</sub>) = 0.990 < 4.695

Grupo 3  
 R2 : ( X<sub>K</sub>- X<sub>I</sub>) = 1.43 < 4.695

**G.9. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL CONTENIDO DE NITRÓGENO TOTAL EN PILAS PULPA DE CAFÉ BASURA EN RELACION 1:1**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	1.171	0.390	1.885
Error	54	11.179	0.207	
Total	57	12.350		

The F value of 1.885 with 3 and 54 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00188

**Summary of Population Statistics**

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	12	1.248	0.106	0.610	1.900	0.020
2	12	1.033	0.069	0.510	1.340	-0.196
3	17	1.199	0.103	0.472	1.830	-0.029
4	17	1.432	0.151	0.436	2.880	0.204
Total	58	1.228				



**PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS  
ENCONTRADAS EN EL PORCENTAJE DE NITROGENO TOTAL EN MEZCLA**

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0 : \mu_3 = \mu_4$$

**H1 : Al menos una sea diferente**

$$\text{Sí } ( X_{.1} - X_{.2} ) < R$$

$$R = r_{\alpha} ( p, f ) \sqrt{MSw / nH}$$

Datos :

$$X_{.1} = 1.248$$

$$X_{.j} = 1.033$$

$$X_{.k} = 1.199$$

$$X_{.L} = 1.432$$

$$MSw = 0.207$$

$$n_H = 15$$

$$\sqrt{MSw / n_H} = 0.117$$

$$gl = 54 = f$$

**GRUPO 1**

$$X_{.j} = 1.033$$

$$X_{.k} = 1.119$$

$$X_{.l} = 1.248$$

$$X_{.L} = 1.432$$

**GRUPO 2**

$$X_{.j} = 1.033$$

$$X_{.k} = 1.119$$

$$X_{.l} = 1.248$$

**GRUPO 3**

$$X_{.j} = 1.033$$

$$X_{.k} = 1.119$$

$$R_4 = 0.3609$$

$$R_3 = 0.3496$$

$$R_2 = 0.3321$$

**Grupo 1**

$$R_4 : ( X_{.j} - X_{.L} ) = 0.3999 > 0.3609$$

$$R_3 : ( X_{.k} - X_{.L} ) = 0.233 < 0.349$$

$$R_2 : ( X_{.l} - X_{.L} ) = 0.184 < 0.332$$

**Grupo 2**

$$R_3 : ( X_{.j} - X_{.l} ) = 0.215 < 0.349$$

$$R_2 : ( X_{.k} - X_{.l} ) = 0.049 < 0.332$$

**Grupo 3**

$$R_2 : ( X_{.j} - X_{.k} ) = 0.184 < 0.3321$$

**G.10. ANALISIS DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS PARA EL PORCENTAJE DE FÓSFORO TOTAL EN PILAS DE PULPA DE CAFÉ BASURA EN RELACION 1:1**

**ANALYSIS OF VARIANCE TABLE**

Source of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F
Treatments	3	0.	0.116	3.072
Error	54	2.047	0.038	
Total	57	2.397		

The F value of 3.072 with 3 and 54 degrees of freedom would be cause for Rejection of the Null Hypothesis at an Alpha level of 0.00005

**Summary of Population Statistics**

Treatment	Obs.	Mean	Std. Dev.	Minimum	Maximum	TJ's
1	12	0.608	0.033	0.400	0.789	0.115
2	12	0.367	0.038	0.070	0.570	-0.125
3	17	0.500	0.062	0.140	1.180	0.008
4	17	0.495	0.050	0.070	0.887	0.002
Total	58	0.492				

**PRUEBA DE DUNCAN PARA LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENCONTRADAS EN EL PORCENTAJE DE FOSFORO TOTAL EN MEZCLA**

Las hipótesis bajo prueba son:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_4$$

$$H_0: \mu_2 = \mu_3$$

$$H_0: \mu_3 = \mu_4$$

**H1 : Al menos una sea diferente**

$$\text{Si } (X_1 - X_2) < R$$

$$R = r_{\alpha}(p, f) \sqrt{MSw / nH}$$

Datos :

$$X_J = 0.608$$

$$X_L = 0.367$$

$$X_K = 0.5$$

$$X_L = 0.495$$

$$MSw = 0.038$$

$$n_H = 15$$

$$\sqrt{MSw / n_H} = 0.0503$$

$$gl = 54 = f$$

GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
$X_J = 0.367$	$X_J = 0.367$	$X_J = 0.367$
$X_L = 0.495$	$X_L = 0.495$	$X_L = 0.495$
$X_K = 0.5$	$X_K = 0.5$	
$X_J = 0.608$		

$$R_4 = 0.1551$$

$$R_3 = 0.1503$$

$$R_2 = 0.1428$$

Grupo 1

$$R_4 : (X_J - X_I) = 0.241 > 0.155$$

$$R_3 : (X_L - X_I) = 0.113 < 0.153$$

$$R_2 : (X_K - X_I) = 0.108 < 0.142$$

Grupo 2

$$R_3 : (X_J - X_K) = 0.133 < 0.153$$

$$R_2 : (X_L - X_K) = 0.005 < 0.142$$

Grupo 3

$$R_2 : (X_J - X_L) = 0.108 < 0.142$$

### G.11. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA TERMOFILOS EN COMPOST DE BASURA PULPA DE CAFÉ EN RELACION 1:1

La hipótesis a probar es la siguiente:

$$H_0 : \mu_x \geq 10^7 \text{ (Hipótesis nula)}$$

$$H_1 : \mu_x < 10^7 \text{ (Hipótesis alternativa)}$$

$$X_I = 5 \cdot 10^5$$

$$X_J = 4.5 \cdot 10^5$$

$$X_K = 30$$

$$X_L = 9.7 \cdot 10^4$$

$$S^2 = 6.25 \cdot 10^{10}$$

$$S = 2.5 \cdot 10^5$$

$$n = 4$$

$$X_{\text{media}} = 0.026 \cdot 10^7$$

$$t_{0.05} = 2.35$$

$$\mu_x = 1.029 \cdot 10^7 \left( \text{valor crítico a comparar con la media de la muestra} \right)$$

$$\mu_x + t_{0.05} (S / n)^{1/2}$$

Por tanto se acepta la hipótesis nula.

## G.12. PRUEBA DE HIPOTESIS PARA COLIFORMES FECALES EN COMPOST DE BASURA PULPA DE CAFÉ EN RELACION 1:1

La hipótesis a probar es la siguiente:

$$H_0 : \mu_x \geq 10^2 \text{ ( Hipótesis nula )}$$

$$H_1 : \mu_x < 10^2 \text{ ( Hipótesis alternativa )}$$

$$X_j = 2.2 \cdot 10^5$$

$$X_j = 4.9 \cdot 10^4$$

$$X_k = 4.5 \cdot 10^3$$

$$X_L = 2.6 \cdot 10^4$$

$$X_{\text{media}} = 1.85 \cdot 10^5$$

$$t_{0.05} = 2.35$$

$$S^2 = 3.83 \cdot 10^{10}$$

$$S = 1.958 \cdot 10^5$$

$$n = 4$$

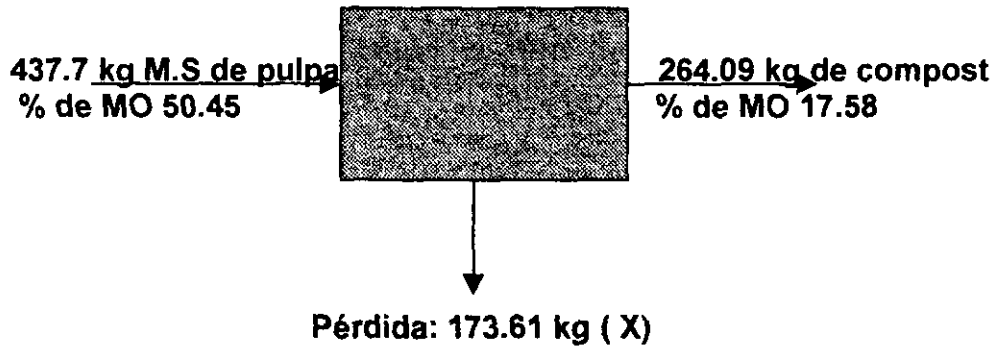
$$\mu_x = 2.301 \cdot 10^5 \left( \text{valor crítico a comparar con la media de la muestra} \right)$$

$$\mu_x + t_{0.05} (S / n)^{1/2}$$

Por tanto se acepta la hipótesis nula.

# ANEXO H

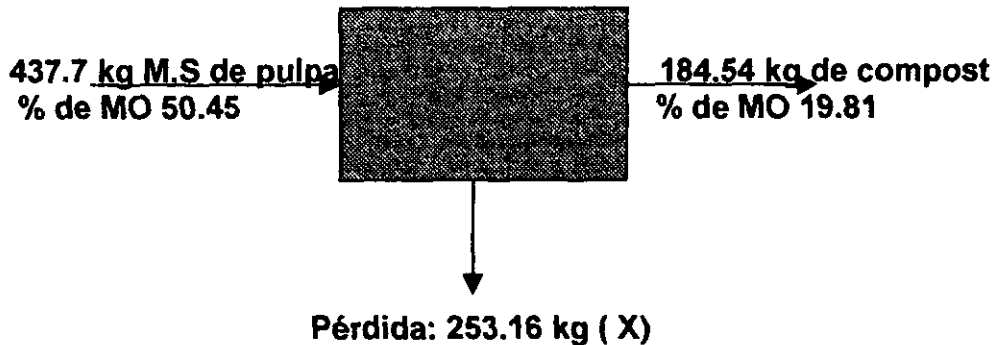
## H1. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA EN PILA A



Pérdida de materia orgánica =  $220819.65 \text{ g} - 46427.02 \text{ g} / 173.7 \text{ kg} = 1004.5 \text{ g/kg}$

Pérdida de materia orgánica =  $1004.5 \text{ g / kg} \times 173.7 \text{ kg} = 17392.62 = 173.62 \text{ kg}$ .

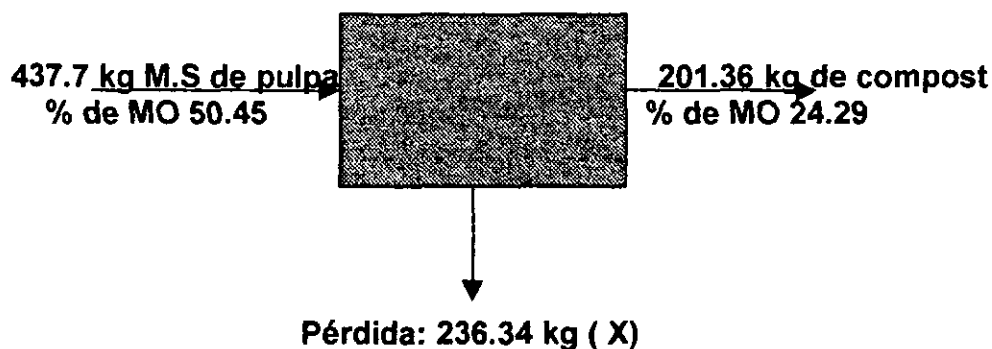
## H2. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA EN PILA B



Pérdida de materia orgánica =  $220819.65 \text{ g} - 36557.37 \text{ g} / 253.16 = 727.84 \text{ g/kg}$

Pérdida de materia orgánica =  $727.84 \text{ g / kg} \times 253.16 \text{ kg} = 184262.28 = 184.26 \text{ kg}$ .

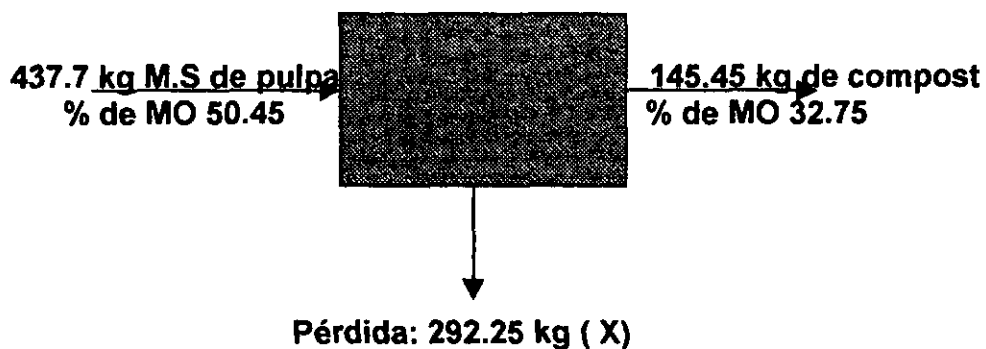
### H3. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA EN PILA C



Pérdida de materia orgánica =  $220819.65 \text{ g} - 48910.34 \text{ g} / 236.34 = 727.381 \text{ g/kg}$

Pérdida de materia orgánica =  $727.381 \text{ g / kg} \times 236.34 \text{ kg} = 171909.31 \text{ g} = 171.909 \text{ kg}$ .

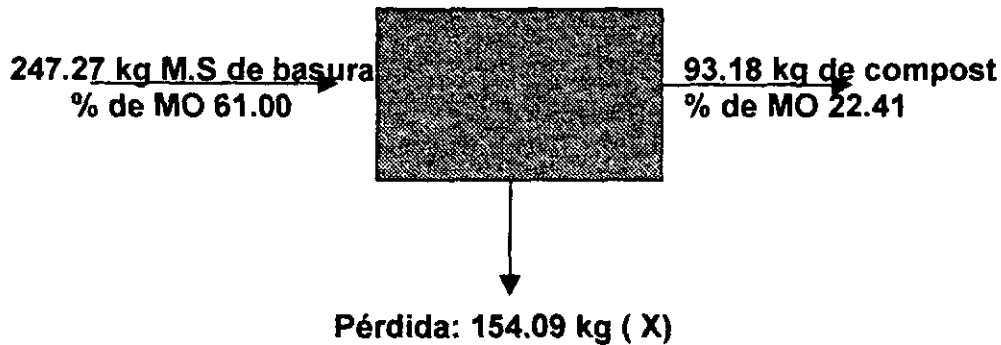
### H4. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA EN PILA D



Pérdida de materia orgánica =  $220819.65 \text{ g} - 47634.87 \text{ g} / 292.25 = 592.59 \text{ g/kg}$

Pérdida de materia orgánica =  $592.59 \text{ g / kg} \times 292.25 \text{ kg} = 173184.42 \text{ g} = 173.18 \text{ kg}$ .

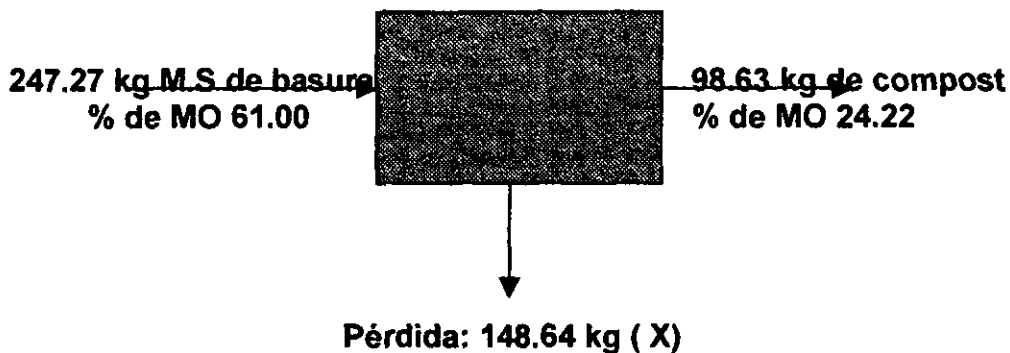
## H5. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA EN PILA E



Pérdida de materia orgánica =  $150834.7\text{g} - 20881.63\text{g} / 154.09 = 834.35\text{ g/kg}$

Pérdida de materia orgánica =  $154.09\text{g} / \text{kg} \times 834.35\text{ kg} = 128564.9\text{g} = 128.56\text{ kg}$ .

## H6. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA EN PILA F

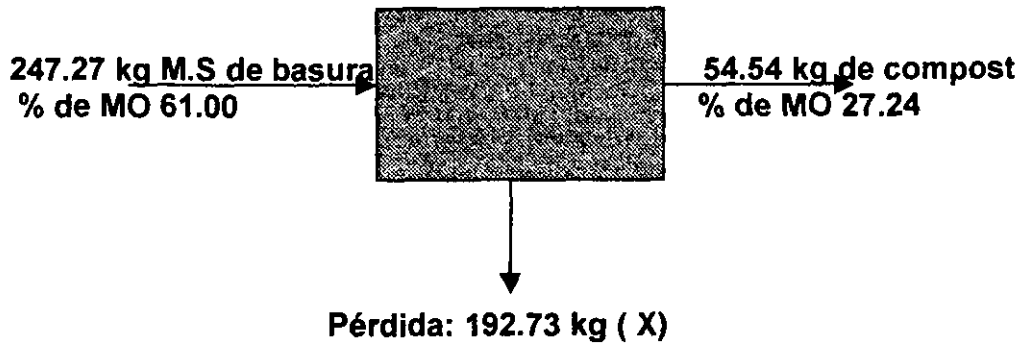


Pérdida de materia orgánica =  $150834.7\text{g} - 23888.186\text{g} / 148.64 = 854.05\text{ g/kg}$

Pérdida de materia orgánica =  $854.05\text{ g} / \text{kg} \times 148.64\text{ kg} = 126946.514\text{g} = 126.945\text{ kg}$ .



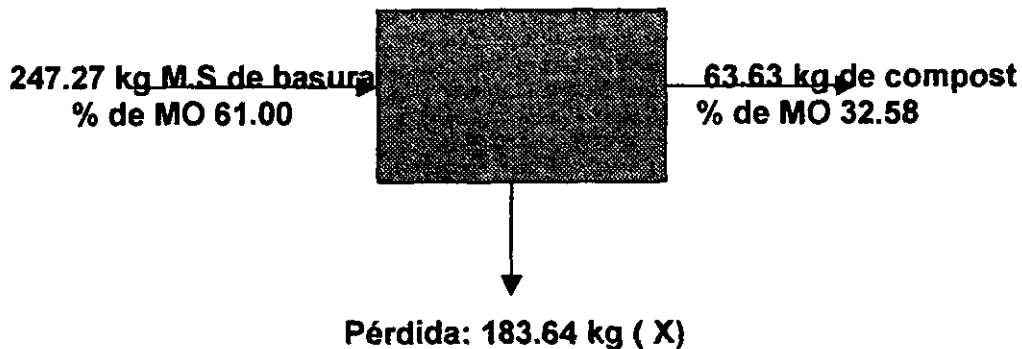
## H7. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA EN PILA G



Pérdida de materia orgánica =  $150834.7\text{g} - 14856.696\text{g} \div 192.73 = 705.536\text{g/kg}$

Pérdida de materia orgánica =  $705.536\text{g / kg} \times 192.73\text{kg} = 135978.00\text{g} = 135.978\text{kg}$ .

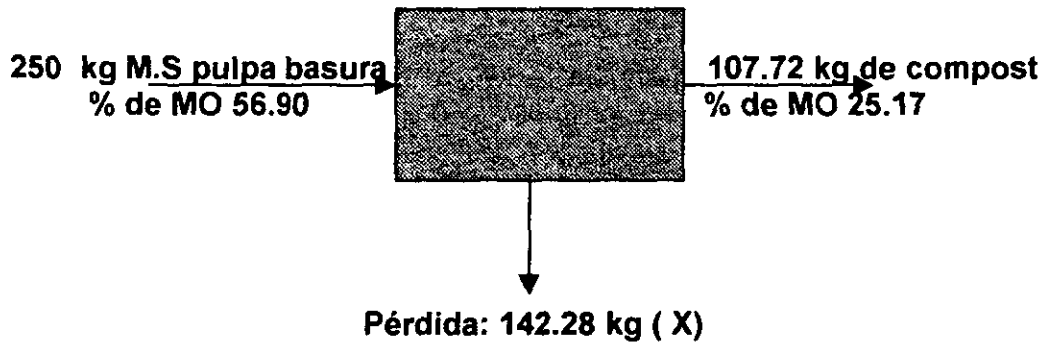
## H8. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA EN PILA H



Pérdida de materia orgánica =  $150834.7\text{g} - 20730.654\text{g} \div 183.64 = 708.473\text{g/kg}$

Pérdida de materia orgánica =  $708.473\text{g / kg} \times 183.64\text{kg} = 130103.98\text{g} = 130.103\text{kg}$ .

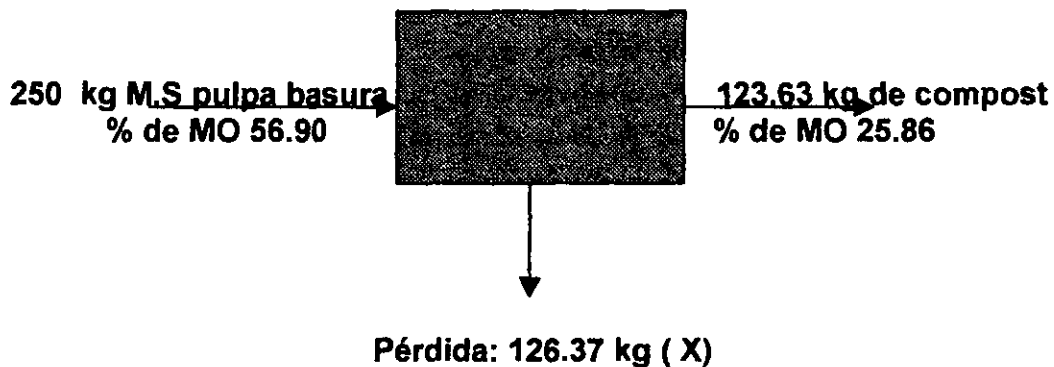
### H9. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA EN PILA I



$$\text{Pérdida de materia orgánica} = 140225.0\text{g} - 27113.124\text{g} \div 142.28 = 794.99\text{ g/kg}$$

$$\text{Pérdida de materia orgánica} = 794.99\text{ g / kg} \times 142.28\text{kg} = 113111.87\text{ g} = 113.111\text{kg.}$$

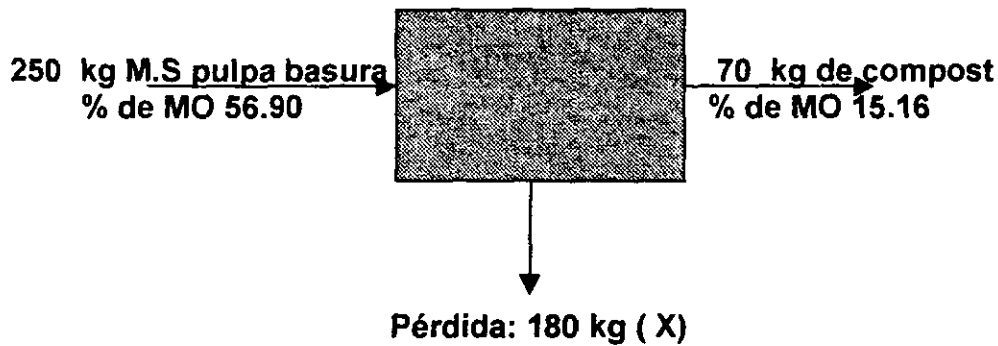
### H10. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA EN PILA J



$$\text{Pérdida de materia orgánica} = 140225.0\text{g} - 31970.718\text{g} \div 126.37 = 856.64\text{ g/kg}$$

$$\text{Pérdida de materia orgánica} = 856.64\text{ g / kg} \times 126.37\text{kg} = 108254.282\text{ g} = 108.258\text{kg.}$$

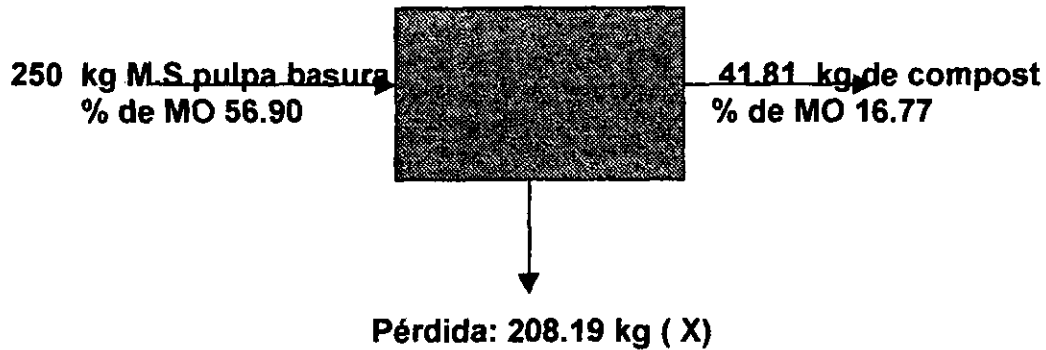
### H11. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA EN PILA K



$$\text{Pérdida de materia orgánica} = 140225.0\text{g} - 10612\text{ g} \div 180 = 720.072\text{ g/kg}$$

$$\text{Pérdida de materia orgánica} = 720.072\text{ g / kg} \times 180\text{ kg} = 129613\text{ g} = 129.613\text{ kg.}$$

### H12. PÉRDIDAS DE MATERIA ORGÁNICA EN PILA L



$$\text{Pérdida de materia orgánica} = 140225.0\text{g} - 7011.537\text{ g} \div 208.19 = 639.864\text{ g/kg}$$

$$\text{Pérdida de materia orgánica} = 639.86\text{ g / kg} \times 208.19\text{ kg} = 133213.463\text{ g} = 133.213\text{kg.}$$