

**ANÁLISIS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPOST CON CUATRO  
FUENTES DE MATERIA ORGÁNICA ANIMAL (*Bos taurus, Gallus gallus, Cavia  
porcellus, Ovis aries*) EN LA HACIENDA EL PRADO 2005.**

**JORGE ESTEBAN FLORES FLOR  
IVÁN ALEJANDRO NÚÑEZ SILVA**

**APROBADO POR LOS SEÑORES MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE  
CALIFICACIÓN DEL INFORME TÉCNICO**

**CALIFICACION**

**FECHA**

**Ing. Agr. Álvaro Yépez  
DIRECTOR INVESTIGACIÓN**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Ing. Agr. Abraham Oleas  
CODIRECTOR INVESTIGACIÓN**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**CERTIFICO QUE ESTAS CALIFICACIONES FUERON PRESENTADAS EN ESTA  
SECRETARIA**

**Dr. Marco Peñaherrera  
SECRETARIO ACADEMICO**

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS I.A.S.A.  
“GRAD. CARLOMAGNO ANDRADE PAREDES”**

**ANÁLISIS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPOST CON CUATRO  
FUENTES DE MATERIA ORGANICA ANIMAL (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia  
porcellus*, *Ovis aries*) EN LA HACIENDA EL PRADO 2005.**

**JORGE ESTEBAN FLORES FLOR  
IVÁN ALEJANDRO NÚÑEZ SILVA**

**INFORME DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TITULO  
DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**SANGOLQUÍ – ECUADOR  
2006**

**ANÁLISIS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE COMPOST CON CUATRO FUENTES DE MATERIA ORGANICA ANIMAL (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) EN LA HACIENDA EL PRADO 2005.**

**JORGE ESTEBAN FLORES FLOR  
IVÁN ALEJANDRO NÚÑEZ SILVA**

**REVISADO Y APROBADO POR**

**Crnl. ESP. Dr. Giovani Granda.  
DECANO DE LA FACULTAD**

**Ing. Agr. Alvaro Yépez  
DIRECTOR INVESTIGACION**

**Ing. Agr. Abraham Oleas  
CODIRECTOR INVESTIGACION**

**Ing. Agr. Gabriel Suarez  
BIOMETRISTA**

**CERTIFICO QUE ESTE TRABAJO FUE PRESENTADO EN ORIGINAL (ELECTROMAGNETICAMENTE) E IMPRESO EN DOS EJEMPLARES**

**Dr. Marco Peñaherrera  
SECRETARIO ACADEMICO**

## **DEDICATORIA**

A nuestros padres y hermanos:  
por su dedicación, ejemplo y constante apoyo.

Jorge e Iván

A mi novia por ese amor demostrado siempre

Iván

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros padres, hermanos, familiares y amigos, por su paciencia y apoyo incondicional.

A la ESPE, su Facultad de Ciencias Agropecuarias y su personal Docente, por los valiosas enseñanzas impartidas.

Al Director, Codirector y Biometrista del Proyecto, por sus acertadas recomendaciones para el desarrollo de esta investigación.

A la Noble Institución por las alegrías y gratos momentos que hemos compartido

## CONTENIDOS

	<b>Pág.</b>
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
A. ASPECTOS BÁSICOS DEL COMPOSTAJE	3
1. <u>Definición y Bases del Compostaje</u>	3
2. <u>Beneficios del Compost</u>	5
B. LA MATERIA ORGANICA	6
1. <u>Definición</u>	6
2. <u>Fuentes de Materia Orgánica</u>	7
3. <u>Empleo del Estiércol Animal en el Compostaje</u>	8
C. ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LA COMPOSTERA	12
1. <u>Nematodos Saprófagos</u>	14
2. <u>Hongos</u>	15
3. <u>Bacterias</u>	16
4. <u>Actinomyces</u>	18
D. EL COMPOSTAJE	19
1. <u>Compostaje Aeróbico vs. Compostaje Anaeróbico</u>	19
2. <u>Humus vs. Compost</u>	21
3. <u>Sistemas de Compostaje</u>	22
a. Sistema Abierto	22
b. Sistema Cerrado	22

4. <u>Compostaje Aeróbico</u>	23
E. MANEJO DE LA COMPOSTERA	25
1. <u>Características de los Residuos a Compostar</u>	25
a. Relación Carbono – Nitrógeno (C/N)	25
b. Estructura y Tamaño de los Residuos	26
c. Humedad	27
d. El Ph	28
e. Oxígeno	29
f. Población Microbiana	29
2. <u>Preparación del Material</u>	29
3. <u>Activadores de la Compostera</u>	30
4. <u>Riego y Control de Humedad</u>	31
5. <u>Aireación</u>	31
6. <u>Control de la Temperatura</u>	32
7. <u>Tiempo de Compostaje</u>	32
F. ETAPAS DEL COMPOSTAJE	33
1. <u>Fase Inicial</u>	33
2. <u>Fase Termofílica</u>	34
3. <u>Fase Mesofílica</u>	35
4. <u>Problemas Frecuentes en el Proceso de Elaboración de Compost</u>	36
G. CONDICIÓN IDEAL DEL COMPOST	37
H. USO DEL COMPOST	40

1. <u>Normas Básicas de Aplicación del Compost</u>	40
2. <u>Problemas en Aplicación de Compost</u>	42
III. MATERIALES Y METODOS	43
A. UBICACIÓN GEOGRAFICA	43
B. MATERIALES	43
C. MÉTODOS	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
V. CONCLUSIONES	144
VI. RECOMENDACIONES	147
VII. RESUMEN	148
VIII. SUMMARY	150
IX. ANEXOS	

## ÍNDICE DE CUADROS Y GRÁFICOS

		Pág.
TABLA 1.	Principales microorganismos identificados en muestras obtenidas durante el proceso de compostaje	13
TABLA 2.	Temperatura de desarrollo de Bacterias	17
TABLA 3.	Parámetros de Estabilidad del Compost.	40
TABLA 4.	Tratamientos en Estudio	45
TABLA 5.	Medios para Identificación de Bacterias Esporulantes.	60
FOTO 1.	Nematodo del género <i>Rhabditis</i> .	14
FOTO 2.	Composteras establecidas en campo.	50
FOTO 3.	Toma de muestras.	51
FOTO 4.	Compost Terminado.	52
FOTO 5.	Recepción de Muestras en Laboratorio.	53
FOTO 6.	Recepción y Pesaje de Muestras.	57
FOTO 7.	Frascos para la Dilución de las Muestras.	57
FOTO 8.	Dilución en Serie.	58
FOTO 9.	Recipiente con PDA.	58
FOTO 10.	AN Dispensado en Tubos de Ensayo	59
FOTO 11.	Medios para Determinación de Bacterias Esporulantes	59
FOTO 12.	Baño María.	60
FOTO 13.	Siembra del Material en Cajas Petri.	61
FOTO 14.	Incubación.	61
FOTO 15.	Colonias de Bacterias Tomadas para el Conteo.	62
FOTO 16.	Selección de Colonias.	62
FOTO 17.	Identificación de Bacterias Mediante Kit API 20E	63
FOTO 18.	Identificación de Bacterias Esporulantes.	64
FOTO 19.	Tinción Gram de las Bacterias.	64
FOTO 20.	Prueba de Oxidasa.	65
FOTO 21.	Identificación de Forma	65
FOTO 22.	Extracción de Nemátodos.	66
FOTO 23.	Conteo de Nemátodos	66
FOTO 24.	Prueba en Papel Húmedo.	68
FOTO 25.	Bandejas con el Material a Evaluar.	69
FIGURA 1.	Composteras Utilizadas en el estudio.	45
FIGURA 2.	Distribución de las composteras en campo.	46
CUADRO 1.	Análisis de Variancia Para la Relación Carbono / Nitrógeno Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ) Hacienda El Prado 2005.	70
CUADRO 2.	Promedio de la Relación Carbono / Nitrógeno Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	71

CUADRO 3.	Análisis de Variancia Para el Porcentaje de Materia Orgánica Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ) Hacienda El Prado 2005.	72
CUADRO 4.	Promedio de Porcentaje de Materia Orgánica Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	73
CUADRO 5.	Análisis de Variancia Para el pH en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	74
CUADRO 6.	Promedio de pH en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	75
CUADRO 7.	Análisis de Variancia Para Macro Elementos Presentes en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	76
CUADRO 8.	Promedio de Macro Elementos Presentes en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	77
CUADRO 9.	Análisis de Variancia Para Elementos Secundarios Presentes en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	78
CUADRO 10.	Promedio de Elementos Secundarios Presentes en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	79
CUADRO 11.	Análisis de Variancia Para Micro Elementos Presentes en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	80
CUADRO 12.	Promedio de Micro Elementos Presentes en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	81
CUADRO 13.	Análisis de Variancia Para Temperatura de Muestra Durante la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ) Hacienda El Prado 2005.	83
CUADRO 14.	Promedio de Temperatura de Muestra Durante la Fase	84

	Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	
CUADRO 15.	Análisis de Variancia Para Hongos (ufc $\cdot 10^4$ por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ) en la Hacienda El Prado 2005.	86
CUADRO 16.	Promedio de Hongos (ufc $\cdot 10^4$ por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	86
CUADRO 17.	Análisis de Variancia de Hongos (ufc $\cdot 10^4$ por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Transformación Raíz de X + 1. Hacienda El Prado 2005.	88
CUADRO 18.	Promedio de Hongos (ufc $\cdot 10^4$ por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	89
CUADRO 19.	Análisis de Variancia de Unidades Formadoras de Colonia $\cdot 10^6$ por Gramo para Bacterias Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	90
CUADRO 20.	Promedio de Bacterias (ufc $\cdot 10^4$ por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	91
CUADRO 21.	Análisis de Variancia para Bacterias Esporulantes (ufc $\cdot 10^4$ por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	92
CUADRO 22.	Promedio de Bacterias Esporulantes (ufc $\cdot 10^4$ por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	93
CUADRO 23.	Análisis de Variancia Para <i>Bacillus stearothermophilus</i> (ufc $\cdot 10^4$ por Gramo) Presente en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Transformación Raíz de X + 1. Hacienda El Prado 2005.	95
CUADRO 24.	Promedio de <i>Bacillus stearothermophilus</i> (ufc $\cdot 10^4$ por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal	95

	( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	
CUADRO 25.	Análisis de Variancia Para la Temperatura de Muestra Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ) Hacienda El Prado 2005.	96
CUADRO 26.	Promedio de la Temperatura de Muestra Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	96
CUADRO 27.	Análisis de Variancia Para Hongos (ufc *10 <sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	98
CUADRO 28.	Promedio de Hongos (ufc *10 <sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	98
CUADRO 29.	Análisis de Variancia Para los Hongos Representativos (ufc *10 <sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Transformación Raíz de X + 1. Hacienda El Prado 2005.	100
CUADRO 30.	Promedio de Hongos Representativos (ufc *10 <sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	100
CUADRO 31.	Análisis de Variancia Para Cepas de <i>Trichoderma sp.</i> (ufc *10 <sup>4</sup> por Gramo) Presente en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Transformación Raíz de X + 1. Hacienda El Prado 2005.	102
CUADRO 32.	Promedio de Cepas de <i>Trichoderma sp.</i> (ufc *10 <sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). La Hacienda El Prado 2005.	103
CUADRO 33.	Análisis de Variancia Para Bacterias Esporulantes (ufc *10 <sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	103
CUADRO 34.	Promedio de Bacterias Esporulantes en ufc * 10 <sup>4</sup> por Gramo Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal	104

	( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	
CUADRO 35.	Análisis de Variancia Para Cepas de <i>Bacillus spp.</i> (ufc *10 <sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Transformación Raíz de X + 1. Hacienda El Prado 2005.	106
CUADRO 36.	Promedio de Cepas de <i>Bacillus spp.</i> (ufc *10 <sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	106
CUADRO 37.	Análisis de Variancia Para Bacterias (ufc *10 <sup>6</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	107
CUADRO 38.	Promedio de Otras Bacterias (ufc *10 <sup>6</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	108
CUADRO 39.	Análisis de Variancia Para Actinomicetes (ufc *10 <sup>5</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	109
CUADRO 40.	Promedio de Actinomicetes (ufc *10 <sup>5</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	110
CUADRO 41.	Análisis de Variancia Para Nematodos Saprófitos Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	110
CUADRO 42.	Promedio de Nematodos Saprófitos Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	111
CUADRO 43.	Análisis de Variancia Para el pH Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	112
CUADRO 44.	Promedio de pH Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	112
CUADRO 45.	Análisis de Variancia Para el Porcentaje de Materia Orgánica	114

	Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ) Hacienda El Prado 2005.	
CUADRO 46.	Promedio de Porcentaje de Materia Orgánica Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	114
CUADRO 47.	Análisis de Variancia Para la Relación Carbono / Nitrógeno Inicial y Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ) Hacienda El Prado 2005.	115
CUADRO 48.	Promedio de la Relación Carbono / Nitrógeno Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ) Tukey al 5%.	115
CUADRO 49.	Análisis de Variancia Para Macro Elementos Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	117
CUADRO 50.	Promedio de Macro Elementos Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	117
CUADRO 51.	Análisis de Variancia Para Elementos Secundarios Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	118
CUADRO 52.	Promedio de Elementos Secundarios Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	119
CUADRO 53.	Análisis de Variancia Para Micro Elementos Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	120
CUADRO 54.	Promedio de Micro Elementos Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5% .	120
CUADRO 55.	Tiempos de Compostaje durante el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Organica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	122
CUADRO 56.	Análisis de Variancia Para los Rendimientos en Volumen en el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	124

CUADRO 57.	Promedios de Rendimientos en volumen en el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Tukey al 5%.	125
CUADRO 58.	Promedio de Hongos (ufc *10 <sup>4</sup> por Gramo) Presentes durante el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	126
CUADRO 59.	Promedio de Bacterias (ufc *10 <sup>6</sup> por Gramo) Presentes durante el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	128
CUADRO 60.	Promedio de Bacterias Esporulantes (ufc *10 <sup>4</sup> por Gramo) Durante el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	129
CUADRO 61.	Promedio de Temperatura de Muestra en el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	131
CUADRO 62.	Comparación del Promedio de Macro Elementos en la Fase Inicial y Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	132
CUADRO 63.	Comparación del Promedio de Elementos Secundarios en la Fase Inicial y Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	133
CUADRO 64.	Promedio de Micro Elementos Presentes en la Fase Inicial y Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ) Hacienda El Prado 2005.	133
CUADRO 65.	Promedio de la Relación Carbono / Nitrógeno Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ) Hacienda El Prado 2005.	136
CUADRO 66.	Promedio de pH Inicial y Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	138
CUADRO 67.	Promedio de Porcentaje de Materia Orgánica Inicial y Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal ( <i>Bos taurus</i> , <i>Gallus gallus</i> , <i>Cavia porcellus</i> , <i>Ovis aries</i> ). Hacienda El Prado 2005.	138
CUADRO 68.	Porcentajes de Germinación de Semillas (Girasol, Larkspur, Lechuga, Brócoli) Utilizando los Diferentes Compost obtenidos durante el Proceso mas la Utilización de Turba	140

	Comercial y Papel Húmedo.	
CUADRO 69.	Beneficio Bruto, Costos Variables y Beneficio Neto de cada uno de los Tratamientos en Estudio.	142
CUADRO 70.	Análisis de Dominancia de los Tratamientos en Estudio.	142
CUADRO 71.	Análisis Marginal de los Tratamientos No Dominados.	142
CUADRO 72.	Beneficio Bruto, Costos Variables y Beneficio Neto de cada uno de los Tratamientos en Estudio (Sin costo de los estiércoles).	143
CUADRO 73.	Análisis Marginal de los Tratamientos No Dominados (Sin costo de los estiércoles).	143
CUADRO 74.	Análisis Marginal de los Tratamientos No Dominados (Sin costo de los estiércoles).	143
GRÁFICO 1.	Relación Carbono/ Nitrógeno Inicial de los Materiales Sometidos al Proceso de Compostaje.	71
GRÁFICO 2.	Porcentaje Inicial de Materia Orgánica de los Materiales Sometidos al Proceso de Elaboración de Compost.	73
GRÁFICO 3.	pH Inicial de los Materiales Sometidos al Proceso de Compostaje.	75
GRÁFICO 4.	Contenido Inicial de Nutrientes Expresados en Porcentaje de los Materiales Sometidos al Proceso de Compostaje.	81
GRÁFICO 5.	Contenido Inicial de Nutrientes Expresados en ppm de los Materiales Sometidos al Proceso de Compostaje.	82
GRÁFICO 6.	Temperatura de Muestra de los Materiales Sometidos al Proceso de Elaboración de Compost Durante la Fase Termofílica.	85
GRÁFICO 7.	Población de Hongos de los Materiales Sometidos al Proceso de Compostaje Expresado en $ufc * 10^4$ por Gramo Durante la Fase Termofílica.	87
GRÁFICO 8.	Conteo de $ufc * 10^4$ por Gramo para Hongos Representativos de la Fase Termofílica del Proceso de Compostaje en los Tratamientos en Estudio.	89
GRÁFICO 9.	Población Bacteriana Expresada en $ufc * 10^6$ por Gramo Dentro de los Materiales Sometidos al Proceso de Compostaje.	91
GRÁFICO 10.	Población de Bacterias Esporulantes ( $ufc * 10^4$ por Gramo) Encontradas Dentro de los Diferentes Tratamientos Sometidos a Análisis Durante el Proceso de Elaboración de Compost.	94
GRÁFICO 11.	Promedio de Temperatura de las Muestras Finales de los Tratamientos Sometidos al Proceso de Compostaje.	97
GRÁFICO 12.	Población Final de Hongos ( $ufc * 10^4$ por Gramo) de los Tratamientos Sometidos a Análisis Durante el Proceso de Elaboración de Compost.	99
GRÁFICO 13.	Hongos Representativos ( $ufc * 10^4$ por Gramo) en la Fase Final del Proceso de Compostaje.	101
GRÁFICO 14.	Población de Bacterias Esporulantes ( $ufc * 10^4$ por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración del Compost.	105
GRÁFICO 15.	Población de Bacterias ( $ufc * 10^6$ por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración del Compost.	108

GRÁFICO 16.	pH Final de los Tratamientos Sometidos al Proceso de Elaboración de Compost.	113
GRÁFICO 17.	Relación C/N Final de los Tratamientos Analizados Durante el Proceso de Elaboración de Compost.	116
GRÁFICO 18.	Contenido Final de Nutrientes en Porcentaje de los tratamientos en Estudio Dentro del Proceso de Elaboración de Compost.	121
GRÁFICO 19.	Contenido Final de Nutrientes en ppm de los Tratamientos en Estudio Dentro del Proceso de Elaboración de Compost.	121
GRÁFICO 20.	Días de Compostaje Para los Tratamientos Sometidos al Análisis.	123
GRÁFICO 21.	Promedio de Rendimiento del los Tratamientos Sometidos al Proceso de Elaboración de Compost.	125
GRÁFICO 22.	Comparación de Poblaciones de Hongos (ufc * 10 <sup>4</sup> por Gramo) Durante las Diferentes Etapas del Proceso de Elaboración de Compost.	127
GRÁFICO 23.	Comparación de Poblaciones de Bacterias (ufc * 10 <sup>6</sup> por Gramo) Durante las Diferentes Etapas del Proceso de Elaboración de Compost.	128
GRÁFICO 24.	Comparación de Poblaciones de Bacterias Esporulantes (ufc * 10 <sup>4</sup> por Gramo) Durante las Diferentes Etapas del Proceso de Elaboración de Compost.	130
GRÁFICO 25.	Promedio de la Temperatura de Muestra de los Tratamientos sometidos al Proceso de Elaboración de Compost.	131
GRÁFICO 26.	Comparación del Contenido de Nutrientes (%) de los Diferentes Tratamientos Sometidos al Proceso de Elaboración de Compost.	134
GRÁFICO 27.	Comparación del Contenido de Nutrientes (ppm) de los Diferentes Tratamientos Sometidos al Proceso de Elaboración de Compost.	135
GRÁFICO 28.	Comparación del Promedio de la Relación C/N Inicial y Final de los Tratamientos en estudio Dentro del Análisis del Proceso de Elaboración de Compost.	136
GRÁFICO 29.	Comparación del Promedio de pH Inicial y Final de los Tratamientos en estudio Dentro del Análisis del Proceso de Elaboración de Compost.	137
GRÁFICO 30.	Comparación del Promedio del Contenido de Materia Orgánica Inicial y Final de los Tratamientos en estudio Dentro del Análisis del Proceso de Elaboración de Compost.	139
GRÁFICO 31.	Porcentajes de Germinación de Semillas de Girasol, Larkspur, Lechuga y Brócoli en el Material Procedente del Análisis del Proceso de Elaboración de Compost, Turba Comercial y Papel Húmedo.	141

## I. INTRODUCCIÓN

La degradación acelerada de los suelos es un desequilibrio natural que se ha venido produciendo en las últimas décadas por efecto de su uso inadecuado y en detrimento de la producción de alimentos. El manejo ecológico de este recurso constituye el punto de partida para poder desarrollar una agricultura sustentable (Suquilanda, 1995).

“A pesar de sus diversas contribuciones agronómicas, el uso intensivo de abonos orgánicos es limitado. En comparación con los fertilizantes químicos, poseen bajo contenido de nutrientes y los costos de colección, transporte y aplicación son relativamente altos” (Pumisacho, 2002).

Una parte importante del manejo sustentable del suelo es saber restituirle lo que los cultivos extraen de él a lo largo de cada ciclo, por medio de la aplicación de abonos orgánicos, que pueden provenir de diversas fuentes, tanto vegetales como animales, que para que su potencial sea aprovechable al máximo tienen que ser sometidos a un proceso de descomposición.

La presencia y actividad de los microorganismos en el proceso de descomposición de materia orgánica es indispensable para la obtención de un producto final de calidad para fines agrícolas. La cantidad y calidad de los materiales orgánicos utilizados, así como también la manera en que el proceso de compostaje es manejado, influye decisivamente en la actividad microbiana en la pila de compost.

El estiércol de animales, junto con desechos vegetales, es un material que provee a los microorganismos elementos indispensables para su metabolismo y como resultado del mismo, el producto final, al ser incorporado al suelo, contiene nutrientes que las plantas aprovechan.

Las diferencias que existen entre la composición del estiércol de un animal con respecto al de otro pueden hacer que las poblaciones y actividad de los

microorganismos que actúan en su descomposición sean diferentes, lo cual influye en la calidad del material final (compost).

“Se han realizado innumerables ensayos en los países andinos para comparar los diferentes rendimientos con abono orgánico y mineral, pero pocos experimentos han sido diseñados de una forma que permita sacar conclusiones claras” (Benzing, 2001). Esto se debe probablemente a que los procesos de aprovechamiento de abonos orgánicos son diferentes al de los abonos minerales. Los primeros requieren más tiempo para su aprovechamiento que los segundos y por tanto no es posible compararlos.

Según Pumisacho (2002), antes que los nutrientes de los abonos orgánicos queden disponibles para las plantas necesitan pasar por un proceso de mineralización. Este proceso se da por la descomposición mediante microorganismos. Señala también que la fermentación y elevación de la temperatura por acción de bacterias, hongos y otros organismos producen compuestos inorgánicos de los nutrientes, siendo el humus la forma más estable.

El compost es uno de los diferentes tipos de abono orgánico que resulta de la descomposición de residuos de origen animal y vegetal, proceso en el cual se suceden algunas etapas que se encuentra descritas por Benzing (2001).

Con la presente investigación se pretende identificar la clase y cantidad de microorganismos que actúan en cada fase del proceso de compostaje, dependiendo del tipo de estiércol que se utilice en él y, además la calidad final del compost desde el punto de vista agrícola.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### A. ASPECTOS BÁSICOS DEL COMPOSTAJE

##### 1. Definición y Bases del Compostaje

El compostaje, ha sido empleado por los agricultores desde hace siglos, como un medio de aporte complementario de suplementos orgánicos; el compostaje es tan viejo como el mundo, aunque está siendo redescubierto y potenciado con nuevos aportes biotecnológicos (Labrador, 1996).

Se utiliza el término descomposición, en vez de estabilización, porque no siempre se puede asegurar que la estabilización de la materia orgánica sea total. La llamamos biológica, y mejor dicho, microbiológica, para diferenciarla de otros procesos de descomposición física o química. Se habla de condiciones controladas, sobretodo de temperatura, humedad y contenido de oxígeno, para diferenciarla de la putrefacción incontrolada que tiene lugar en los vertederos. Se define como aerobia, porque es necesario el aporte de oxígeno para conseguir temperaturas más altas, acelerar el proceso, eliminar olores y la mayoría de agentes patógenos, parásitos o molestos, como semillas indeseables, y para diferenciarla de la descomposición anaerobia, sin oxígeno, cuyo proceso es más lento y se lleva a cabo, principalmente, para la obtención de metano (Internet1).

El compost es un material al que se llega por biotecnologías de bajo costo, que nos permite mantener la materia orgánica dentro del ciclo natural, no incinerándola ni "ensilándola", con difícil y cara recuperación, como sería el caso de los rellenos sanitarios. En última instancia, el compost podemos considerarlo como un bien "ambiental - social".

**El compost es uno de los diferentes tipos de abono orgánico que resulta de la descomposición de residuos de origen**

animal y vegetal, proceso en el cual se suceden algunas etapas que se encuentra descritas por Benzing (2001).

J.I. Rodale, en su obra “The Complete Book of Composting” (1973), señala que existen dos condiciones básicas para el compostaje: la materia orgánica y las condiciones adecuadas para su descomposición. Señala también que el grado de descomposición se verá en función de la apariencia fibrosa de los materiales, siendo el producto final del proceso el humus. Por lo tanto se puede definir al compostaje como el proceso de elaboración de humus, partiendo de la materia orgánica en bruto. Donde, el compost es la mezcla semi descompuesta de los materiales orgánicos apilados en la compostera.

Por su parte, Roger Haug (1993) en su libro “The Practical Handbook of Compost Engineering” define al compostaje como: “la descomposición y estabilización biológica de sustratos orgánicos, bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termofílicas como resultado de calor producido biológicamente, para obtener un producto final estable, libre de patógenos y semillas de plantas, el cual puede ser aplicado de manera benéfica a la tierra”.

Haug (1993) a su vez resalta la importancia de la elevada temperatura en las etapas iniciales del proceso como un mecanismo de eliminación de organismos patógenos del producto final.

Rodale (1973), aclara que este proceso está en manos del hombre, y por tanto se encuentra en sus manos transformar el material de desecho en un valioso recurso para el suelo. Por tal razón, para obtener un compost de alta calidad es importante valerse de todo material que aporte cantidades adecuadas de

**nutrientes. Por tal motivo se puede señalar al ser humano como el responsable de un proceso exitoso.**

## **2. Beneficios del Compost**

Lo que sucede dentro de la compostera puede ser descrito como un misterio, éste se presenta como la riqueza concentrada del suelo. Procesos como la quelatación, se dan en la compostera por la presencia de la materia orgánica. Por lo tanto, sin la materia orgánica la producción de quelatos se vería frenada y los micro elementos no se encontrarían disponibles (Rodale, 1973).

Este autor atribuye al compost beneficios como la mejora de la estructura y textura del suelo, al mismo tiempo que mejora la retención de humedad y previene posibles efectos de la erosión a través de su aplicación. Rodale señala como principales beneficios del uso de materia orgánica en el suelo los siguientes:

- Aumento de la superficie activa del suelo.
- Estabilización de la temperatura del suelo durante todo el año.
- Disminución de la lixiviación de nutrientes solubles por retención de los mismos.
- Mejor desarrollo de la planta por un mayor aprovechamiento del agua y el aumento de la disponibilidad de nutrientes para la planta.
- Provisión de sustancias promotoras de crecimiento como vitaminas y minerales además de antibióticos por lo cual un suelo con mayor materia orgánica es un suelo más sano.

Algunas ventajas adicionales del abono orgánico que Pumisacho (2002), menciona son las siguientes:

- Aumento de la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo.

- Aumento de la materia orgánica, que ayuda a la capacidad amortiguadora de los suelos, atenuando los cambios químicos y biológicos.
- Formación y estabilización de agregados del suelo.
- Retención de agua.
- Incremento de las poblaciones de macro y microorganismos
- Protección de la erosión del suelo .

Haug (1993) anota otras características beneficiosas a la materia orgánica:

- Empleo como fuente de materia orgánica para el mantenimiento y elaboración de humus del suelo.
- Mejora del crecimiento y vigor de los cultivos.
- Un compost estable puede reducir los patógenos del suelo y mejorar la resistencia a enfermedades de la planta.

Por último, Haug (1993) señala que si bien el contenido de nutrientes es mínimo, al usar el compost como acondicionador del suelo va a mejorar la disponibilidad de los nutrientes aplicados al cultivo al ser usado como complemento.

## **B. LA MATERIA ORGÁNICA**

### **1. Definición**

El significado de materia orgánica se aplica tanto a productos de origen animal o vegetal, vivos o muertos, los cuales contienen gran cantidad de bacterias, hongos, levaduras, protozoos y otros microorganismos que se encargan de la descomposición del material inicial. Es decir, que materia orgánica es todo material que contiene tejidos vivos o proviene de estos (Rodale, 1973).

En cuanto a su origen, este autor menciona que es probable que la primera materia orgánica fuera producida por bacterias que se especializaron de manera que tomaran del medio minerales como el azufre y carbono del dióxido de carbono del

ambiente para convertirlos en compuestos orgánicos. En la actualidad, la elaboración de materia orgánica corre a cargo de las plantas, mientras que, los animales dependen de estas para obtener este material que les proporciona energía.

Señala también que dentro del suelo, bacterias, hongos, lombrices y toda la flora y fauna del mismo dependen de la materia orgánica como fuente de energía, y por tanto un suelo sin materia orgánica se convertiría en un suelo estéril y sin vida.

## **2. Fuentes de Materia Orgánica**

Es importante tomar en cuenta el tipo de materia orgánica a ser empleada en el proceso. Esta debe utilizarse de manera que se equilibre la relación C/N inicial entre 80 y 100, sin olvidar que es esencial el uso de materiales que enriquezcan el compost.

Para la elaboración del compost se puede emplear cualquier materia orgánica, con la condición de que no se encuentre contaminada. Generalmente estas materias primas proceden de (Internet 2):

- Restos de cosechas: Pueden emplearse para hacer compost o como acolchado. Los restos vegetales jóvenes como hojas, frutos, tubérculos, etc. son ricos en nitrógeno y pobres en carbono. Los restos vegetales más adultos como troncos, ramas, tallos, etc. son menos ricos en nitrógeno.
- Abonos verdes, siegas de césped, malas hierbas, etc.
- Las ramas de poda de los frutales: Es preciso triturarlas antes de su incorporación al compost, ya que con trozos grandes el tiempo de descomposición se alarga.
- Hojas: Pueden tardar de 6 meses a dos años en descomponerse, por lo que se recomienda mezclarlas en pequeñas cantidades con otros materiales.

- Restos urbanos: Se refiere a todos aquellos restos orgánicos procedentes de las cocinas como pueden ser restos de fruta y hortalizas, restos de animales de mataderos, etc.
- Estiércol animal: Destaca el estiércol de vaca, aunque otros de gran interés son la gallinaza, conejina, estiércol de caballo, de oveja y los purines.
- Complementos minerales: Son necesarios para corregir las carencias de ciertas tierras. Destacan las enmiendas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales, las rocas ricas en potasio y oligoelementos y las rocas silíceas trituradas en polvo.
- Plantas marinas: Anualmente se recogen en las playas grandes cantidades de fanerógamas marinas como *Posidonia oceánica*, que pueden emplearse como materia prima para la fabricación de compost ya que son compuestos ricos en N, P, C, oligoelementos y bio compuestos cuyo aprovechamiento en agricultura como fertilizante verde puede ser de gran interés.
- Algas: También pueden emplearse numerosas especies de algas marinas, ricas en agentes antibacterianos y antifúngicos y fertilizantes para la fabricación de compost.

Según Haug (1993) es muy importante tomar en cuenta la degradabilidad de los sustratos a ser empleados. Esta dependerá de la presencia de polisacáridos estructurales. De esta manera, un material leñoso, que en su estructura posee mayor cantidad de lignina, será menos degradable que un material más rico en celulosa y hemicelulosa como la hierba.

Rodale(1973) por su parte señala que salvo contadas excepciones, todo material orgánico es un candidato potencial a ser sometido al compostaje. De esta manera, todo material de origen animal, vegetal e inclusive mineral puede ser devuelto al suelo en forma de compost.

Cabe destacar también que la adición de Materia Orgánica vegetal favorece el desarrollo de polisacáridos como subproducto de la actividad metabólica

de los microorganismos del suelo. Estos polisacáridos son esenciales en la formación de agregados del suelo (Rodale, 1973).

### **3. Empleo del Estiércol Animal en el Compostaje**

El estiércol es un conjunto de materiales no digeridos, combinados con jugos del tracto digestivo y una población bacteriana de considerable magnitud. Se debe a esta población bacteriana más que al contenido de nutrientes que el estiércol sea valioso para la compostera (Rodale, 1973).

Según Labrador (1994), este es un abono compuesto de naturaleza órgano-mineral, con un bajo contenido en elementos minerales. Su nitrógeno se encuentra casi exclusivamente en forma orgánica y el fósforo y el potasio al 50 % en forma orgánica y mineral. Su composición varía entre límites muy amplios, dependiendo de la especie animal, la naturaleza de la cama, la alimentación recibida, la elaboración y manejo del montón, etc. Como término medio, un estiércol con un 20 - 25 % de materia seca contiene  $4 \text{ kg.t}^{-1}$  de nitrógeno,  $2,5 \text{ kg.t}^{-1}$  de anhídrido fosfórico y  $5,5 \text{ kg.t}^{-1}$  de óxido de potasio. En lo que se refiere a otros elementos, contiene por tonelada métrica 0,5 kg de azufre, 2 kg de magnesio, 5 kg de calcio, 30 - 50 g de manganeso, 4 g de boro y 2 g de cobre. El estiércol de caballo es más rico que el de oveja, el de cerdo y el de vaca. El de aves de corral o gallinaza es, con mucho, el más concentrado y rico en elementos nutritivos, principalmente nitrógeno y fósforo.

La aplicación de estiércoles y purines es una práctica tradicional de abonado orgánico. Al incorporar residuos orgánicos frescos o en proceso incipiente de biodegradación al suelo, el orden natural, conlleva a que se cumplan los procesos de mineralización. Es frecuente, que para que esta serie de procesos se cumplan, exista un alto consumo de oxígeno e inclusive si los materiales aportados no tienen una buena relación carbono / nitrógeno se agoten inicialmente las reservas de nitrógeno del suelo. En algunos casos, se terminan favoreciendo los procesos anaerobios, con la consiguiente acidificación, movilización y pérdidas de nutrientes (Internet 1).

Parece entonces razonable, que para aprovechar el potencial que los desechos orgánicos tienen como abonos, estos deben pasar por un proceso previo antes de su integración al suelo, de forma tal que, el material que definitivamente se aporte, haya sido sometido a los procesos más enérgicos de la mineralización, se presente desde el punto de vista de la biodegradación de la forma más estable posible, y con los macro y micro nutrientes en las formas más asimilables posibles para los productores primarios. Una de las técnicas que permite esta biodegradación controlada de la materia orgánica previa a su integración al suelo es el *compostaje* y el producto final es conocido como *compost*.

El estiércol animal ha sido desde siempre uno de los elementos básicos dentro del compostaje. Es conocido que el material más rico en nitrógeno es la gallinaza seguido por el estiércol porcino y en tercer lugar el de las demás especies (Rodale, 1973).

La gallinaza fresca es muy agresiva a causa de su elevada concentración en nitrógeno y para mejorar el producto conviene que se composte en montones (al igual que la palomina). Con más razón se compostará si procede de granjas intensivas, mezclándose con otros materiales orgánicos que equilibren la mezcla, enriqueciéndolo si fuera necesario con fósforo y potasio naturales (Labrador, 1994).

Benzing (2001), cita que comparando el estiércol con otros materiales orgánicos, como por ejemplo paja o material vegetal verde, la composición bioquímica del primero lleva a la formación de sustancias húmicas más estables, con más grupos funcionales y de mayor peso molecular; características favorecidas por un tratamiento aeróbico.

Rodale (1973) añade además que se ha calculado que un buen manejo del estiércol puede retornar al suelo un 70% del nitrógeno, 75% del fósforo y el 80% del potasio que han sido tomados por las plantas para su desarrollo. Esta es una cantidad considerable debido a que una vaca produce 12 toneladas de estiércol al año. Sin embargo, el aprovechamiento de este desecho es mínimo por cuanto gran parte de este material se pierde por mal manejo.

De esta manera, según el mismo autor en algunas granjas, el estiércol es manejado de tan mala manera que existe una gran pérdida de nitrógeno por desecamiento, una fermentación inadecuada y la lixiviación de la orina producida por los animales. La orina contiene aproximadamente dos tercios del total de nitrógeno, y cuatro quintos del total de potasio contenido en el desecho de los animales.

Además el autor establece que al asumir que el estiércol es un compuesto de heces y orina animales obtenidos bajo condiciones controladas, el estiércol fresco difiere del estiércol podrido en su composición de la siguiente manera:

- El estiércol podrido es más rico en nutrientes debido a la pérdida de peso por desecamiento lo cual puede corresponder a la mitad del volumen inicial.
- El nitrógeno en el material descompuesto ha sido fijado por microorganismos mientras el nitrógeno en el estiércol fresco es mayormente soluble.
- La solubilidad del fósforo y el potasio es mayor en el estiércol descompuesto. Si se previene la lixiviación no existirá cambios en la composición inicial en cuanto al fósforo y el potasio.

Las condiciones que afectan la fermentación u otro tipo de descomposición del estiércol son la temperatura, el grado de compactación del material, humedad y el grado de descomposición de mismo estiércol. Para esto es fundamental impedir que el material se deseque ya que bajo estas condiciones el estiércol pierde gran cantidad de nitrógeno y parte de la materia orgánica que retorna a la atmósfera como dióxido de carbono (Rodale, 1973).

Dentro del proceso de descomposición de la materia orgánica, Rodale señala que existe una serie de procesos dentro de la compostera:

- Descomposición del nitrógeno de la orina, esto se da por la formación del amonio, lo cual se previene manteniendo el estiércol húmedo y compacto.
- Descomposición del nitrógeno insoluble el cual se encuentra dentro de la parte sólida del estiércol, este empieza su cambio transformándose en amonio.
- Transformación del nitrógeno soluble en insoluble, el amonio es asimilado por las bacterias como alimento y conservado dentro de su

organismo en forma insoluble, este se torna disponible después de la muerte de la bacteria.

- Formación de nitrógeno libre, bajo ciertas condiciones el amonio y los nitratos son descompuestos para formar nitrógeno libre que se dirige a la atmósfera y se pierde.
- Descomposición de compuestos sin nitrógeno. La parte fibrosa del estiércol (en su mayor parte carbohidratos estructurales) se rompen con la pérdida de carbono a la atmósfera en forma de dióxido de carbono, hidrógeno a manera de agua. Estos elementos se pierden entre 1/4 hasta la mitad del contenido original del estiércol.

Por último, Rodale (1973) señala que el estiércol puede ser manejado de diversas formas, sin embargo el compostaje es una de las mejores formas de aprovecharlo ya que este puede acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica en la compostera.

### **C. ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LA COMPOSTERA**

Las bacterias y hongos, descomponen los azúcares, polisacáridos y proteínas presentes en la materia orgánica. Por otro lado, también asimilan nutrientes minerales, tales como nitrógeno y fósforo y lo incorporan a sus propios tejidos. Cuando estos organismos mueren, liberan nutrientes minerales, como amonio, nitrato, fosfatos y sulfatos. Esto se conoce como mineralización. Una gran parte de la mineralización ocurre cuando varios miembros de la fauna del suelo se alimentan de hongos y bacterias muertas. Una gran parte de la actividad de la flora y de la fauna ocurren en los primeros centímetros del perfil del suelo. La típica capa arable de 15 cm, pesa aproximadamente 2000 toneladas por hectárea y contiene aproximadamente 8 toneladas de flora (4 toneladas de bacterias e igual cantidad de hongos) y cerca de 2 toneladas de todo tipo de fauna (Internet 1).

La misma fuente añade que con el desarrollo de la microbiología y fundamentalmente a partir de los trabajos de Sergius Winogradsky (1856-1953) y Martinus Willem Beijerinck (1851-1931) fue posible establecer el papel fundamental que desempeñan los microorganismos como agentes geoquímicos, en

los ciclos biológicamente importantes de transformación de la materia en la biosfera. Estos conocimientos, permitieron abordar la práctica tradicional del compostaje con una base científica, instrumentando procedimientos y técnicas que permiten mayoritariamente el control del proceso en su conjunto.

**Además se agrega que la estabilización de la materia orgánica se consigue por la oxidación de las moléculas complejas, que se transforman en otras más sencillas y estables. En este proceso se desarrolla calor que, al elevar la temperatura de la masa, produce la esterilización de ésta y la eliminación de agentes patógenos y semillas indeseables.**

En cuanto a los microorganismos que actúan dentro de la compostera, según Benzing (2001), la población microbiana crece en forma explosiva después de la formación de una compostera.

No obstante la composición de la población microbiana puede variar de acuerdo a los materiales utilizados y las condiciones ambientales (Tuomela *et al.* 2000, citados por Benzing, 2001).

En la Tabla 1 se muestran los principales microorganismos identificados en muestras ambientales obtenidas durante el proceso de compostaje de residuos. Entre todos estos microorganismos, hay que destacar *Aspergillus fumigatus*, hongo patógeno oportunista, considerado como un importante factor de riesgo para la salud, asociado al desarrollo de asma, alveolitis y diversas infecciones, que se ha detectado en la totalidad de estudios realizados en plantas de compostaje en concentraciones superiores a  $10^5$  ufc/m<sup>3</sup> (Internet 3).

**Tabla 1 Principales microorganismos identificados en muestras obtenidas durante el proceso de compostaje**

<b>Bacterias</b>	<b>Hongos</b>	<b>Actinomicetos</b>
<i>Acinetobacter</i>	<i>Acremonium</i>	<i>Actinomyces</i>
<i>Enterobacter</i>	<i>Alternaria</i>	<i>Nocardia</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Thermoactinomyces</i>
<i>Klebsiella</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Thermomonospora</i>

<i>Pseudomonas</i>	<i>Cladosporium</i>	
<i>Salmonella</i>	<i>Fusarium</i>	
<i>Serratia</i>	<i>Geotrichum</i>	
<i>Shigella</i>	<i>Mucor</i>	
<i>Staphylococcus</i>	<i>Penicillium</i>	
<i>Streptococcus</i>	<i>Rhizopus</i>	
<i>Yersinia</i>	<i>Stachybotrys</i>	

Fuente: Internet 3

Según Benzing (2001), mientras el contenido de proteínas, azúcares, o hemicelulosa se reduce rápidamente a una tercera parte o menos, la descomposición de grasas, ceras, celulosa, lignina, o sustancias húmicas es mucho más lenta. Normalmente se produce un incremento de los ácidos húmicos en el compostaje.

### 1. Nematodos Saprófitos

Dentro del ecosistema de la compostera los nematodos saprófagos cumplen un rol importante en la descomposición del material inicial para transformarlo en sustancias más simples asimilables por hongos, bacterias y actinomicetes.

En este grupo destaca el género *Rhabditis*. Este género es considerado depredador por alimentarse de bacterias y hongos fitopatógenos. Su importancia agronómica se extiende a su capacidad para degradar materia orgánica, es un género de vida libre y su mayoría de especies son de tamaño pequeño (Cepeda, 1996).

Este autor señala que este género se puede considerar de importancia para el control biológico. Se caracteriza por tener una cavidad bucal a manera de tubo muy visible al microscopio. Este género se alimenta de varios hongos y bacterias de los que toma sus nutrientes básicos. Ataca muy poco a los vegetales al ser un parásito de fitopatógenos, por ende tiene un amplio rango de hospederos vegetales sin causarles daño.



Foto 1. Nematodo del género *Rhabditis*.

## 2. Hongos

Muchos viven exclusivamente sobre la materia orgánica en descomposición y son incapaces de infectar otros organismos vivos, estos se denominan *saprófitos obligados*. Otros pueden vivir sobre la materia orgánica en descomposición o bien ser parásitos y se denominan *parásitos o saprófitos facultativos*. Un tercer subgrupo sólo pueden vivir a expensas de otro ser vivo, denominados *parásitos obligados*, finalmente otros mantienen una relación de simbiosis como es el caso de los líquenes (alga-hongo) (Internet 1).

En relación con la temperatura, la gran mayoría crecen entre los 0 a 35° C con un óptimo entre los 20 y 30°C. En el compost los hongos son importantes porque degradan los desechos resistentes, permitiendo a las bacterias continuar el proceso de descomposición una vez que la mayoría de la celulosa ha sido degradada. Se separan y crecen produciendo muchas células y filamentos, y pueden atacar los residuos orgánicos que son demasiado secos, ácidos o tiene bajo contenido de nitrógeno para la descomposición bacteriana (Rodale,1973).

Haug (1993) cita que la gran mayoría de hongos son saprofitos, descomponen materia orgánica en el suelo y en medios acuáticos. Están ubicados en la naturaleza y son responsables de la destrucción de mucha materia orgánica en la tierra, y una larga actividad benéfica que es parte del reciclaje natural.

Alexander (1994) menciona que la nutrición de los hongos es heterótrofa y ni la luz solar ni la oxidación de sustancias inorgánicas proporcionan a estos microorganismos la energía necesaria para su crecimiento; en consecuencia, la distribución de los hongos está determinada por la disponibilidad de sustratos carbonados oxidables, es decir, el número de hongos varía directamente con el contenido de materia orgánica utilizable; sin embargo este grupo microbiano se encuentra aun en áreas con bajo nivel de materia orgánica.

Según Haug (1993) los hongos pueden ser divididos en mohos y levaduras. Los mohos son aeróbicos, mientras que las levaduras pueden ser aeróbicas o anaeróbicas.

Kane y Mullins citados por Haug (1993) concluyen que altas temperaturas, acidificación y condiciones anaeróbicas pueden limitar el crecimiento del hongo en el interior de la pila de compost y restringir el rol de los hongos termofílicos.

Los hongos termófilos se multiplican a 50° C y a veces a 55° C pero no a 65° C y no se encuentran en abonos que alcanzan altas temperaturas. Entre los termófilos terrestres se encuentran especies de *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Humicola*, *Mucor* y muchos otros géneros.

### 3. **Bacterias**

Las bacterias son los organismos vivos más pequeños y los más numerosos en el proceso de compostaje, de manera que constituyen del 80% al 90% de los microorganismos existentes en un gramo de compost. Son responsables de la mayoría de los procesos de descomposición así como de la producción de energía calorífica en el compost. Se trata de un grupo de gran diversidad metabólica, usando un amplio rango de enzimas que degradan químicamente una gran variedad de materiales orgánicos (Internet 1).

Son organismos unicelulares que usualmente forman asociaciones entre varias células. Se multiplican generalmente por división simple. Esto favorece su desarrollo y multiplicación en diversos sustratos (Haug,1993).

Martínez (2001), explica que bacterias pertenecientes a los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus* han sido estudiados como promisorios en procesos de control biológico, solubilización del fósforo y degradación de materiales orgánicos. Otros como *Azotobacter* o *Azospirillum*, considerados como importantes en el ciclo del Nitrógeno en el suelo, son estudiados también por la gran cantidad de sustancias activadoras del crecimiento vegetal que poseen.

Una característica importante de las bacterias citada por Haug (1993) es la capacidad de algunos géneros para producir formas dormantes de células resistentes al calor, radiación y desinfección química denominadas endosporas. Una endospora es una estructura de pared celular gruesa formada en torno a una unidad bacteriana. Dentro de este grupo se encuentran géneros de importancia agronómica como *Bacillus*

Los diferentes géneros de bacterias presentan mayor o menor resistencia a diferentes rangos de temperatura, en función de esto se tienen los siguientes grupos (Internet 1):

- TERMÓFILOS: Algas verde azuladas, Bacterias formadoras de endosporas (*Bacillus stearothermophilus*) actinomycetes (Thermoactinomices).
- MESÓFILOS: Gran mayoría de microorganismos. euactinomicetos (*Streptomyces*, *Macromonospora*) bacterias Metanogénicas (*Metanobacterium*, *Methanococcus* , *Metanosarcina*) bacterias del ácido láctico esporulantes anaeróbicos (*Clostridium*)

**Tabla 2. Temperatura de desarrollo de Bacterias**

Temperatura °C
----------------

GRUPO	Mínimo	Optimo	Máximo
TERMOFILOS	40-45	55-75	60-80
MESOFILOS	10-15	30-45	35-47
PSICROFILOS			
Obligados	(-5)-(+5)	15-18	19-22
Facultativos	(-5)-(+5)	25-30	30-35

Fuente: Internet 1

#### 4. Actinomycetes

Dentro de las bacterias se encuentran los actinomycetes, organismos unicelulares de cuerpo ramificado. Estos microorganismos son considerados eficientes en la descomposición de la materia orgánica y en la producción de sustancias antibióticas que favorecen el crecimiento y protección de las plantas (Martínez, 2001).

Los actinomycetes son numerosos y están ampliamente distribuidos, no sólo en el suelo sino en una variedad de hábitats diferentes, incluyendo estiércol, fango de ríos y el fondo de lagos (Alexander, 1994).

Los actinomycetes presentan características de organismos aeróbicos típicos, los cuales en forma similar a los hongos, son más comunes en suelos secos que húmedos, con la excepción de los que pertenecen al género *Actinomyces* que son anaeróbicos o micro aerófilos. Estos pueden ser dominantes de la microflora a temperaturas que oscilan alrededor de los 28° C si se restringe el aporte de agua, y muchos de ellos pueden prosperar en las partes aireadas de un montón de estiércol o de residuos orgánicos, aun cuando la temperatura alcance 60 a 65° C (Burbano, 1989).

Agrega que se estima que los actinomycetes juegan un papel muy importante en la formación del humus, fundamentalmente por su capacidad para atacar una variedad de sustancias comparativamente resistentes, entre las cuales

están la celulosa y otros polisacáridos, hemicelulosa, queratina, quitina y ácido oxálico.

Una característica de los streptomycetos es el olor mohoso que producen, que recuerda al del suelo removido recientemente y es probable que el olor de terrenos recién arados sea consecuencia de la presencia de estos microorganismos (Alexander, 1994).

## **D. EL COMPOSTAJE**

### **1. Compostaje Aeróbico vs. Compostaje Anaeróbico**

**El compostaje aeróbico es el proceso de descomposición de materia orgánica en presencia de oxígeno. Durante este proceso, los principales productos del metabolismo biológico son el dióxido de carbono, agua y calor (Haug, 1993).**

**Este a su vez señala que en el caso del compostaje anaeróbico, en la ausencia de oxígeno se formarán metano, dióxido de carbono y numerosas sustancias orgánicas intermedias de bajo peso molecular como ácidos y alcoholes. Este libera menos energía en comparación con el compostaje aeróbico y el producto terminado posee un olor más penetrante a causa de los metabolitos intermedios.**

**Debido a estos motivos la mayoría de sistemas de compostaje son aeróbicos. A pesar de esto vale la pena señalar que un manejo inadecuado de la compostera puede ocasionar condiciones anaeróbicas dentro de la misma.**

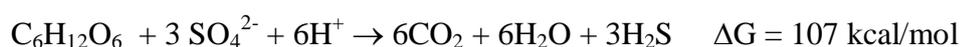
**El mismo autor señala que los microorganismos de mayor importancia en el compostaje son las bacterias y los**

**hongos, sin dejar de lado la actividad de los actinomicetes. Este autor añade que es importante distinguir las diferencias metabólicas entre los diferentes microorganismos para entender su efecto en el ambiente que los rodea. Por esta razón se torna fundamental diferenciar los microorganismos entre aeróbicos y anaeróbicos. Así, en presencia de oxígeno la descomposición de los carbohidratos se da de la siguiente manera:**



Esta es una reacción de reducción debido a la transferencia de electrones de la glucosa al oxígeno, de esta manera el oxígeno se reduce mientras el carbono se oxida. Todos los organismos que utilizan el oxígeno como aceptor de electrones son considerados aeróbicos Haug (1993).

Este señala que microorganismos que utilizan otros compuestos como aceptores de electrones son los llamados anaeróbicos. Entre las principales reductoras empleadas por estas se encuentran los iones nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). El dióxido de carbono también funciona como aceptor de electrones, este se reduce generalmente a metano. En estos casos el proceso sería:



En esta reacción se observa una producción de energía considerablemente menor a la anterior. Los microorganismos utilizan en primer término los aceptores de electrones que proveen mayor cantidad de energía. En este orden se encuentran primero el  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$ , y por último el  $\text{SO}_4^{2-}$ . Esta es una condición positiva por cuanto se puede prevenir la producción de  $\text{H}_2\text{S}$  al mantener la compostera bajo condiciones aeróbicas. Estas reacciones se dan por acción de microorganismos facultativos (Haug, 1993).

Por último cabe destacar que en ausencia total de aceptores de electrones, estos no se acumulan, se pierden mediante la siguiente reacción:



Esta reacción se dará si se permite que la fermentación llegue a término. En este caso, los productos finales siempre serán metano y dióxido de carbono. Estas reacciones se dan por acción de microorganismos anaeróbicos estrictos.

El mismo autor señala que el metabolismo anaeróbico es mucho más complejo que la reacción de fermentación citada con anterioridad. Las transformaciones se dan generalmente a través de la acción de varios microorganismos que actúan en cadena. En otras palabras, el producto de un microorganismo es utilizado como base para la acción de otro, y así sucesivamente hasta llegar a los productos señalados. Entre los productos intermedios se encuentran ácidos orgánicos de bajo peso molecular (propiónico, acético, etc.) alcoholes y aldehídos.

## 2. Humus vs. Compost

**Si bien la materia orgánica como tal tiene una gran importancia en los suelos agrícolas, es el material en descomposición el que provee los principales beneficios al suelo. Al incorporar materia orgánica, esta es atacada inmediatamente por los micro organismos que provocan su descomposición hasta llegar a formar como resultado final el humus (Rodale, 1973).**

**Por esta razón, Rodale señala que es importante que el material aplicado al suelo se encuentre aún en proceso de descomposición (compost), de manera que el material que no ha terminado su descomposición se convierta en el sustento de los diferentes micro organismos benéficos del suelo. Este material de igual manera servirá como acondicionador del suelo permitiendo su aireación y que este mantenga su humedad, previniendo la erosión que pueda producir el viento y la lluvia.**

Dentro de los beneficios del uso de materiales en descomposición vs. el humus, Martin (citado por Rodale, 1973), señala que es fundamental la liberación de nutrientes que ocasiona la actividad microbiana así como la acción quelatante que posee la materia orgánica. Esta acción quelatante que se observa durante la descomposición de la materia orgánica permite que elementos de poca movilidad en el suelo como el hierro, cobre y otros metales se vuelvan disponibles para las plantas. Tiene importancia también la formación de ácidos orgánicos y dióxido de carbono producto de la descomposición de la materia orgánica.

El mismo agrega que durante el aumento de temperatura que se produce en el suelo en la etapa de crecimiento de las plantas, la actividad microbiana se incrementa, y esto a su vez aumenta la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Sin dejar de lado la producción de antibióticos y sustancias promotoras del crecimiento (hormonas) que reducen los problemas radiculares en las plantas.

Por tal motivo, la aplicación de compost debe darse continuamente, de manera que se mantenga una buena actividad microbiana.

### 3. Sistemas de Compostaje

#### a. Sistema Abierto

Parvas, camellones o pilas es la denominación que se le da a la masa de residuos en compostaje cuando la misma presenta una morfología y dimensiones determinadas. De acuerdo al método de aireación utilizado, este sistema se subdivide además en:

*Sistema en Parvas o Camellones Móviles*, cuando la aireación y homogeneización se realiza por remoción y reconfiguración de las parvas y, *Sistema de Camellones o Parvas Estáticas* cuando la aireación se realiza mediante instalaciones fijas, en las áreas o canchas de compostaje (métodos Beltsville y Rutgers), que permiten realizar una aireación forzada sin necesidad de movilizar las parvas (Internet 1).

#### **b. Sistema Cerrado**

Los residuos orgánicos son procesados en instalaciones que pueden ser estáticas o dinámicas, que se conocen como *Reactores*. Básicamente los reactores, son estructuras por lo general metálicas: cilíndricas o rectangulares, donde se mantienen controlados determinados parámetros (humedad, aireación), procurando que los mismos permanezcan en forma relativamente constante. Los reactores móviles además, posibilitan la mezcla continua de los desechos mediante dispositivos mecánicos, con lo que se logra un proceso homogéneo en toda la masa en compostaje.

Este tipo de sistemas, permite acelerar las etapas iniciales del proceso, denominadas incorrectamente “fermentación”. Finalizadas estas etapas activas biológicamente, el material es retirado del reactor y acopiado para que se cumpla la “maduración”. Los sistemas de compostaje en reactores son siempre sistemas industriales, y se consideran verdaderos bio estabilizadores (Internet 2).

#### 4. Compostaje Aeróbico

Se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10-40 ° C) con etapas termogénicas (40-75 ° C), y con la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente. Las temperaturas elevadas alcanzadas, son consecuencia de la relación superficie / volumen de las pilas o camellones y de la actividad metabólica de los diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso. Durante

la evolución del proceso se produce una sucesión natural de poblaciones de microorganismos que difieren en sus características nutricionales (quimio heterótrofos y quimio autótrofos), entre los que se establecen efectos sintróficos y nutrición cruzada (Internet 1).

**Según Haug (1993), existen tres razones básicas por las cuales un material que será sometido a un proceso de compostaje debe recibir aireación. En primer lugar, para suplir la demanda de oxígeno del proceso de descomposición. Segundo, para disminuir el exceso de humedad del sustrato, ya que el aire al calentarse dentro de la compostera realiza una acción de liberación de humedad. Tercero, para controlar la temperatura del proceso y evitar que esta aumente hasta puntos que detengan la actividad microbiana.**

**Por su parte, Rodale (1973) estima que se debe mantener un proceso continuo de aireación durante las ocho primeras semanas del proceso para evitar los efectos de la fermentación y putrefacción de los materiales. En ausencia de oxígeno, los hongos y otros microorganismos benéficos pueden desaparecer ya que la compostera se tornará ácida. Con un proceso de aireación continua durante este periodo, el oxígeno penetrará con facilidad y el dióxido de carbono se eliminará con facilidad.**

**Además señala que por esta razón, es importante crear hoyos de aireación de más de 10 cm de diámetro los cuales no deben ser muy compactos para permitir el paso del aire a través de estos. Después de este lapso de 8 semanas empieza el trabajo de las bacterias anaeróbicas, razón por la cual la aireación no es necesaria de aquí en más.**

También apunta que en caso de que el volumen de la compostera no se vea reducido en las primeras semanas, se debe mejorar la aireación, evitando el crecimiento de hierbas, cuyas raíces cortan el suministro de aire y reduciendo la compactación de la compostera.

De acuerdo a su experiencia el material ideal para la producción de compost según Rodale (1973) son los excrementos de animales herbívoros en combinación con residuos de cosecha. La acción de las bacterias del suelo produce polisacáridos, los cuales actúan de manera que permiten la formación de agregados del suelo, los cuales son esenciales para una buena estructura.

En cuanto a la cobertura de la compostera, esta se debe dar especialmente para evitar pérdidas excesivas de humedad y aire que los microorganismos requieren. Esta a su vez evitará el desarrollo de hierbas sobre la compostera. Rodale (1973), dice que la mejor forma de cubrir la compostera es con paja en un espesor de 20 cm para evitar el efecto del sol, la tierra absorbe demasiada humedad y el plástico puede aumentar la temperatura interna de manera excesiva.

Este autor señala al método bajo cubierta plástica como el más simple y menos costoso de los métodos a pequeña escala. Este cita la experiencia de una agricultora estadounidense llamada Adrienne Bond quien señala que a través de este método se reduce la emanación de olores, la cantidad de insectos y produce compost de mejor calidad que los métodos al aire libre.

En su experiencia, la señora Bond dice que el uso de plástico negro de polietileno es el más conveniente por motivos de costo y durabilidad. Esta a su vez señala que con el empleo de este método obtuvo compost en un periodo de dos meses y medio.

**Por último es importante tomar en cuenta el efecto de la fermentación en la compostera. Haug (1993) y Rodale (1973) señalan que este proceso tiende a acidificar la compostera, lo cual retarda o inclusive anula la actividad microbiana, lo cual reduce la tasa de descomposición.**

**Para reducir este efecto, Rodale (1973) propone el uso de tierra mezclada con limo o cenizas de madera para neutralizarlo. En caso de no disponer de estos materiales, se debe utilizar tierra sola que no posea contaminación química y por supuesto que posea una gran cantidad de bacterias, hongos y humus. Este tipo de tierra se obtiene de la superficie de terrenos donde no exista aplicación de químicos.**

## **E. MANEJO DE LA COMPOSTERA**

### **1. Características de los Residuos a Compostera**

#### **a. Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)**

La relación C/N, expresa las unidades de carbono por unidades de Nitrógeno que contiene un material. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el Nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción. Una relación C/N óptima de entrada, es decir de material "crudo o fresco" a compostar es de 25 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir  $C(25)/N(1) = 25$  (Internet 1).

En términos generales, una relación C/N inicial de 20 a 30 se considera como adecuada para iniciar un proceso de compostaje. Si la relación C/N está en el orden de 10 nos indica que el material tiene relativamente más Nitrógeno. Si la

relación es de por ejemplo 40, manifiesta que el material tiene relativamente más Carbono (Benzing, 2001).

Un material que presente una C/N superior a 30, requerirá para su biodegradación un mayor número de generaciones de microorganismos, y el tiempo necesario para alcanzar una relación C/N final entre 12-15 (considerada apropiada para uso agronómico) será mayor. Si el cociente entre estos dos elementos es inferior a 20 se producirán pérdidas importantes de nitrógeno. Los residuos de origen vegetal, presentan por lo general una relación C/N elevada. Las plantas y montes, contienen más nitrógeno cuando son jóvenes y menos en su madurez. Los residuos de origen animal presentan por lo general una baja relación C/N. Existen tablas, donde es posible obtener las relaciones de estos elementos para diferentes tipos de residuos. Si se desconocen estas relaciones en el material a compostar, lo aconsejable es realizar en un laboratorio las determinaciones correspondientes (Haug, 1993).

Puede suceder que el material disponible no presente una relación C/N inicial apropiada para su compostaje. En este caso se debe realizar una mezcla con otros materiales para lograr una relación apropiada. Este procedimiento se conoce como *Balance de Nutrientes* (Internet 2).

Con respecto al Balance de Nutrientes en la misma fuente se establecen las siguientes reglas básicas:

- Utilizando materiales con una buena relación C/N, no es necesario realizar mezclas.
- Los materiales con relativo alto contenido en carbono deben mezclarse con materiales con relativo alto contenido en nitrógeno y viceversa.

#### **b. Estructura y Tamaño de lo Residuos**

Numerosos materiales pierden rápidamente su estructura física cuando ingresan al proceso de compostaje (Ej. excretas), otros no obstante son muy resistentes a los cambios, tal es el caso de materiales leñosos y fibras vegetales en general. En este caso la superficie de contacto entre el microorganismo y los

desechos es pobre, no olvide el carácter osmótrofo de la gran mayoría de las bacterias (Rodale, 1973).

Este autor añade que cuando se presenta una situación de este tipo, por ejemplo disponemos de restos de podas de pequeño diámetro, debemos mezclar estos residuos con otros de diferente estabilidad estructural, de forma tal que aumente la superficie de contacto. Una opción sería la mezcla de estos restos de poda con excretas en proporciones tales que aseguremos una buena relación C/N de entrada.

Ante el caso de no disponer, de excretas u otro material de diferente estructura física, se debe recurrir al procesamiento del mismo, para lograr un tamaño adecuado y un proceso rápido. Las alternativas para este tipo de materiales leñosos y de gran tamaño es la utilización de trituradoras o picadoras. Para un diámetro medio máximo de partículas de 20 mm resulta un incremento significativo de la bio disponibilidad y del tiempo de compostaje cuando se compara con partículas mayores a 80 mm, por lo que el tamaño indicado de 20 mm a 10 mm es aconsejable para este tipo de materiales (Internet 2).

Picadoras o trituradoras donde se obtengan diámetros inferiores a 3 mm, no son aconsejables, ya que la acumulación de materiales con estos diámetros tienden a compactarse en los asentamientos de las parvas, con lo que disminuye en forma importante la capacidad de intercambio gaseoso (Internet 2).

### **c. Humedad**

El contenido en humedad de los desechos orgánicos crudos es muy variable, en el caso de los estiércoles, el contenido en humedad está íntimamente relacionado con la dieta. Si la humedad inicial de los residuos crudos es superior a un 50%, necesariamente se debe buscar la forma de que el material pierda humedad, antes de conformar las pilas o camellones (Internet 2).

Este procedimiento, se realiza extendiendo el material en capas delgadas para que pierda humedad por evaporación natural, o bien mezclándolo con materiales secos, procurando mantener siempre una adecuada relación C/N (Internet 2).

La humedad idónea para una biodegradación con franco predominio de la respiración aeróbica, se sitúa en el orden del 15 al 35% (del 40 al 60%, si se puede mantener una buena aireación). Humedades superiores a los valores indicados producirían un desplazamiento del aire entre las partículas de la materia orgánica, con lo que el medio se volvería anaerobio, favoreciendo los metabolismos fermentativos y las respiraciones anaeróbicas. Si la humedad se sitúa en valores inferiores al 10%, desciende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento (Haug,1993).

#### **d. El pH**

El rango de pH tolerado por las bacterias en general es relativamente amplio, existen grupos fisiológicos adaptados a valores extremos. No obstante pH cercano al neutro (pH 6.5-7.5, ligeramente ácido o ligeramente alcalino asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores de pH inferiores a 5.5 (ácidos) inhiben el crecimiento de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores superiores a 8 (alcalinos) también son agentes inhibidores del crecimiento, haciendo precipitar nutrientes esenciales del medio, de forma que no son asequibles para los microorganismos. Durante el proceso de compostaje se produce una secesión natural del pH, que es necesaria para el proceso y que es acompañada por una sucesión de grupos fisiológicos (Internet 2).

La mayoría de desechos orgánicos presentan un pH cercano al neutro. Caso distinto puede ser el caso de algunos residuos provenientes de actividades agroindustriales. Este tipo de residuos, se caracteriza por su estabilidad (resistencia a la biodegradación), y en general se trata de desechos con pH marcadamente ácido. De presentarse una situación de este tipo, debemos proceder a determinar el valor del pH y posteriormente realizar una neutralización mediante la adición de piedra caliza, calcáreo o carbonato de calcio de uso agronómico (Internet 1).

#### **e. Oxígeno**

En el compostaje aeróbico, la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada. La cantidad de oxígeno ha de ser superior al 15%, y nunca inferior al 5%. Optimo 20 %. Su presencia garantiza:

- Rápida mineralización de la materia orgánica fácilmente degradable.
- Elevada producción de compuestos húmicos a partir de la fracción de materia orgánica difícilmente degradable (Internet 2).

#### **f. Población microbiana**

En el compostaje aeróbico la descomposición de la materia orgánica, se lleva a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomycetes.

### **2. Preparación del Material**

Es fundamental el picado del material, este picado aumenta la superficie total del mismo. Puesto que el tamaño de la partícula sometida a compostaje es fundamental en el tiempo de descomposición pues este proceso se da a través de una serie de procesos fermentativos que consumen la materia orgánica. Por tal razón partículas pequeñas son consumidas con mayor facilidad que partículas de mayor tamaño. En consecuencia, el volumen decrece con mayor rapidez en cuanto la partícula es más grande puesto que la descomposición es paulatina (Rodale, 1973).

Este autor añade que es importante tomar en cuenta que un compost producido en menor tiempo tiene una mejor calidad por menor pérdida de nutrientes por evaporación o lixiviación.

Otro aspecto a tomar en cuenta según Rodale (1973) es la posibilidad de enriquecer la compostera en base a materiales como el limo y el polvo de rocas que puedan aportar con nutrientes a la misma. De igual manera diversos materiales pueden ser añadidos para obtener compost ácido o alcalino para ser usado como corrector de pH; así, el uso de limo tiende a aumentar el pH, las bayas y la turba tienden a bajar el mismo. Para este fin es importante experimentar con diferentes materiales.

### 3. Activadores de la Compostera

Estos son sustancias que estimulan la descomposición biológica de la pila de compost. Los activadores orgánicos son materiales con alto contenido de nitrógeno en forma de proteínas, aminoácidos y urea entre otras fuentes. Dentro de estas fuentes se encuentran las heces, desechos verdes, sangre seca, entre otros. Entre los activadores artificiales se encuentran el sulfato de amonio, el fosfato de amonio, la urea y otros fertilizantes nitrogenados. Estos activadores influyen dentro de la compostera en dos formas básicas:

- Introducen microorganismos que ayudan en la descomposición de la materia orgánica.
- Aumentan la cantidad de nitrógeno en la pila, dando alimento extra a los microorganismos (Rodale, 1973).

Cabe destacar también la presencia en el mercado de productos a base de microorganismos específicos que tienden a incrementar la velocidad de descomposición y la calidad del producto terminado como los EM, desarrollados por el Dr. Higa en Japón a inicios de los ochenta y difundidos globalmente para diversos usos.

Rodale (1973) agrega que gran parte de los problemas de descomposición dentro de la compostera se pueden deber a la falta de nitrógeno. Así, es muy fácil observar en materiales con baja cantidad de nitrógeno una baja actividad microbiana representada en bajas temperaturas durante las fases iniciales del compostaje.

#### 4. Riego y Control de Humedad

En cuanto al riego de la compostera, este debe ser frecuente sobre todo al inicio del proceso. Este se debe realizar de acuerdo a las condiciones climáticas, evitando por todos los medios el exceso de humedad que puede llevar a la pudrición del material. En caso de que el riego sea requerido, es importante tomar en cuenta la calidad del agua, la cual debe poseer una baja cantidad de sustancias químicas y una buena proporción de oxígeno disuelto (Rodale, 1973).

Por su parte, Haug (1993) señala que basta con mantener una humedad adecuada para el desarrollo de los microbios, para lo cual es esencial eliminar todo exceso de humedad que pueda poseer el material de inicio y de ahí en adelante mantener la humedad durante las primeras etapas del proceso.

#### 5. Aireación

Durante el proceso es fundamental la ventilación de la pila de compost. Esta permite un flujo constante de gases entre la compostera y la atmósfera. Los microorganismos del suelo que descomponen los residuos orgánicos son aeróbicos, por lo tanto requieren de oxígeno para su normal desarrollo (Rodale, 1973).

Este procedimiento tiene dos objetivos:

- Favorecer el metabolismo aerobio.
- Procurar que el proceso se cumpla homogéneamente en toda la masa en compostaje.

Esta operación se puede hacer tanto manualmente como mecánicamente. Siempre debe procurarse en los movimientos de las pilas, que el material

perteneciente al núcleo de compostaje pase a formar parte de la corteza y éste del núcleo (Internet 1).

No existen frecuencias preestablecidas de aireación y riego que resulten aplicables para todos los casos posibles. Las aireaciones excesivas, son tan perjudiciales como los riegos en exceso. Uno de los parámetros, que nos resultará de fácil determinación es la temperatura y es a partir de la misma que podremos en gran parte, ejercer un control sobre el proceso (Internet1).

## **6. Control de la Temperatura**

La temperatura debe ser tomada en el núcleo de la pila. Existen termómetros especialmente diseñados para este fin. Si no se cuenta con un termómetro de este tipo, pueden utilizarse termómetros para uso textil (teñidos), o bien termómetros para parafina, utilizados en laboratorios de histología. También existen instrumentos digitales.

En función de la longitud de la compostera se recomienda tomar la temperatura hasta en dos puntos equidistantes y tomar el valor promedio aritmético entre los dos puntos. Como regla general y para conservar el instrumento que utilice, practique primero con una varilla metálica de mayor diámetro que el termómetro una perforación, y luego introduzca el instrumento. Marque el lugar donde practicó la perforación, para utilizarlo en una nueva oportunidad. Es conveniente, realizar más de una lectura por metro lineal de camellón y promediar los resultados.

## **7. Tiempo de Compostaje**

Se entiende por tiempo de compostaje el transcurrido desde la conformación de una parva o camellón hasta la obtención de compost estable.

El tiempo de compostaje, varía según las características de los residuos a compostar, las condiciones climatológicas (temperatura, ambiente, % de humedad

relativa, etc.); manejo físico-químico; manejo microbiológico y características del producto final que se desea obtener. El tiempo de compostaje, es un parámetro que puede ser controlado y establecido con cierto grado de certeza a través del conjunto de técnicas descritas con anterioridad (Internet 1).

## **F. ETAPAS DEL COMPOSTAJE**

### **1. Fase Inicial**

En la primera fase denominada mesofílica los más diversos microorganismos se alimentan de las sustancias poco resistentes como proteínas e hidratos de carbono sencillos; en esta fase predominan los hongos *Penicillium* spp, *Absidia glauca*, *Verticillium tenerum*, *Nectria inventa* y *Trichoderma* sp. (Klamer y Sochting, 1998, citados por Benzing, 2001). La fase dura a veces solo pocas horas, otras veces algunos días. La descomposición libera energía contenida en los compuestos orgánicos. Una parte de esta energía es utilizada por los microorganismos para su metabolismo, otra parte se transforma en calor. Por eso, la temperatura en la compostera sube rápidamente, mientras la formación de ácidos orgánicos puede llevar a una ligera reducción del pH.

En esta etapa, se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila, en concomitancia con oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica). Mientras se mantienen las condiciones de aerobiosis actúan euactinomicetos (aerobios estrictos), de importancia por su capacidad de producir antibióticos. Se dan también procesos de nitrificación y oxidación de compuestos reducidos de azufre, fósforo, etc. La participación de hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso, en áreas muy específicas de los camellones de compostaje.

Esta etapa es particularmente sensible al binomio óptimo humedad-aireación. La actividad metabólica incrementa paulatinamente la temperatura. La falta de disipación del calor produce un incremento aún mayor y favorece el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los

residuos. La duración de esta etapa es variable, depende también de numerosos factores (Internet 1).

## 2. Fase Termofílica

Es la segunda fase dentro del proceso de compostaje, cuando la temperatura aumenta a 50° C, los organismos mesofílicos mueren y son reemplazados por los termofílicos o termo tolerantes. Se encuentran casi exclusivamente bacterias Gram positivas pertenecientes en su gran mayoría al género *Bacillus*. Los hongos constituyen menos del 1% de todos los microorganismos, y los actinomicetos prácticamente no se encuentran (Klamer y Baath 1998, citados por Benzing 2001)

El pH sube durante la etapa termofílica debido a la liberación de bases de los materiales orgánicos. A su vez se degradan los ácidos orgánicos formados durante la primera fase. También la producción de amoníaco contribuye a elevar el pH. Como el amoníaco se volatiliza, el pH vuelve a bajar a continuación, para finalmente estabilizarse (Benzing, 2001).

La microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos y Actinomicetos termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo sintrófica. *Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables.* Si la compactación y ventilación son adecuadas, se producen emanaciones visibles de vapor de agua. El CO<sub>2</sub> se produce en volúmenes importantes que difunden desde el núcleo a la corteza. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos. La corteza y más en aquellos materiales ricos en proteínas, es una zona donde se produce la puesta de insectos. La concentración de CO<sub>2</sub> alcanzada resulta letal para las larvas (Internet 1).

Conforme el ambiente se hace totalmente anaerobio, los grupos termófilos que intervienen, entran en fase de muerte. Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes (Internet 2).

Benzing (2001) señala también que por lo general las temperaturas no pasan de 50 a 70 °C, en casos extremos 75°C. Al alcanzar esta temperatura, los organismos causantes de la temperatura alta mueren a causa del calor, razón por la cual la temperatura se estabiliza y luego empieza a disminuir de acuerdo a estudios realizados por Finstein y Miller en 1984 y citados en su obra. En sustratos ricos en nutrientes y con suficiente humedad y aireación, la temperatura máxima es alcanzada entre el primer y el tercer día, en condiciones normales, entre el tercer y séptimo día, y en condiciones desfavorables en dos semanas o más.

### 3. Fase Mesofílica

También la nueva fase mesofílica después del pico de la temperatura predominan bacterias Gram negativas. Algunas de estas sobreviven la fase termofílica en las capas exteriores de la compostera o en forma de esporas, pero la mayoría emigra posteriormente desde afuera. Durante varias semanas la temperatura permanece entre 35 y 45°C. Klamer y Sochting (1998) citados por Benzing, observaron que los hongos dominantes durante este tiempo son las especies *Paecilomyces variotii*, *Syctalidium thermophilum*, un basidiomiceto no identificado y *Thermomyces lanuginosus*. Esta última especie, a pesar de ser considerada termofílica predomina aun cuando la temperatura ha llegado a 24°C.

Hacia el final de la etapa mesofílica crece la población de hongos. Durante la última etapa de enfriamiento y maduración, la compostera es poblada por actinomicetos (Klamer y Baath, 1998 citados por Benzing 2001), y también por la macro fauna: anélidos, artrópodos, y a veces también moluscos. Lombrices que comúnmente habitan el mantillo orgánico como *Eisenia foetida*, inmigran a una temperatura cercana a los 30°C, mientras las lombrices propias del ecosistema terrestre no se encontraran en la pila antes de que su temperatura se adapte al ambiente. De no haber un control al respecto, en esta fase, la compostera puede ser fácilmente invadida por malezas.

Con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, comienza el descenso de la temperatura. Cuando la misma se sitúa aproximadamente a temperaturas iguales o inferiores a los 40 °C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina restante en las pilas. Esta etapa se la conoce generalmente como etapa de maduración (Internet 1)

Su duración depende de numerosos factores. La temperatura descenderá paulatinamente hasta presentarse en valores muy cercanos a la temperatura ambiente. En estos momentos se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso. Las etapas mencionadas, no se cumplen en la totalidad de la masa en compostaje, es necesario, remover las pilas de material en proceso, de forma tal que el material que se presenta en la corteza, pase a formar parte del núcleo.

Estas remociones y reconfiguraciones de las pilas se realizan en momentos puntuales del proceso, y permiten airear el material, lo que provoca que la secuencia de etapas descrita se presenta por lo general más de una vez.

Desde el punto de vista microbiológico la finalización del proceso de compostaje se tipifica por la ausencia de actividad metabólica. Con temperatura ambiente entre los 10 y 12° C, en pilas adecuadamente conformadas, esta etapa puede durar de 24 a 72 h (Benzing, 2001).

Las características descritas, corresponden a un compost en condición de estabilidad. Esta condición se diagnostica a través de diversos parámetros. Algunos de ellos, se pueden determinar en campo (temperatura, color, olor), otras determinaciones se deben realizar en laboratorio (Internet 1).

#### **4. Problemas Frecuentes en el Proceso de Elaboración de Compost**

Una de las reglas fundamentales a tener en cuenta para un sistema de compostaje es mantener la independencia física de la unidad de compostaje. Nunca se debe adicionar material nuevo a una pila que ya ha sido conformada (Internet 1).

Según la misma fuente, es muy importante llevar de cada unidad de compostaje, registros de los datos más relevantes. Fecha de conformación, relación C/N de entrada, temperatura del material antes de su ingreso al sistema, temperatura ambiente y todo dato que se considere que puede ser de valor para sistematizar el proceso.

Es necesario delimitar con marcas visibles, todas las dimensiones necesarias en el área destinada a compostaje que puedan servir como referencia para la movilización y reconformación de las composteras. En la práctica, el material tenderá a explayarse, perdiendo las dimensiones iniciales. Esto es totalmente normal (Internet 2).

## **G. CONDICIÓN IDEAL DEL COMPOST**

El principal factor a tomar en cuenta para determinar el momento adecuado de aplicación del compost es su condición. Si este aún presenta material fibroso aún no se encuentra listo para su aplicación y se lo puede incorporar a terrenos en reposo para que termine su descomposición en el campo. De esta manera, se debe considerar la homogeneidad del material como razón principal para el uso del mismo (Rodale, 1973).

En cuanto a los nutrientes, Benzing (2001) señala que mientras el contenido de proteínas, azúcares, o hemicelulosa se reduce rápidamente a una tercera parte o menos, la descomposición de grasas, ceras, celulosa, lignina, o sustancias húmicas es mucho más lenta. Normalmente se produce un incremento de los ácidos húmicos en el compostaje.

Saharinen (1998, citado por Benzing) indica que la capacidad de intercambio catiónico aumenta durante el compostaje, este es el parámetro que muestra el comportamiento más consistente en diferentes tipos de compost.

Una parte del nitrógeno contenido en el material original, es mineralizado durante el compostaje. Mientras al inicio predomina amonio entre las formas minerales del nitrógeno, hacia el final del compostaje aumenta la fracción de nitrato. Cierta porción de nitrógeno mineral es incorporado nuevamente a compuestos orgánicos, sea como parte de la masa microbiana o de sustancias húmicas (Benzing, 2001).

Este autor señala también que el nitrógeno puede perderse durante el compostaje básicamente por cuatro vías: volatilización (amoníaco), sobre todo durante el calentamiento inicial; desnitrificación (nitrógeno, nitritos y nitratos), en zonas anaeróbicas; lixiviación (nitratos); escurrimiento (amonio y nitrógeno orgánico). Las pérdidas suman entre aproximadamente el 15 y 30% del nitrógeno total, pero en casos extremos puede llegar a más del 50%.

Suquilanda (1995) señala que cuanto más alta es la relación C/N, más prolongado es el proceso de descomposición, y esto se observa cuando esta relación supera el 33/1. Durante el compostaje el carbono orgánico se convierte en dióxido de carbono. Suele perderse más carbono que nitrógeno, razón por la cual se estrecha la relación C/N. También indica que durante el proceso de descomposición de los residuos orgánicos, aproximadamente el 65% del carbono es liberado como CO<sub>2</sub> y el 35% restante es utilizado por los microorganismos en la síntesis de compuestos de sus propios tejidos y otros compuestos orgánicos.

Rodale (1973) señala 17 parámetros básicos en torno a los cuales se puede determinar la condición ideal del compost. De esta manera, un compost ideal posee las siguientes características:

- El material debe tener una estructura media, algo disgregado, no muy compacto sin terrones.

- Debe tener un color café oscuro hasta negro, si este material se encuentra muy húmedo y mal oliente es signo de una fermentación negativa con mucha humedad y poco aire.
- El olor debe ser parecido al de la tierra, suelo de bosque o humus. El mal olor indica que la descomposición aún se lleva adelante
- La reacción de la solución (pH) debe ser ligeramente ácida. Un exceso de acidez es sinónimo de exceso de humedad y falta de oxígeno. Por tanto el rango adecuado se ubica entre 6.0 y 7.4
- La mezcla de los materiales iniciales debe ser homogénea. El contenido ideal de materia orgánica debe encontrarse entre el 25 y el 50%.
- La humedad debe mantenerse dentro del rango del 15 y 30%. No existe actividad biológica en condiciones de baja humedad.
- El contenido de Potasio debe encontrarse acorde al material inicial. Cualquier material vegetal contiene un aproximado del 5% de potasio en su estructura.
- Debe encontrarse limo en el contenido de la compostera para favorecer el desarrollo de bacterias nitrificantes. Para esto es una buena opción su adición.
- Un buen compost debe aportar magnesio, por tal razón se recomienda la adición de dolomita al material a procesar.
- El compost debe contener nitratos procedentes de la descomposición de la proteína del material inicial.
- La cantidad de amonio debe ser inferior a la de los nitratos, dado que la presencia de este denota condiciones desfavorables dentro del proceso (falta de oxígeno).
- Debe existir mayor cantidad de fosfatos solubles respecto a los insolubles, esto se debe traducir en una relación calcio – fósforo adecuada.
- Un compost ideal tiene en su composición trazas de manganeso y otros micro elementos para favorecer al cultivo.
- Se debe encontrar sulfatos de reacción neutra. Sulfatos de reacción ácida son indicio de la presencia de ácido sulfúrico que es negativo.
- La presencia de nitritos debe ser nula, para esto se debe mantener una buena aireación dentro de la compostera.

- No se debe encontrar cloro, para esto se debe evitar el empleo de agua clorada.
- Se puede encontrar trazas de yodo.

En lo referente a la estabilidad del producto final, se puede tomar en cuenta los parámetros presentados en la Tabla 3 (Internet 1).

**Tabla 3. Parámetros de Estabilidad del Compost.**

Temperatura	Estable
Color	Marrón oscuro-negro ceniza
Olor	Sin olor desagradable
PH	alcalino (anaeróbica. ,55°C,24 h)
C/N	> =20
Nº de termófilos	decreciente a estable
CEC	> 60 meq./100 libre de cenizas

Fuente Internet 1

## H. USO DEL COMPOST

### 1. Normas Básicas de Aplicación del Compost

Es importante aplicar un mínimo de 1 cm hasta 8 cm de espesor por año de compost al terreno en una o dos aplicaciones. Existe un peligro menor debido a posible quemazón causada por exceso en el uso del material. La cantidad a aplicar depende por supuesto de la fertilidad inicial del suelo (Rodale, 1973).

En cuanto a la aplicación de materiales que no se encuentran terminados, el autor antes citado señala que el compost debe ser bien mezclado con los 10 cm superiores del terreno, esto se puede lograr con el paso de un arado de discos dos veces sobre el terreno o un paso de rotavator.

Para mejorar la estructura y fertilidad del suelo en un plazo corto, Rodale (1973) recomienda una incorporación de compost a 30-40 cm de profundidad del terreno para que termine su descomposición dentro de este en un periodo de reposo

que se le de al terreno. Esto además mejorará el mantenimiento de la humedad del suelo y evita problemas de anegamiento del terreno o la sequía.

Este atribuye al compost una notable mejora en el cultivo de ornamentales. Se recomienda la aplicación de paja sobre el terreno en el que se ha incorporado 2 cm de compost para mantener la humedad e impedir el desarrollo de mala hierba.

Agrega que la aplicación del purín a las plantas es una excelente forma de proveer de un suplemento alimenticio a las mismas durante su etapa de desarrollo. Una buena cantidad de compost puede mantener el nivel de humedad alto lo que reduce el ataque de hormigas.

Inicialmente se debe utilizar el compost como un mejorador de la estructura del suelo para facilitar las labores de manejo del cultivo al proveer a la planta un lugar de sustento para sus raíces el mismo que mantiene la humedad y favorece la absorción de nutrientes. En suelos arcillosos, el uso del compost con el transcurso del tiempo se traducirá en una notable mejora en la calidad y cantidad de producto (Rodale, 1973).

Este autor señala que en el caso de las rosas, es necesario destacar la importancia de la materia orgánica en el ciclo de cultivo. De acuerdo a varios floricultores, el compost es el mejor acondicionador del suelo para las rosas. En función de esto, los agricultores orgánicos citados por el autor recomiendan la preparación del terreno al menos un mes antes de la siembra, ubicando el compost al menos a 30 cm de profundidad. Para este fin se recomienda el empleo de material compostado especialmente para rosas, este puede obtenerse a base de material vegetal y estiércol de bovino, el cual se debe mantener humedecido de manera adecuada. Esta actividad se debe complementar con la remoción del material superficial que debe ser eliminado para mejores resultados.

Para otros cultivos es una muy buena opción enriquecer la compostera con materiales que provean a la misma de los nutrientes que el cultivo demanda con

mayor avidez. De esta manera se puede emplear roca fosfórica, materiales vegetales o animales de alto contenido proteico, algas marinas, entre otros (Rodale, 1973).

## **2. Problemas en Aplicación de Compost**

La literatura explica muy poco respecto a los problemas que se pueden tener mediante la aplicación del compost. Muy pocos autores se han interesado en establecer los posibles riesgos de los excesos en la aplicación de la materia orgánica. Por esta razón muchos agricultores consideran que lo mejor que se puede lograr es incorporar la materia orgánica hasta que el suelo se torne netamente orgánico (Rodale, 1973).

Sin embargo, este señala que un suelo ideal debe también contener minerales para la nutrición de las plantas. Por tal razón, la ausencia de un sustento mineral se puede traducir en un decremento de la productividad de los cultivos debido a la falta de nutrientes presentes en el suelo mineral.

El Dr. Ehrenfried Pfeifer, citado por Rodale (1973) realizó una serie de experimentos para determinar la máxima cantidad de compost que sería efectiva en un cultivo (arveja). El realizó aplicaciones de compost en diferentes cantidades al cultivo con la idea que el empleo de una mayor cantidad de compost le traería una mayor cosecha. Su estudio demostró que en la arveja aplicaciones superiores a las 12 toneladas por hectárea no presentan una mejora en cuanto a la productividad.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **A. UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El proceso de investigación en sus etapas de campo y laboratorio se llevó a cabo en la Hacienda el Prado que presenta la siguiente ubicación geográfica

Provincia: Pichincha  
Cantón: Rumiñahui  
Parroquia: Loreto

#### **B. MATERIALES:**

##### **1. Campo**

Material para levantar, trazado y mantenimiento de composteras: azadón, pala, rastrillo, trinche.

Materia orgánica: estiércol de vaca, estiércol de oveja, gallinaza, estiércol de cuy, material vegetal (tamo de avena).

Mantenimiento de composteras: laterales de riego, plástico, geo termómetro, carretilla, estacas, balanza, etiquetas, rótulos, piola, libreta de campo.

##### **2. Laboratorio**

Material para manejo de muestras en laboratorio: fundas de papel (para toma de muestras), balanza de precisión.

Material de vidrio (cajas petri, vasos de precipitación, matraces, tubos de ensayo, vidrio reloj, balones aforados, pipetas, bureta, balones Khjeldal).

Material para el proceso de identificación de microorganismos y determinación de contenidos nutricionales. Medios específicos para hongos, bacterias y actinomycetes (PDA, AN, SIM, Medio 1, Medio 3.). Kit de identificación de bacterias API 20E, parafilm, reactivos para identificación de hongos y bacterias, incubadora, cámara de Inoculación, autoclave, agua destilada, estufa, asa de platino, micro pipeta, alcohol potable y antiséptico, estereo microscopio, microscopio óptico, mechero de bunsen, aceite de vaselina, contador de colonias, tamices (500 y 600 micrómetros), reactivos para determinación de Nitrógeno total, aparato para análisis de Kjeldal, jeringas de 5, 10 y 1 ml, agitador, cajas cuadrículadas, mallas, bandas elásticas, frascos de muestras de orina, papel Kleenex, embudos, manguera, tapones, guantes quirúrgicos, ácido sulfúrico, núcleos de ebullición (trozos de cerámica), selenio, hierro reducido en polvo, hidróxido de sodio al 40%, ácido bórico al 2%, rojo de Tashiro (Rojo de metilo al 0.1% + Verde de Bromocresol al 0.1%), ácido sulfúrico 0.1N, sulfato de sodio, sulfato cúprico, marcador permanente, adhesivos tipo membrete.

### **3. Pruebas de Emergencia**

Material requerido para pruebas de germinación llevadas a cabo en la residencia de la Familia Núñez Silva en el sector San Fernando en la ciudad de Quito. Incluye bandejas de germinación, compost de las diferentes fuentes analizadas, turba, semillas certificadas de girasol, larkspur, lechuga y brócoli.

Material para pruebas de germinación llevadas a cabo en el IASA, incluye papel húmedo, cámara de germinación, ácido sulfúrico (tratamiento de semillas), rótulos

## **B. METODOS:**

### **1. Fase I. Fase de Campo**

#### **a. Factores en estudio**

Se tomó como factor en estudio el material en proceso de elaboración de compost durante cada una de las fases del estudio.

**b. Tratamientos:**

Se procedió a evaluar cuatro fuentes de materia orgánica animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) y un testigo en base a las recomendaciones establecidas en las diferentes obras de literatura consultada que sugiere la elaboración de las composteras por capas de material vegetal y animal para balancear la relación carbono / nitrógeno inicial alrededor del 80/1 como se observa en la Figura 1.

QuickTime™ and a  
TIFF (sin comprimir) decompressor  
are needed to see this picture.

Figura 1. Composteras Utilizadas en el estudio.

Cada fuente de materia orgánica animal correspondió a un tratamiento (Tabla 4) y se realizó tres repeticiones por cada uno, dando así quince unidades experimentales. De las cuales se realizó el correspondiente análisis en cada etapa del proceso.

**Tabla 4. Tratamientos en Estudio**

TRATAMIENTO	FUENTE ANIMAL (especie)	FUENTE VEGETAL
1	Vaca ( <i>Bos taurus</i> )	Tamo de avena
2	Oveja ( <i>Ovis aries</i> )	Tamo de avena
3	Cuy ( <i>Cavia porcellus</i> )	Tamo de avena
4	Gallina ( <i>Gallus gallus</i> )	Tamo de avena
Testigo	-----	Tamo de avena

**c. Procedimientos:**

**1) Diseño Experimental**

El diseño empleado en esta investigación fue el de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones

**2) Características de las unidades experimentales**

**a) Número**

El estudio se realizó en 15 unidades experimentales, cinco tratamientos con tres repeticiones.

**b) Área del ensayo**

Área por compostera =  $2.4 \text{ m}^2$  (2m de largo x 1.2m de ancho) y una altura de 1.2 m; 1m para camino; y un área del ensayo total =  $160 \text{ m}^2$  (Figura 2)

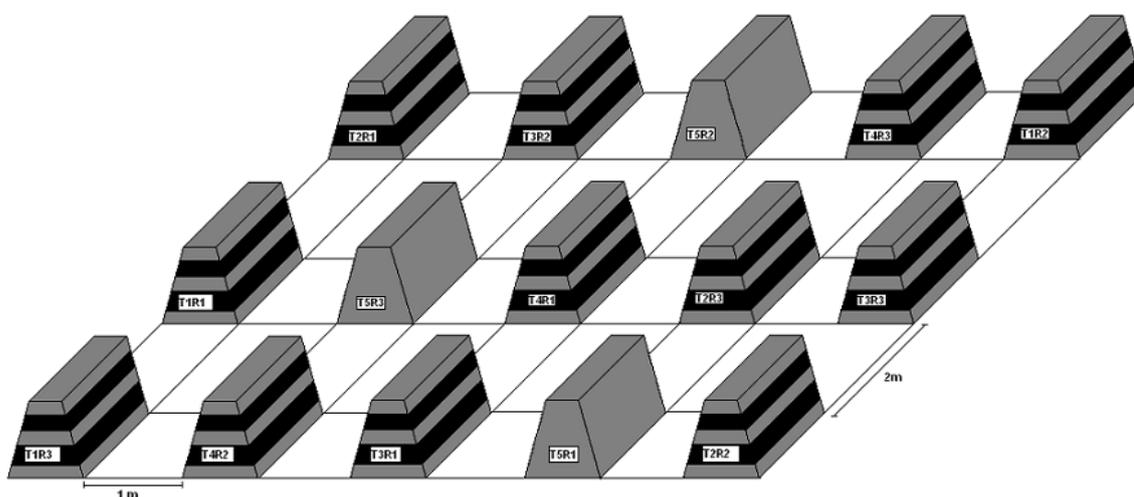


Figura 2. Distribución de las composteras en campo.

### 3) Análisis estadístico

#### a) Esquema del análisis de variancia

<b>Fuentes de Variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>
Total	<b>14</b>
Repeticiones	<b>2</b>
Tratamientos	<b>(4)</b>
T5 vs. T1 T2 T3 T4	<b>1</b>
T2 T3 vs. T1 T4	<b>1</b>
T2 vs. T3	<b>1</b>
T1 vs. T4	<b>1</b>
Error	<b>8</b>

#### b) Coeficiente de variación

Obtenido en base a la siguiente fórmula:

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{\bar{X}} * 100$$

#### c) Análisis funcional

Para el presente estudio se utilizó la prueba Tukey al 5 % .

#### d) Análisis económico

Se estableció el análisis del presupuesto parcial según Perrín *et al.* (1976) para lo cual se tomaron todos los costos variables.

#### **4) Datos a tomar y método de evaluación**

##### **a) Temperatura**

La temperatura se tomó diariamente para determinar la evolución de la actividad microbiana y asociar la presencia o ausencia de microorganismos con las temperaturas de la compostera.

##### **b) pH**

Al final del proceso se midió el pH para determinar su influencia en la población microbiana a lo largo del proceso.

##### **c) Rendimiento**

Al final del proceso se determinaron las dimensiones de las composteras para realizar una comparación con las mediciones y cálculos iniciales a fin de determinar su porcentaje (%) de rendimiento en volumen.

##### **d) Análisis nutricional del compost**

Las muestras tomadas bajo la norma técnica fueron remitidas a los laboratorios del S.E.S.A. en Tumbaco, para su análisis, y de esta manera se determinó cual de las unidades experimentales presentaba la mejor composición nutricional al finalizar el proceso.

##### **e) Relación carbono / nitrógeno**

En base a los resultados obtenidos de los análisis nutricionales realizados por el S.E.S.A. en Tumbaco, y en el laboratorio de suelos del I.A.S.A, se calculó la relación C/N para establecer que los tratamientos se encontraron dentro del rango establecido para su uso en el campo.

**f) Propiedades físicas:**

En base a resultados del laboratorio del S.E.S.A. se determinó la textura de los tratamientos.

**g) Tiempo de Compostaje**

Se refiere al tiempo transcurrido entre el inicio del proceso y la cosecha del compost. Se determinó el tiempo de compostaje para cada tratamiento y se seleccionaron los mejores de acuerdo a la optimización del tiempo de trabajo.

**5) Métodos específicos del manejo del experimento**

**a) Preparación del Terreno**

Se igualó y limpió el terreno utilizando la pala del tractor para su posterior delimitación. Se dejó una ligera pendiente para permitir el flujo del purín para su recolección y posterior aplicación.

**b) Trazado de las Composteras**

Las composteras se ubicaron en sentido perpendicular a la pendiente con las siguientes dimensiones 1.2m de ancho por 1.2m de altura y 2m de largo. Se dejó caminos de 1m entre columnas y 2m entre filas (como se observa en las Figuras 1 y 2 en las páginas 45 y 47).

### **c) Establecimiento de las Composteras**

Sobre una lamina de plástico, como base, se colocó el material original de la compostera por capas, y se cubrió con otra lamina de plástico de dimensiones similares a la cama para mantener la temperatura y humedad necesaria para la actividad microbiana



Foto 2. Composteras establecidas en campo.

### **d) Toma de Temperatura:**

Se tomó diariamente la temperatura de la zona central de la compostera con un geotermómetro, para determinar el momento más oportuno de la extracción de la muestra para relacionarla con la presencia de ciertos microorganismos en cada fase del proceso.

### **e) Toma de Muestras**

La muestra fue obtenida del centro de la compostera, en el punto de cruce de las transversales de los vértices. Se realizaron tres muestreos de manera manual una por cada fase establecida en el proceso del compostaje:

- En la fase inicial del proceso.
- En la fase termofílica: cuando se alcanzó la temperatura más alta (50-70°C).
- En la fase mesofílica: cuando se estabilizó la temperatura y el compost estaba para cosecha.



Foto 3. Toma de muestras.

#### **f) Riego de las Camas**

Con la finalidad de mantener una humedad constante del 40% para potenciar la actividad microbiana, se realizó un riego diario o con la frecuencia necesaria en función de las condiciones atmosféricas.

#### **g) Aireación de las Camas:**

Se empezó con un volteo diario para homogenizar el material y permitir la descomposición aeróbica del compost. Conforme el material se homogenizaba el volteo se realizó semanalmente hasta el momento de la cosecha.

#### **h) Recolección del Purín**

Se colectó el purín mediante canales laterales conducidos a zanjas ubicadas en la zona baja de las composteras, las que se mantuvieron limpias y libres de agentes que puedan contaminar el purín (mala hierba o basura). El líquido se acumuló y se aplicó sobre la compostera como un activador microbiano.

#### **i) Cosecha del Compost**

La cosecha del compost se realizó cuando el material cumplió las condiciones técnicas adecuadas para su aplicación en campo. Se tomó en cuenta principalmente la homogeneidad del material y sin el olor del material de origen.



Foto 4. Compost terminado.

#### **d. Características del campo experimental**

La investigación se llevó a cabo en la Hacienda “El Prado” bajo las siguientes condiciones:

Temperatura Promedio: 14.25° C

Temperatura Máxima:	20.09° C
Temperatura Mínima:	9.25° C
Altitud:	2800m
Precipitación:	1223.63 mm

## **2. Fase II Laboratorio**

### **a. Análisis Nutricional**

#### **1) Factores en estudio**

El factor en estudio fue el material utilizado para el proceso de compostaje durante cada etapa del proceso de descomposición.

#### **2) Tratamientos**

Los tratamientos estudiados en el laboratorio fueron los mismos establecidos para la fase de campo del proceso de elaboración de compost.

#### **3) Procedimientos**

##### **a) Diseño Experimental**

El diseño experimental empleado durante esta fase fue Completamente al Azar (DCA).

##### **b) Características de las unidades experimentales**

Se evaluó el material durante cada etapa del proceso de compostaje.



Foto 5. Recepción de Muestras en el Laboratorio

### **i. Número**

Se realizó el análisis de los 5 tratamientos y sus tres repeticiones, dando un total de 15 unidades experimentales.

### **ii. Análisis estadístico**

#### **i) Esquema del análisis de variancia**

<b>Fuentes de Variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>
Total	14
Tratamientos	4
Error	10

#### **i) Coeficiente de variación**

De acuerdo a la fórmula señalada anteriormente

### **ii. Análisis funcional**

Se utilizó la prueba Tukey al 5 %

#### **4) Datos a tomar y método de evaluación**

##### **a) pH**

Se tomó el pH del material para conocerlo y determinar las condiciones durante el proceso de compostaje.

##### **b) Análisis Nutricional**

Para determinar el contenido nutricional de cada tratamiento, se remitieron las muestras a los laboratorios del S.E.S.A. Tumbaco.

##### **c) Relación C/N**

Se determinó la relación inicial entre estos dos elementos para vincular con el tiempo de compostaje y su descomposición bajo condiciones similares.

#### **5) Métodos específicos del manejo del experimento**

##### **a) Toma de muestras**

Se tomó una muestra de cada repetición por tratamiento de cada fuente de materia orgánica.

##### **b) Determinación de Nitrógeno:**

La determinación del nitrógeno total se realizó con el método de Kjeldal, en el laboratorio de suelos del IASA en base al protocolo establecido por el INIAP en su metodología para análisis de suelos.

##### **c) Otros Nutrientes**

El análisis completo se llevó a cabo en los laboratorios del SESA en Tumbaco, obteniéndose los datos de: pH, textura, fósforo, potasio, materia orgánica, nitrógeno, elementos secundarios y microelementos.

**d) Interpretación de datos:**

Se tomó los resultados de los análisis para categorizar a cada tratamiento.

**6) Características del campo experimental**

**Esta fase se desarrolló bajo condiciones controladas y de acuerdo a normas de laboratorio (SESA y IASA), lo que garantiza la validez de sus resultados.**

**b. Análisis Microbiológico**

**1) Factores en estudio**

El factor en estudio fue el compost de cada tratamiento..

**2) Tratamientos**

Los tratamientos fueron los mismos establecidos para la fase de campo.

**3) Procedimientos**

El análisis estadístico fue el mismo utilizado para el análisis nutricional de las muestras.

**4) Datos a tomar y método de evaluación**

**a) Número de colonias a los tres días**

Se determinó la presencia de hongos, bacterias y bacterias esporulantes en base al crecimiento colonial en los medios específicos.

**b) Selección de colonias:**

La selección de las colonias para su purificación se realizó en base a características resaltantes en las colonias como mayor desarrollo, color, forma.

**c) Tipificación y conteo de colonias:**

Se determinó el género de los hongos, bacterias y bacterias esporulantes seleccionadas, el número de colonias de cada uno presente en las muestras de cada etapa de compostaje establecida.

**5) Métodos específicos del manejo del experimento**

**a) Recepción de las muestras:**

Las muestras obtenidas en campo fueron clasificadas y rotuladas según el tratamiento para su análisis.



Foto 6. Recepción y Pesaje de Muestras.

**b) Dilución de muestras:**

Se pesó 20g de muestra colocándose dentro de un frasco con 80cc de agua destilada esterilizada, luego se agitó por 15 minutos a 125 rpm para homogenizar el material.



Foto 7. Frascos para Dilución de las Muestras.

### c) Dilución en serie

Se tomó con la micro pipeta un mililitro de la suspensión de la muestra, transfiriéndola a un tubo de ensayo con 9ml de agua destilada esterilizada, de esta manera se continuó con las diluciones hasta  $10^{-6}$  (6 tubos por muestra) y según el tipo de microorganismo a identificar se tomó la muestra, así, para hongos  $10^{-3}$ , bacterias  $10^{-6}$  y bacterias esporulantes  $10^{-4}$ .



Foto 8. Dilución en Serie.

### d) Preparación de Medio para Hongos

Para el estudio de hongos se utilizó medio PDA (Papa Dextrosa Agar), al cual se añadió cloranfenicol en dosis de 250 mg por litro de medio.



Foto 9. Recipiente con PDA.

**e) Preparación de Medio para Bacterias**

Para el estudio de bacterias se utilizó AN (Agar nutritivo).



Foto 10. AN Dispensado en Tubos de Ensayo.

**f) Medios adicionales para Bacterias Esporulantes:**

Se emplearon los medios anotados en la Tabla 4 para el estudio de bacterias esporulantes de acuerdo al Thorter Bergey's Manual of determinative Bacteriology en la página 202.



Foto 11. Medios para Determinación de Bacterias Esporulantes

**Tabla 5. Medios para Identificación de Bacterias Esporulantes**

Medio 1	Medio 3	SIM
1g de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	7g de peptona	SIM
0,2g de Kcl	5g de glucosa	
0,2g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	5g de NaCl	
0,2g de extracto de levadura		
15g de agar		
0,008g de Bromocresol Púrpura		
5g de glucosa		

Fuente Thorter Bergey's Manual of determinative Bacteriology

**g) Tratamiento de Bacterias Esporulantes:**

Se utilizó un baño María, calibrado a 80°C para someter a la suspensión bacteriana a la prueba para determinar la presencia de endosporas.



Foto 12. Baño María.

#### **h) Siembra en cajas**

Se tomaron alícuotas (un ml) de tubos con las diluciones específicas según el microorganismo a sembrar, colocándose 1  $\mu$ l de la mezcla en cajas petri esterilizadas y luego se dispensó 20ml del medio necesario para su desarrollo, en cada una de ellas, se mezcló y dejó gelificar. Se realizaron dos repeticiones por cada tratamiento.



Foto 13. Siembra del Material en Cajas Petri.

#### **i) Incubación de cajas:**

Las cajas gelificadas donde se realizaron las siembras fueron incubadas por tres días a 27°C.



Foto 14. Incubación.

#### **j) Conteo de colonias**

Al tercer día se retiraron las cajas de la cámara de incubación y con ayuda de un contador de colonias se determinó el número de cepas presentes en cada tratamiento.



Foto 15. Colonias de bacterias tomadas para el conteo.

#### **k) Identificación de Hongos**

Primero se determinó el número de colonias semejantes por su morfología, luego se hicieron preparados que se observaron al microscopio. Se consideraron los protocolos anotados por Falconí, C. (1998), y el manual de Barnett, H y Hunter, B (1972).



Foto 16. Selección de Colonias.

#### **l) Purificación de Bacterias**

Las colonias desarrolladas en cajas con AN fueron transferidas a tubos con el mismo sustrato, luego de dos días de incubación se adicionó aceite de vaselina esterilizado para su conservación en refrigeración.

#### **m) Selección e identificación de Bacterias**

Para la determinación de género y especie de bacterias se utilizó el kit para identificación de bacterias API 20E con las cepas que no fueron sometidas a tratamiento de calor para bacterias esporulantes. Se realizó el procedimiento especificado en el manual de empleo adjunto al kit. La interpretación de los resultados se realizó en base al código obtenido y contenido en el manual de interpretación de resultados consultado en el laboratorio de microbiología de la Universidad Católica.



Foto 17. Identificación de Bacterias Mediante Kit API 20E.

n) **Selección e identificación de Bacterias Esporulantes:**

Las bacterias positivas para endosporas fueron reactivadas para tener cultivos frescos (24h), los mismos que fueron transferidos a los medios 1, 3 y SIM (para movilidad, desarrollo y presencia o ausencia de gas).

Las cepas sembradas se colocaron en incubación por 24 a 36h y se observaron las reacciones según las indicaciones del Thorter Bergey's Manual of Determinative Bacteriology.



Foto 18. Identificación de Bacterias Esporulantes.

o) **Reacciones adicionales**

Se realizó tinción de Gram de acuerdo al método propuesto por Falconí, C. (1998).

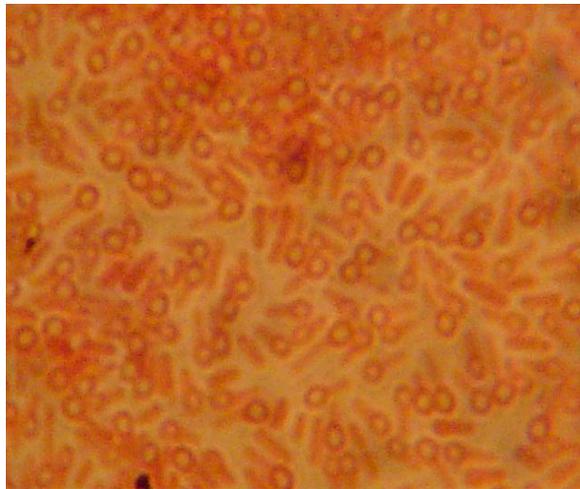


Foto 19. Tinción Gram de las Bacterias.

Otra prueba adicional fue la determinación de Oxidasa que es fundamental para la determinación de grupos bacterianos.



Foto 20. Prueba de Oxidasa.

Por último se estudió la forma de las bacterias, la presencia de endosporas, y su ubicación sea esta central o terminal, lo que ayudó a determinar las especies del género *Bacillus*.

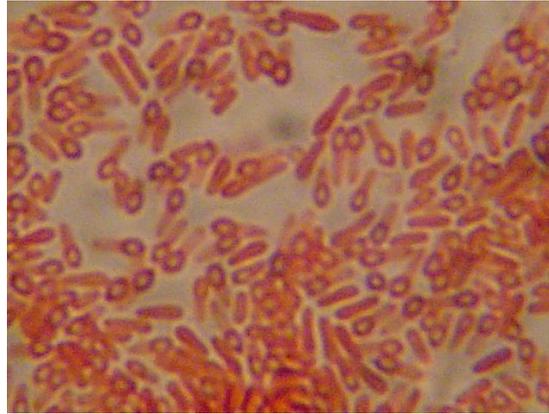


Foto 21. Identificación de Forma.

**p) Conteo de Nematodos:**

Una vez que la muestra fue homogenizada se tomaron al azar 40 g de la misma que se transfirió a un frasco que luego se cubrió con una malla asegurada con una banda elástica. El frasco invertido se colocó sobre un embudo con papel kleenex para evitar el paso de partículas de mayor tamaño y se colocó agua hasta el borde para que estuviera en contacto con el compost.



Foto 22. Extracción de Nematodos.

Luego de 24 horas, el líquido acumulado en el embudo se colocó en un recipiente se aforó a 100 ml, luego se procedió a su agitación. De esta suspensión se dispensó 10ml en una caja cuenta colonias que facilita el conteo del número de larvas bajo el estereo microscopio.

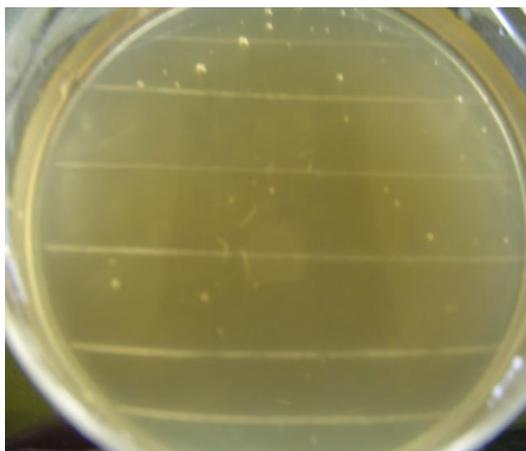


Foto 23. Conteo de Nematodos.

De esta muestra se seleccionaron nemátodos para la identificación del género bajo el microscopio.

#### **6) Características del campo experimental**

Esta fase del trabajo se llevó a cabo bajo condiciones controladas en el laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias I.A.S.A. de la Escuela Politécnica del Ejército, ubicado en la Hacienda el Prado

### **3. Fase III. Pruebas de Emergencia**

#### **a. Factores en estudio**

El factor en estudio fue cada tipo de compost obtenido del proceso de elaboración. Se realizó un “screening” de emergencia con cuatro diferentes especies vegetales, dos de hortalizas: lechuga (*Lactuca sativa*) y Brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*); y, dos de flores de verano: Girasol (*Helianthus annuus*) y Larkspur (*Delphinium consolida*).

**b. Procedimientos:**

Se evaluó el compost homogenizado de las tres repeticiones de los cinco tratamientos, y la turba comercial que sirvió como testigo. Se realizó la prueba de germinación en papel húmedo en el germinador para determinar posibles problemas patológicos o germinativos de las semillas sometidas a la prueba de emergencia.

**c. Análisis estadístico**

Dada la naturaleza de las pruebas de emergencia, se realizó una comparación simple entre los resultados de las pruebas. Complementando con el análisis de variancia y la prueba de Tukey a 5 %.

**d. Datos a tomar y método de evaluación**

**1) Porcentaje de Emergencia**

Se determinó el número de plantas emergidas respecto al número de semillas sembradas

**e. Métodos específicos del manejo del experimento**

**1) Prueba de Germinación en Papel Húmedo:**



Foto 24. Prueba en Papel Húmedo.

Se realizó una prueba de germinación previa al ensayo en laboratorio con papel húmedo que se colocó dentro de una funda sellada. En el papel húmedo se colocaron 40 semillas. El germinador se mantuvo a 30°C por cinco días para realizar el conteo.

## 2) Preparación de las Bandejas de Germinación

En cada una de las bandejas se colocó el Compost obtenido de los cinco tratamientos y la turba comercial.



Foto 25. Bandejas con el Material a Evaluar.

## 3) Siembra de las Semillas

Se sembraron 40 semillas de cada especie en el compost procedente de cada tratamiento y en la turba comercial en los orificios de las respectivas bandejas. Se colocó un

plástico para mantener la temperatura cuando fuera necesaria dentro de las bandejas de germinación.

#### 4) **Riego**

Se mantuvo riego diario a fin de mantener la humedad necesaria para la germinación de las semillas.

#### 5) **Conteo de plantas emergidas**

Se realizó el conteo del número de plantas emergidas en relación con las semillas sembradas por cada tratamiento y testigo a los siete días de la siembra.

#### f. **Características del campo experimental**

Bandejas de Germinación dispuestas por tratamientos bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y luminosidad.

### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **A. FASE INICIAL**

##### 1. **Relación Carbono / Nitrógeno**

Al establecer el análisis de varianza para Relación Carbono / Nitrógeno en la fase inicial, no se encontró diferencias estadísticas para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferenciaron a nivel del 1%.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se encontraron diferencias estadísticas a nivel del 1% dentro de todas las comparaciones ortogonales (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Análisis de Variancia Para la Relación Carbono / Nitrógeno Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	RELACION C/N FASE INICIAL		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	452.000		
REPETICIONES	2	3.600	1.800	2.510 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	442.670	110.667	154.420**
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	350.417	350.417	488.953**
T1,T2 vs. T3,T4	1	30.083	30.083	41.977**
T1 vs. T2	1	54.000	54.000	75.349**
T3 vs. T4	1	8.167	8.167	11.395**
ERROR	8	5.730	0.717	
$\bar{X}$ (C/N)		51.00		
CV(%)		1.66		

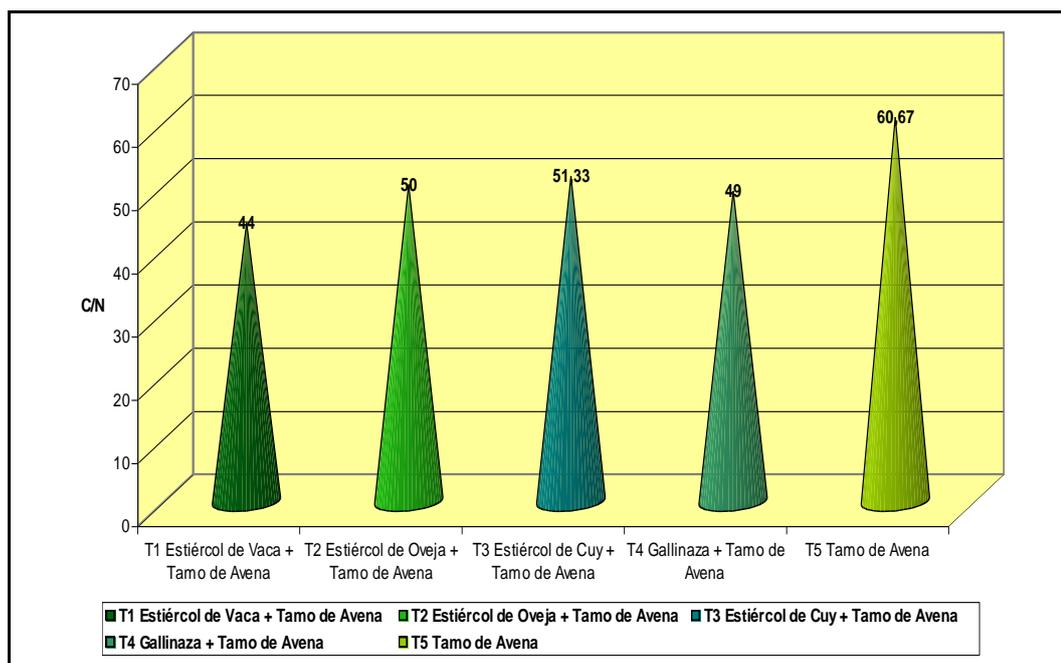
El promedio de la Relación Carbono / Nitrógeno de la Fase Inicial fue de 51.00, con un coeficiente de variación del 1.66%

Al analizar los promedios de los tratamientos en estudio, el tamo de avena (T5) ocupa el primer rango con 60.667, el segundo rango lo comparten los tratamientos con estiércol de cuy, oveja y gallinaza más tamo de avena, mientras que el tratamiento con estiércol de vaca ocupa el tercer rango (Cuadro 2).

Del análisis anterior se desprende que la adición de tamo de avena incrementó la relación carbono / nitrógeno, debido al alto contenido de carbono que posee este material vegetal. Esto se debe al mayor contenido de hidratos de carbono estructurales en todo material de origen vegetal (Cuadro 2 y Gráfico 1).

**Cuadro 2. Promedio de la Relación Carbono / Nitrógeno Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tuckey al 5%.**

TRATAMIENTOS	RELACION C/N FASE INICIAL
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	44.00 c
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	50.00 b
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	51.33 b
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	49.00 b
T5 Tamo de Avena	60.67 a



**Gráfico 1. Relación Carbono/ Nitrógeno Inicial de los Materiales Sometidos al Proceso de Compostaje**

## 2. Materia Orgánica

Al establecer el análisis de varianza para el porcentaje de Materia Orgánica en la fase inicial, no se encontró diferencias estadísticas para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferenciaron a nivel del 1%.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se encontraron diferencias estadísticas a nivel del 1% dentro de todas las comparaciones ortogonales (Cuadro 3).

El promedio del contenido de Materia Orgánica en la fase inicial fue de 60.54%, con un coeficiente de variación del 3.28%

**Cuadro 3. Análisis de Variancia Para el Porcentaje de Materia Orgánica Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) Hacienda El Prado 2005.**

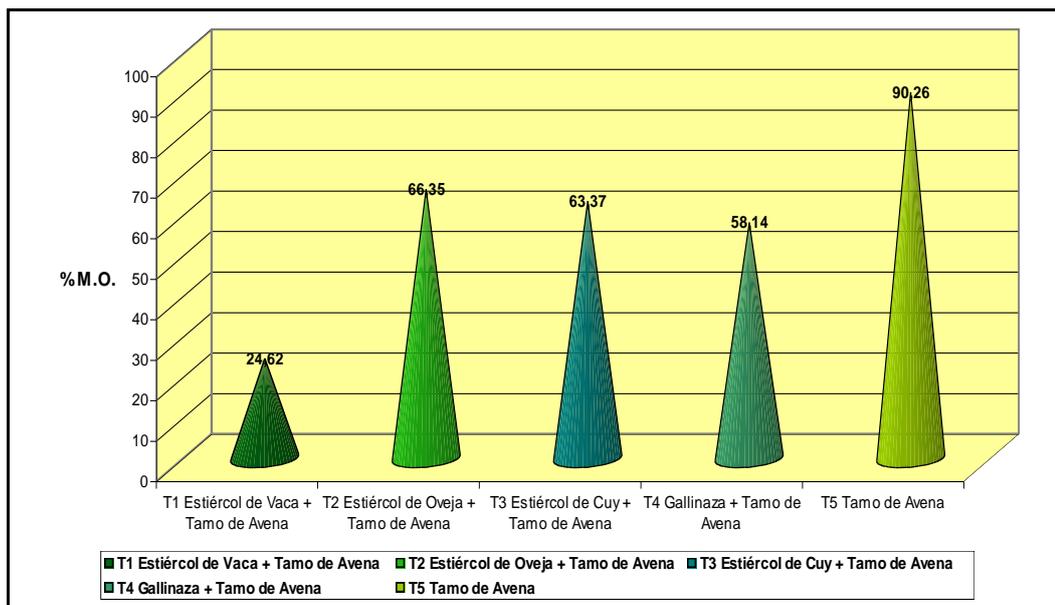
FUENTES DE VARIACIÓN	GL	MATERIA ORGANICA FASE INICIAL		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	6700.700		
REPETICIONES	2	4.530	2.265	0.570 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	6664.530	1666.32	421.240**
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	3310.957	3310.957	837.102**
T1,T2 vs. T3,T4	1	699.671	699.671	176.896**
T1 vs. T2	1	2612.924	2612.924	660.620**
T3 vs. T4	1	40.977	40.977	10.360**
ERROR	8		3.955	
$\bar{X}$ (%)		60.54		
CV(%)		3.28		

Al comparar los promedios de los tratamientos en estudio se observa que el tamo de avena (T5) ocupa el primer rango con 90.26%, en el segundo rango está el estiércol de oveja mas tamo de avena con 66.35%, el tercer rango ocupa el estiércol de cuy agregado a tamo de avena con 63.37%, la gallinaza mezclada con tamo de avena con 58.14% ocupa el cuarto rango y el ultimo rango pertenece al estiércol de vaca más tamo de avena con 24.62% (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Promedio de Porcentaje de Materia Orgánica Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tuckey al 5%.**

TRATAMIENTOS	MATERIA ORGANICA FASE INICIAL
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	24.62 d
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	66.35 b
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	63.37 bc
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	58.14 c
T5 Tamo de Avena	90.26 a

Del análisis anterior se desprende que el contenido de materia orgánica está íntimamente ligado al contenido de carbono por cuanto todo compuesto orgánico contiene a este elemento en su molécula (Cuadro 4 y Gráfico 2).



**Gráfico 2. Porcentaje Inicial de Materia Orgánica de los Materiales Sometidos al Proceso de Elaboración de Compost**

### 3. pH

Al establecer el análisis de varianza para pH durante la Fase Inicial durante el Proceso de Elaboración de Compost, no se encontraron diferencias estadísticas para repeticiones, mientras que para tratamientos se encontraron diferencias a nivel del 1%.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos, se encontraron diferencias estadísticas a nivel del 1% para todas las comparaciones ortogonales (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Análisis de Variancia Para el pH en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	pH FASE INICIAL		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	10.12		
REPETICIONES	2	0.02	0.011	0.85 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	10.00	2.490	202.87**
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	5.442	5.442	441.787**
T1,T2 vs. T3,T4	1	0.837	0.837	67.981**

T1 vs. T2	1	0.416	0.416	33.776**
T3 vs. T4	1	3.30	3.300	267.927**
ERROR	8	0.10	0.012	
$\bar{X}$ (pH)	8.421			
CV(%)	1.32			

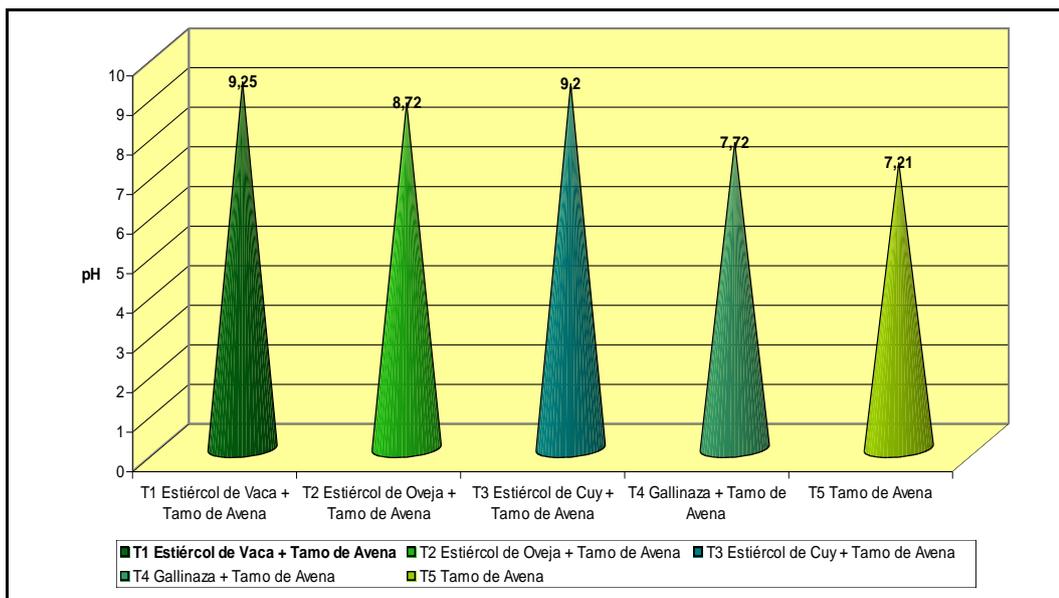
El promedio de pH para la fase final del proceso de elaboración de compost fue de 8.421, con un coeficiente de variación del 1.32%

Al comparar los promedios de los tratamientos en estudio se observa que comparten el primer rango el proveniente de estiércol de vaca y el estiércol de cuy con 9.25 y 9.20 respectivamente. El segundo rango lo ocupa el tratamiento con estiércol de oveja con 8.72, seguido por el tratamiento con gallinaza con 7.72, y finalmente el tamo de avena con 7.21 (Cuadro 6)

En el análisis anterior se observa que los tratamientos procedentes de animales herbívoros poseen un pH básico mientras que los tratamientos procedentes de la gallinaza y el tamo de avena tienden a ser neutros. Esto se debe probablemente al contenido más elevado de elementos que favorecen la condición de los primeros como el calcio y magnesio (Cuadro 6 y Gráfico 3).

**Cuadro 6. Promedio de pH en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tuckey al 5%.**

TRATAMIENTOS	pH FASE INICIAL
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	9.25 a
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	8.72 b
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	9.20 a
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	7.72 c
T5 Tamo de Avena	7.21 d



**Gráfico 3. pH Inicial de los Materiales Sometidos al Proceso de Compostaje**

#### 4. Macro elementos

Al establecer el análisis de varianza para macro elementos (N, P y K) presentes en la fase inicial, para repeticiones sólo se detectó diferencias estadísticas a nivel del 5% dentro del N (%). A nivel de tratamientos se encontró diferencias estadísticas a nivel del 1% para N (%) y P (ppm), mientras que para K (%) se encontró diferencia estadística a nivel del 5% en tratamientos.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se encontró diferencias estadísticas a nivel del 5% al comparar el testigo (T5) versus el resto de tratamientos en P (ppm) y K (%). Al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes con los tratamientos provenientes de los monogástricos (T1,T2 vs. T3,T4), se detectó diferencias estadísticas a nivel del 5% para N(%) y del 1% para P(ppm).

Al comparar los tratamientos dentro de los rumiantes (T1 vs. T2) se estableció diferencias estadísticas a nivel del 1% para los tres casos (N, P y K); mientras los tratamientos dentro de los monogástricos (T3 vs. T4) obtuvieron diferencias estadísticas a nivel del 1% igualmente para los tres casos (N, P y K) (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Análisis de Variancia Para Macro Elementos Presentes en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	MACRO ELEMENTOS FASE INICIAL		
		N (%)	P (ppm)	K (%)
TOTAL	14			
REPETICIONES	2	0.066*	31.400 <sup>ns</sup>	0.000 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	0.267**	610.430**	0.460*
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	0.010 <sup>ns</sup>	756.150*	0.350*
T1,T2 vs. T3,T4	1	0.074*	1102.080**	0.001 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	0.096**	433.500**	1.470**
T3 vs. T4	1	0.897**	150.000**	0.019**
ERROR	8	0.016	10.483	0.002
$\bar{X}(\%)$		2.14	135.80	1.05
CV(%)		5.85	2.38	4.53

El promedio de Macro nutrientes presentes en la fase inicial expresado en porcentaje y partes por millón, para N(%) fue de 2.14, para P(ppm) fue de 135.80 y para K(%) fue de 1.05, con coeficientes de variación de 5.85%, 2.38% y 4.53% respectivamente.

Al comparar los promedios de todos los tratamientos en estudio se aprecia que para el N (%) el tratamiento con gallinaza ocupa el primer rango, a continuación en el segundo rango comparten el testigo (T5) y el tratamiento con estiércol de vaca, el tratamiento con estiércol de cuy ocupa el tercer rango. Para el P (ppm) el tratamiento con estiércol de oveja comparte el primer lugar del primer rango con el testigo (T5) continuando en el segundo rango los tratamientos con estiércoles de vaca y cuy, en el tercer rango se ubicó el tratamiento con gallinaza. Para el K (%) el tratamiento con estiércol de oveja se encuentra en el primer rango, mientras que en el segundo y tercer rango se encuentran los tratamientos con estiércoles de cuy y gallina respectivamente, mientras que el cuarto y quinto rango para los tratamientos con estiércol de vaca y el testigo respectivamente (Cuadro 8).

Del análisis anterior se observa el alto contenido de N (%) en la gallinaza debido a que es una mezcla de heces y orina (guano), mientras el resto se mantiene dentro de los parámetros previstos. Al observar el P (ppm) del tamo de avena solo, y

el mismo más la adición de estiércol de oveja poseen un alto contenido de P, debido al material vegetal presente. Al comparar los promedios de K (%) el estiércol de oveja más la adición de tamo de avena poseen un alto contenido del elemento debido a las propiedades iniciales del mismo estiércol.

**Cuadro 8. Promedio de Macro Elementos Presentes en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tuckey al 5%.**

TRATAMIENTOS	MACRO ELEMENTOS INICIAL		
	N (%)	P (ppm)	K (%)
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	1.98 bc	133.33 b	0.64 d
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	2.20 b	150.33 a	1.63 a
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	1.84 c	127.66 b	1.18 b
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	2.61 a	117.66 c	1.06 bc
T5 Tamo de Avena	2.09 bc	150.00 a	0.75 cd

## 5. Elementos Secundarios

Al establecer el análisis de varianza para elementos secundarios (Ca y Mg) presentes en la fase inicial, no se detectó diferencia estadística para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferencian estadísticamente a nivel del 1% para los dos elementos.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se encontró diferencias estadísticas a nivel del 1% al comparar el testigo (T5) versus el resto de tratamientos, al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes versus los provenientes de monogástricos (T1,T2 vs. T3,T4) dentro del Ca (%) y Mg (%) y también al comparar los provenientes de rumiantes (T1 vs. T2) dentro del Ca (%). Se encontraron diferencias estadísticas a nivel del 5% al comparar los tratamientos provenientes de monogástricos dentro (T3 vs. T4) del Mg (%). Para el resto de comparaciones ortogonales no se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Análisis de Variancia Para Elementos Secundarios Presentes en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	ELEMENTOS SECUNDARIOS FASE INICIAL	
		Ca (%)	Mg (%)
TOTAL	14		
REPETICIONES	2	0.001 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	0.084 <sup>**</sup>	0.054 <sup>**</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	0.268 <sup>**</sup>	0.140 <sup>**</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	0.025 <sup>**</sup>	0.066 <sup>**</sup>
T1 vs. T2	1	0.043 <sup>**</sup>	0.004 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	0.000 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>*</sup>
ERROR	8	0.002	0.002
$\bar{X}(\%)$		0.54	0.37
CV(%)		7.25	10.56

El promedio de elementos secundarios presentes en la fase inicial expresado en porcentaje, para Ca(%) fue de 0.54 y para Mg(%) fue de 0.37, con coeficientes de variación de 7.25% y 10.56% respectivamente.

Al comparar todos los tratamientos en estudio se aprecia que para el Ca (%) comparten el primer rango los tratamientos con estiércol de cuy, gallinaza y oveja, seguidos del tratamiento con estiércol de vaca. Para el Mg (%) el tratamiento con estiércol de vaca ocupa el primer rango, a continuación están los tratamientos con estiércoles de oveja y cuy para el segundo y tercer rango. El testigo (T5) en ambos elementos su promedio ocupa el ultimo rango (Cuadro 10).

Del análisis anterior se desprende que la adición de materia orgánica animal aumenta los contenidos de Ca y Mg, que utilizando solo material vegetal.

**Cuadro 10. Promedio de Elementos Secundarios Presentes en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tuckey al 5%.**

TRATAMIENTOS	ELEMENTOS SECUNDARIOS FASE INICIAL	
	Ca (%)	Mg (%)
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	0.48 b	0.52 a
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	0.65 a	0.47 ab
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	0.66 a	0.38 bc

T4 Gallinaza + Tamo de Avena	0.65 a	0.31 c
T5 Tamo de Avena	0.27 c	0.18 d

## 6. Micro elementos

Al establecer el análisis de varianza para los micro elementos durante la fase inicial del proceso de elaboración de compost solo se detectó diferencia estadística a nivel del 5% para repeticiones dentro del cobre, mientras que los tratamientos se diferencian estadísticamente a nivel del 1% dentro de todos los micro nutrientes.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos en estudio se encontró diferencia estadística a nivel del 1% para todos los micro elementos al comparar el testigo T5 vs. el resto de tratamientos. Se encontraron diferencias estadísticas a nivel del 1% para todos los micro nutrientes al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes con los tratamientos provenientes de los monogástricos (T1,T2 vs. T3,T4).

Al comparar los tratamientos dentro de los rumiantes (T1 vs. T2) se encontró diferencia estadística para todos los micro nutrientes a nivel del 1%, mientras que para los tratamientos dentro de los monogástricos (T3 vs. T4) se encontró diferencia estadística a nivel del 1% dentro del hierro, dentro del manganeso y dentro del cobre y ninguna diferencia estadística dentro del cinc (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Análisis de Variancia Para Micro Elementos Presentes en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	MICRO ELEMENTOS FASE INICIAL			
		Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
TOTAL	14				
REPETICIONES	2	6.867 <sup>ns</sup>	6.067 <sup>ns</sup>	1.955 *	1.400 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	1904.767 **	1875.767 **	4933.427 **	2763.267 **
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	2509.067 **	2842.820 **	507.504 **	1793.067 **
T1,T2 vs. T3,T4	1	3333.333**	2494.083 **	7032.521 **	8965.333 **

T1 vs. T2	1	42.670 **	2053.500 **	16.667 **	294.000 **
T3 vs. T4	1	1734.000 **	112.667 **	12177.015 **	0.667 <sup>ns</sup>
ERROR	8	6.867	7.067	0.555	5.317
$\bar{X}$ (ppm)		58.13	61.53	27.97	46.20
CV(%)		4.51	4.32	2.66	4.99

El promedio para los micro nutrientes expresado en ppm fue de 58.13 para el hierro, 61.53 para el manganeso, 27.97 para el cobre y 46.20 para el cinc con coeficientes de variación del 4.51%, 4.32%, 2.66% y 4.99% respectivamente

Al comparar todos los tratamientos en estudio se aprecia que para el hierro, el primer rango lo comparten el tratamiento que contiene gallinaza con 85.33 ppm, y el testigo con 84.00 ppm. El segundo rango lo ocupa el estiércol de cuy con 51.33 ppm y el último rango lo comparten el estiércol de vaca con 37.67 ppm y el estiércol de oveja con 2.33 ppm en último lugar.

Para el manganeso el primer rango lo ocupa el estiércol de vaca con 101.33 ppm, el segundo rango lo ocupan el estiércol de oveja con 64.33 ppm y el de cuy con 58.33 ppm. El tercer rango es para la gallinaza con 48.67 ppm y por supuesto el último rango lo ocupa el testigo con 34.00 ppm.

Para el cobre se tiene tres rangos, donde el tratamiento con mayor contenido es la gallinaza con 100.13 ppm, seguido por el testigo con 16.33 ppm y el finalmente los estiércoles de cuy con 10.03 ppm, de oveja con 8.33 ppm y de vaca con 5 ppm.

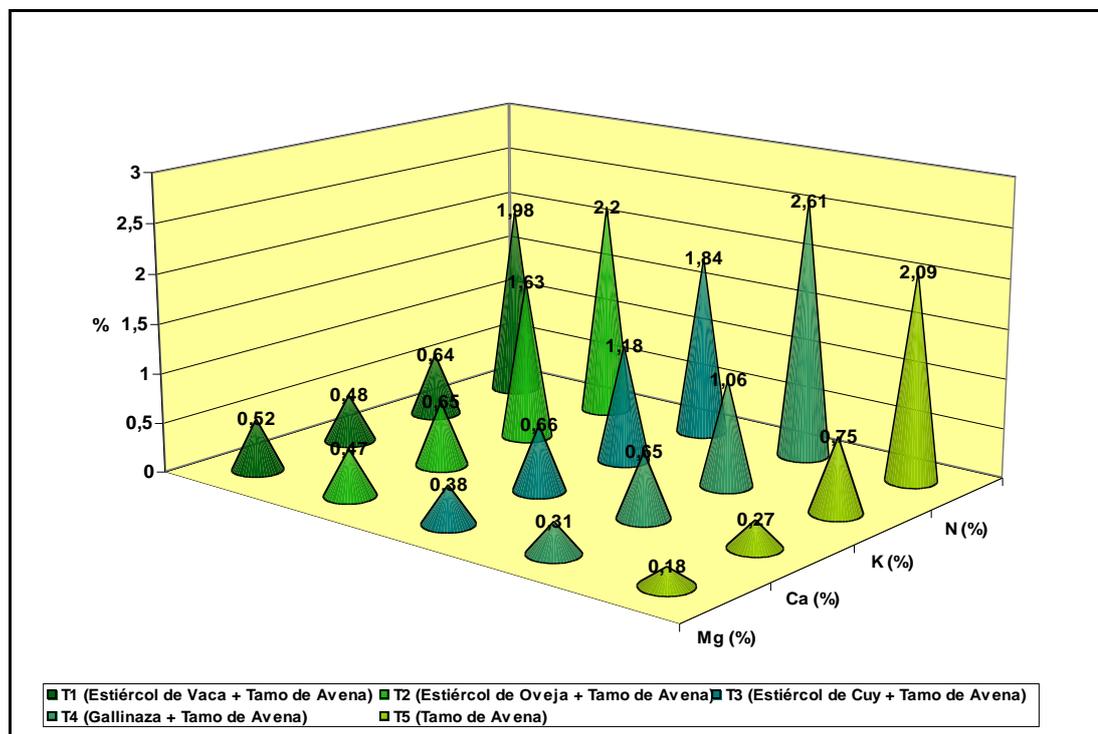
Para el cinc se aprecian cuatro rangos, el primero para la gallinaza con 79.33 ppm y el estiércol de cuy con 78.67 ppm, el segundo del estiércol de oveja con 31.33 ppm, el tercero para el testigo con 24.33 ppm y el último el estiércol de vaca con 17.33 ppm (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Promedio de Micro Elementos Presentes en la Fase Inicial del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tuckey al 5%.**

TRATAMIENTOS	MICRO ELEMENTOS FASE INICIAL			
	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	37.67 c	101.33 a	5.00 c	17.33 d

T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	32.33 c	64.33 b	8.33 c	31.33 b
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	51.33 b	58.33 b	10.03 c	78.67 a
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	85.33 a	49.67 c	100.13 a	79.33 a
T5 Tamo de Avena	84.00 a	34.00 d	16.33 b	24.33 c

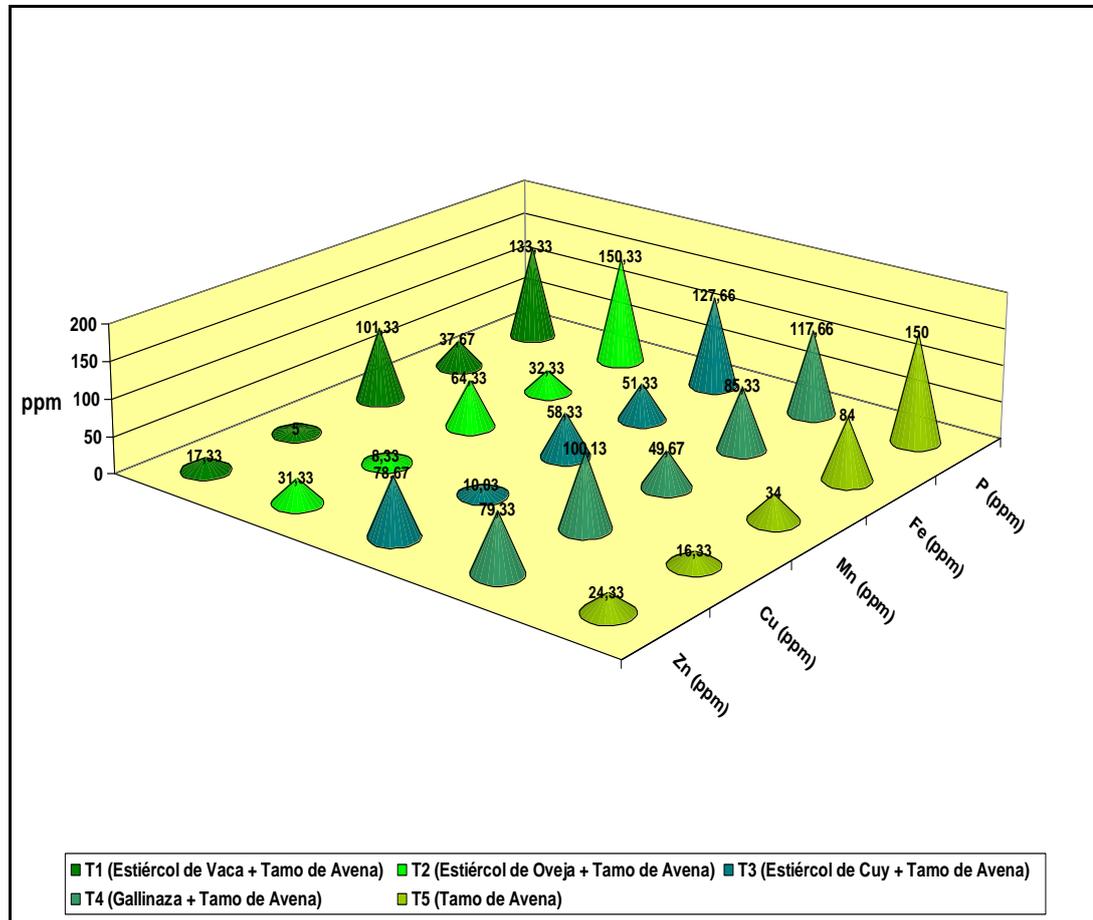
Del análisis anterior se desprende que la mezcla de materia orgánica animal mas tamo de avena para los tratamientos en estudio mejora el contenido inicial de micro nutrientes, exceptuando el caso del hierro donde la mayor cantidad del aporte lo proporciona el tamo de avena. Se puede añadir que el mejor tratamiento en cuanto a contenidos corresponde a la gallinaza más tamo de avena.



**Gráfico 4. Contenido Inicial de Nutrientes Expresados en Porcentaje de los Materiales Sometidos al Proceso de Compostaje.**

Los Gráficos 4 y 5, sintetizan lo analizado anteriormente en lo que se refiere al contenido inicial de nutrientes de los materiales sometidos al proceso de elaboración del compost. Dentro de estos destaca el T3 compuesto por estiércol de oveja y tamo de avena en su contenido inicial de macro elementos así como de elementos secundarios. Obviamente, el material con mayor contenido de nitrógeno es el T4 perteneciente a la gallinaza por cuanto el desecho de aves es un compuesto de heces y orina. Ante esta situación sería ideal la recolección de las orinas de los animales para enriquecer el material en cuanto a su contenido de nitrógeno.

Igualmente los Gráficos, permiten ver con mayor claridad la ventaja que tiene la gallinaza respecto a los demás estiércoles en lo referente al contenido de micro nutrientes.



**Gráfico 5. Contenido Inicial de Nutrientes Expresados en ppm de los Materiales Sometidos al Proceso de Compostaje.**

## B. FASE TERMOFÍLICA

### 1. Temperatura de Muestra

Al establecer el análisis de varianza para la temperatura de muestra durante la fase termofílica del proceso de elaboración del compost, no se encontró diferencia estadística para repeticiones mientras que los tratamientos se diferenciaron a nivel del 5%.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se encontró diferencia estadística a nivel del 1% para la temperatura de muestra al comparar el testigo T5 vs. el resto de tratamientos. Lo mismo ocurrió al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes con los tratamientos provenientes de los monogástricos (T1,T2 vs. T3,T4).

Al comparar los tratamientos dentro de los rumiantes con los tratamientos dentro de los monogástricos (T1 vs. T2 y T3 vs. T4) no se detectó diferencia estadística (Cuadro 13).

**Cuadro 13. Análisis de Variancia Para la Temperatura de Muestra Durante la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	TEMPERATURA DE MUESTRA		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	480.930		
REPETICIONES	2	37.730	18.867	2.190 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	374.27	93.567	10.860 *
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	153.600	153.600	17.826 **
T1,T2 vs. T3,T4	1	161.333	161.333	18.723 **
T1 vs. T2	1	16.667	16.667	1.934 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	42.667	42.667	4.952 <sup>ns</sup>
ERROR	8	68.93	8.617	
$\bar{X}$ (°C)			49.07	
CV(%)			5.98	

El promedio de temperatura expresado en grados Celsius fue de 49.07 con un coeficiente de variación de 5.98%.

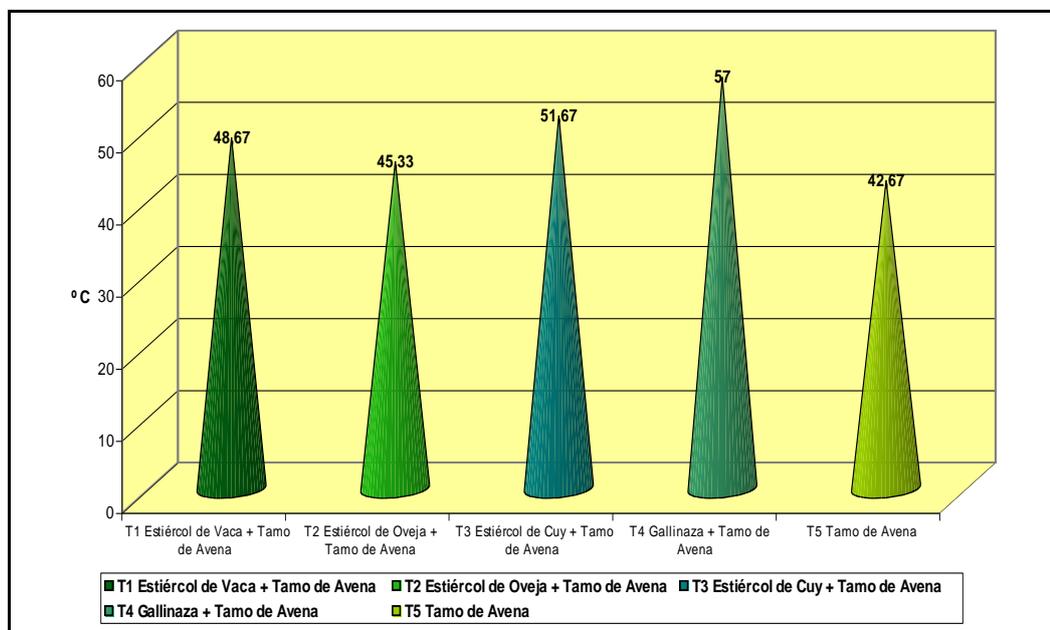
La mayor temperatura se registró en el T4 que contiene gallinaza con 57.00° C, seguido por el T3 de estiércol de cuy con 51.67° C, lo que refleja una mayor actividad microbiana dentro de estas composteras. Los tratamientos con estiércol de vaca y estiércol de oveja (T1 y T2) ocuparon el siguiente rango, lo que manifiesta una actividad biológica menor durante esta etapa, mientras que el testigo

registró la menor temperatura lo que refleja un predominio de la actividad fúngica sobre la bacteriana en este tratamiento.

El pico de temperatura se observa en el Cuadro 14 y en el Gráfico 6 y corresponde al inicio de una etapa donde la actividad de bacterias formadoras de esporas predomina sobre los otros microorganismos alcanzando temperaturas pico que eliminan todo tipo de microorganismos perjudiciales.

**Cuadro 14. Promedio de la Temperatura de Muestra Durante la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tuckey al 5%.**

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA DE MUESTRA
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	48.67 bc
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	45.33 bc
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	51.67 ab
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	57.00 a
T5 Tamo de Avena	42.67 c



**Gráfico 6. Temperatura de Muestra de los Materiales Sometidos al Proceso de Elaboración de Compost Durante la Fase Termofílica.**

## 2. Hongos

Al establecer el análisis de varianza para la población de hongos en la fase termofílica del proceso de elaboración de compost no se detectó diferencia estadística para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferencian estadísticamente a nivel del 1%. Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se encontró diferencia estadística a nivel del 1% al comparar el testigo T5 vs. el resto de tratamientos, al igual que al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes con los tratamientos provenientes de los monogástricos (T1T2 vs. T3T4).

Al comparar los tratamientos dentro de los rumiantes (T1 vs. T2) no se encontró diferencia, lo mismo que al comparar los tratamientos dentro de los monogástricos (T3 vs.T4) (Cuadro 15).

El promedio general de hongos presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost expresado en ufc \* 10<sup>4</sup> /g fue de 18.27 con un coeficiente de variación del 18.51%.

**Cuadro 15. Análisis de Variancia Para Hongos (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) en la Hacienda El Prado 2005..**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	HONGOS FASE TERMOFÍLICA		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	2434.930		
REPETICIONES	2	2.530	1.267	0.110 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	2340.930	585.233	51.190 **
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	2294.017	2294.017	200.643 **
T1,T2 vs. T3,T4	1	6.750	6.750	0.590 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	37.500	37.500	3.280 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	2.670	2.667	0.233 <sup>ns</sup>
ERROR	8	91.470	11.433	
$\bar{X}$ (ufc * 10 <sup>4</sup> /g)			18.27	
CV(%)			18.51	

Al comparar todos los tratamientos en estudio se aprecia que la mayor población de hongos durante la fase termofílica pertenece al testigo (T5) que ocupa solo el primer rango. El segundo rango lo ocupan los tratamientos que incluyen estiércol animal dentro de los cuales destaca en primer lugar el estiércol de oveja (T2) con  $15.33 * 10^4$  /g ufc, seguido por la gallinaza (T4) con  $12 * 10^4$  /g ufc, el estiércol de cuy con  $10.67 * 10^4$  ufc y el estiércol de vaca con  $10.33 * 10^4$  /g ufc (Cuadro 16).

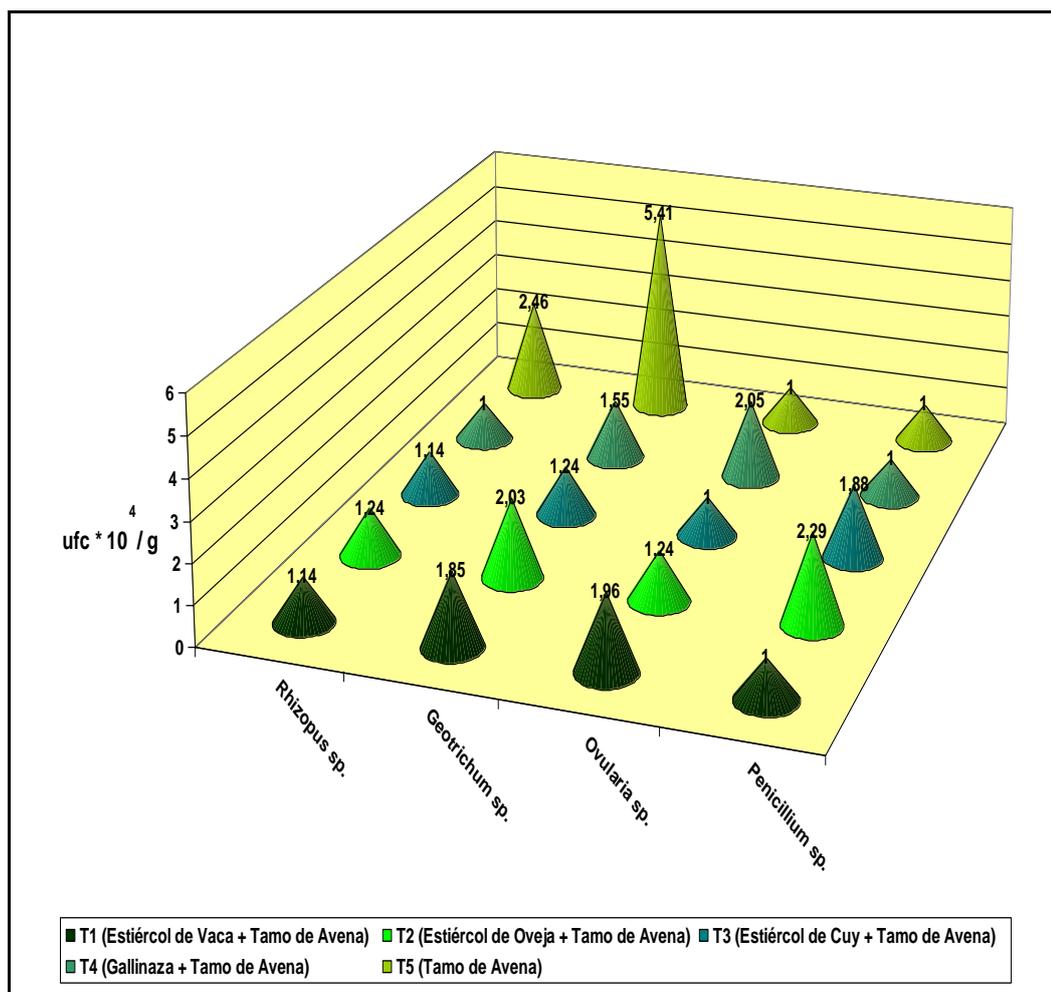
Del análisis anterior se desprende que la adición de materia orgánica animal se traduce en una menor población fúngica durante la fase termofílica del proceso de elaboración del compost.

**Cuadro 16. Promedio de Hongos (ufc \* $10^4$  por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tukey al 5%.**

TRATAMIENTOS	HONGOS FASE TERMOFILICA
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	10.33 b
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	15.33 b
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	10.67 b
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	12.00 b
T5 Tamo de Avena	43.00 a

En el Gráfico 7 se observa con claridad que la mayor población fúngica se desarrolla dentro del tamo de avena, esto se debe sin duda a la menor temperatura pico alcanzada lo que ocasiona que las poblaciones de hongos no disminuyan a más del sustrato vegetal que es buen medio de cultivo natural para los hongos, lo que si ocurre en los tratamientos con estiércol animal, los mismos que demostraron una temperatura de muestra superior y consecuentemente el inicio marcado de la etapa termofílica donde la población de hongos se vio afectada.

Por tal razón se puede señalar que en lo referente a la temperatura de las composteras, esta aumenta con la adición de materia orgánica animal lo que se debe a la mayor población bacteriana que este material contiene. Esto se traduce en una disminución de agentes patógenos que mueren a temperaturas superiores a los 65°.



**Gráfico 7. Población de Hongos de los Materiales Sometidos al Proceso de Compostaje Expresado en ufc \* 10<sup>4</sup> por Gramo Durante la Fase Termofílica.**

**a. Hongos Representativos**

Al establecer el análisis de varianza para los hongos *Rhizopus* sp., *Geotrichum* sp., *Ovularia* sp. y *Penicillium* sp. durante la fase termofílica no se detectó diferencia estadística para repeticiones; para tratamientos, sólo *Rhizopus* sp. y *Geotrichum* sp. se diferenciaron estadísticamente a nivel del 1%.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos únicamente se encontraron diferencias estadísticas a nivel del 1% al comparar el testigo (T5) versus el resto de tratamientos dentro de *Rhizopus* sp. y de *Geotrichum* sp. y al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes (R1 vs. T2) dentro de *Penicillium* sp., para el

resto de comparaciones ortogonales no se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 17).

El promedio de hongos presentes en la fase termofílica expresado ufc \* 10<sup>4</sup> /g para *Rhizopus* sp. fue de 1.39, para *Geotrichum* sp. fue de 2.42 y para *Ovularia* sp. fue de 1.45 y *Penicillium* sp. 1.44 con coeficientes de variación de 29.32%, 32.99%, 51.82% y 47.67% respectivamente.

**Cuadro 17. Análisis de Variancia Para Hongos Representativos (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Transformación Raíz de X + 1. Hacienda El Prado 2005.**

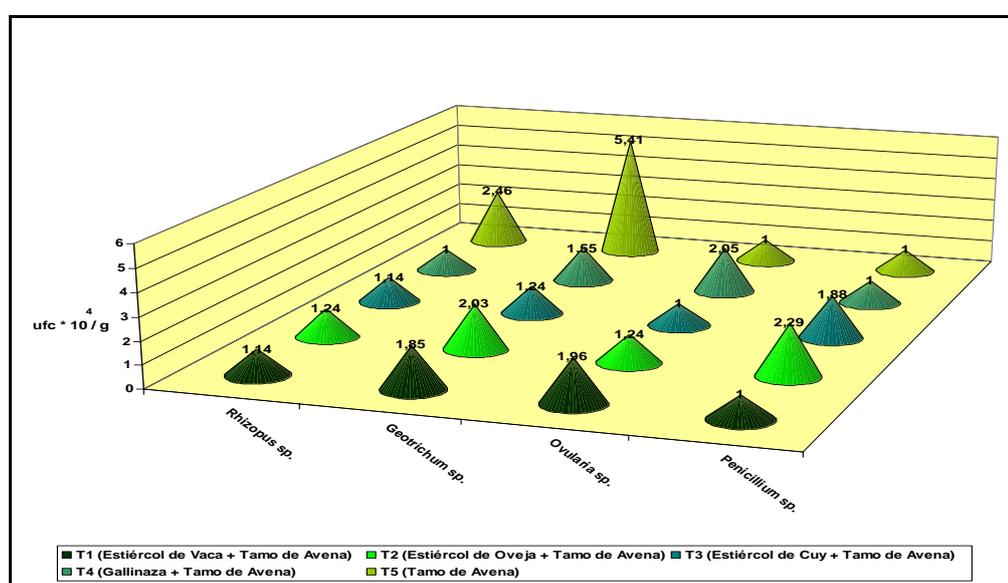
FUENTES DE VARIACIÓN	GL	HONGOS FASE TERMOFÍLICA			
		<i>Rhizopus</i> sp.	<i>Geotrichum</i> sp.	<i>Ovularia</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.
TOTAL	14				
REPETICIONES	2	0.051 <sup>ns</sup>	0.265 <sup>ns</sup>	0.834 <sup>ns</sup>	0.930 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	1.083 **	8.672 **	0.803 <sup>ns</sup>	2.410 <sup>ns</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	4.240 **	33.607 **	0.764 <sup>ns</sup>	1.516 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	0.045 <sup>ns</sup>	0.895 <sup>ns</sup>	0.017 <sup>ns</sup>	0.266 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	0.017 <sup>ns</sup>	0.048 <sup>ns</sup>	0.770 <sup>ns</sup>	5.343 **
T3 vs. T4	1	0.029 <sup>ns</sup>	0.139 <sup>ns</sup>	1.660 <sup>ns</sup>	2.502 <sup>ns</sup>
ERROR	8	0.167	0.636	0.566	0.468
$\bar{X}$ ( ufc * 10 <sup>4</sup> /g)		1.39	2.42	1.45	1.44
CV(%)		29.32	32.99	51.82	47.67

Al comparar los promedios de los tratamientos se observa que el testigo (T5) ocupa el primer rango dentro de *Rhizopus* sp., y *Geotrichum* sp. con 2.46 y 5.41 ufc \* 10<sup>4</sup> /g respectivamente; el resto de tratamientos ocupan el segundo rango (Cuadro 18 y Gráfico 8).

De este análisis se desprende que los mayores promedios de *Penicillium* sp. se encuentran en los tratamientos de estiércol oveja (T2) y cuy (T3), debido a sus características físicas que favorecen su desarrollo. También se observa que el testigo (T5) es el tratamiento con mayor contenido de celulosa, el cual es un alimento que favorece el desarrollo de los hongos presentes en esta fase.

**Cuadro 18. Promedio de Hongos Representativos (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tukey al 5%.**

TRATAMIENTOS	HONGOS FASE TERMOFILICA			
	<i>Rhizopus</i> sp.	<i>Geotrichum</i> sp.	<i>Ovularia</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	1.14 b	1.85 b	1.96	1.00
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	1.24 b	2.03 b	1.24	2.29
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	1.14 b	1.24 b	1.00	1.88
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	1.00 b	1.55 b	2.05	1.00
T5 Tamo de Avena	2.46 a	5.41 a	1.00	1.00



**Gráfico 8. Conteo de ufc \* 10<sup>4</sup> por Gramo para Hongos Representativos de la Fase Termofílica del Proceso de Compostaje en los Tratamientos en Estudio.**

### 3. Bacterias

Al establecer el análisis de varianza para la presencia de bacterias durante la fase termofílica no se detectó diferencia estadística para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferencian estadísticamente a nivel del 1%.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se encontró diferencia estadística a nivel del 1% al comparar el testigo T5 vs. el resto de tratamientos. No se encontró diferencia estadística al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes con los tratamientos provenientes de los monogástricos (T1T2 vs. T3T4).

Al comparar los tratamientos dentro de los rumiantes se encontró diferencia estadística a nivel del 1%, al igual que entre los tratamientos dentro de los monogástricos (Cuadro 19).

**Cuadro 19. Análisis de Variancia de Unidades Formadoras de Colonia \* 10<sup>6</sup> por Gramo para Bacterias Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	BACTERIAS FASE TERMOFÍLICA		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	328850.930		
REPETICIONES	2	12238.530	6119.267	1.230 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	276656.270	69164.067	13.850 **
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	34034.017	34034.017	6.814 **
T1,T2 vs. T3,T4	1	1180.083	1180.083	0.236 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	86880.667	86880.667	17.395 **
T3 vs. T4	1	154561.500	154561.500	30.946 **
ERROR	8	399956.133	4994.517	
$\bar{X}(\text{ufc} \cdot 10^6 / \text{g})$		194.07		
CV(%)		36.42 %		

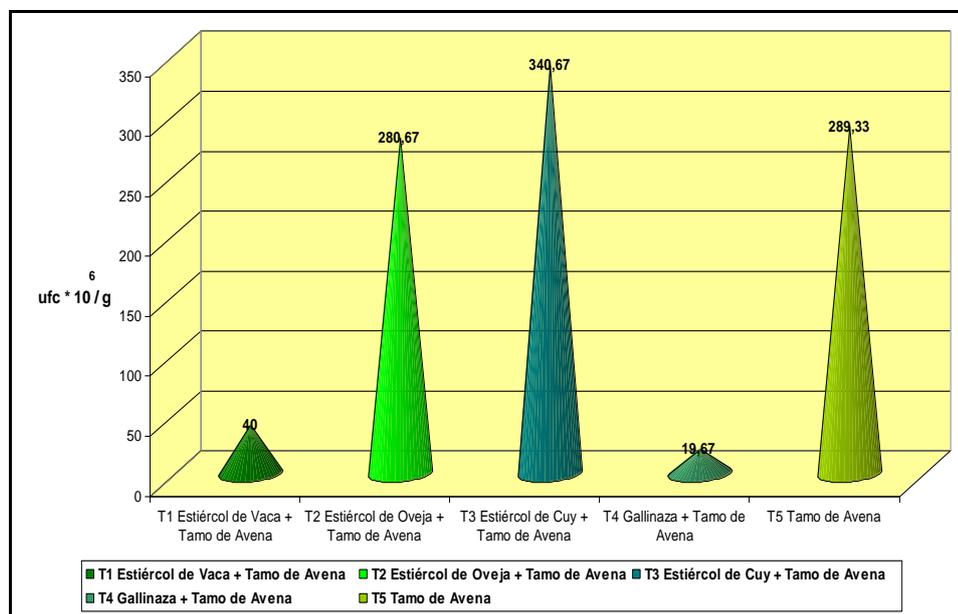
El promedio general de bacterias presentes en la fase termofílica del proceso de elaboración de compost fue de  $194.07 \cdot 10^6 / \text{g}$  ufc con un coeficiente de variación del 36,42%.

Al comparar todos los tratamientos en estudio se aprecia que la mayor cantidad de bacterias se encuentra en el estiércol de cuy con tamo de avena con  $340.67 \cdot 10^6 / \text{g}$  ufc , el cual se encuentra ocupando primer rango compartiendo con el estiércol de oveja y el tamo de avena, Por otro lado, la menor cantidad de bacterias se encuentran en los tratamientos que contienen estiércol de vaca y la gallinaza con  $40 \cdot 10^6 / \text{g}$  ufc y  $19.67 \cdot 10^6 / \text{g}$  ufc respectivamente (Cuadro 20).

**Cuadro 20. Promedio de Bacterias (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tukey al 5%.**

TRATAMIENTOS	Bacterias Fase Termofílica
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	40.00 b
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	280.67 a

T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	340.67 a
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	19.67 b
T5 Tamo de Avena	289.33 a



**Gráfico 9. Población Bacteriana Expresada en ufc \* 10<sup>6</sup> por Gramo Dentro de los Materiales Sometidos al Proceso de Compostaje.**

Del análisis anterior se desprende que el contenido bacteriano aumenta en composteras que contienen estiércol de cuy y oveja en relación al testigo, mientras que en el caso de los tratamientos constituidos por estiércol de vaca y la gallinaza, el contenido de bacterias es menor al testigo durante la fase termofílica del proceso de compostaje (Gráfico 9).

#### **4. Bacterias Esporulantes**

Al establecer el análisis de varianza para la población de bacterias esporulantes durante la fase termofílica no se detectó diferencia estadística para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferencian estadísticamente a nivel del 1%. Al desglosar los grados de libertad para tratamientos no se encontró diferencia estadística al comparar el testigo T5 vs. el resto de tratamientos. Se encontró diferencia estadística a nivel del 1% al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes con los tratamientos provenientes de los monogástricos (T1T2 vs. T3T4).

Al comparar los tratamientos dentro de los rumiantes se encontró diferencia estadística a nivel del 1%, al igual que al comparar los tratamientos dentro de los monogástricos (Cuadro 21).

**Cuadro 21. Análisis de Variancia para Bacterias Esporulantes (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	BACTERIAS ESPORULANTES FASE TERMOFÍLICA		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	14731.000		
REPETICIONES	2	652.133	326.067	1.740 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	12576.667	3144.167	16.740 <sup>**</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	1.667	1.667	0.009 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	7105.333	7105.333	37.831 <sup>**</sup>
T1 vs. T2	1	2521.500	2521.500	13.425 <sup>**</sup>
T3 vs. T4	1	2948.167	2948.167	15.697 <sup>**</sup>
ERROR	8	1502.530	187.817	
$\bar{X}$ (ufc * 10 <sup>4</sup> /g)			54.67	
CV (%)			25.07 %	

El promedio general de bacterias esporulantes presentes en la fase termofílica del proceso de compostaje fue de 54.67 \* 10<sup>4</sup> /g ufc, con un coeficiente de variación del 25.07%.

Al comparar todos los tratamientos en estudio se observó que la mayor población de bacterias esporulantes se encontró en el material con estiércol de vaca (T1), el cual ocupa el primer rango con 99.67 \* 10<sup>4</sup> /g ufc. El segundo rango se encuentra conformado por los tratamientos de estiércol de oveja (T2), con 58.67 \* 10<sup>4</sup> /g ufc el cual se encuentra seguido por el testigo (T5) con 54.00 \* 10<sup>4</sup> /g ufc y el material que contiene estiércol de cuy (T3) con 52.67 \* 10<sup>4</sup> /g ufc. El tercer rango lo ocupa por la gallinaza más el tamo de avena (T4) con 8.33 \* 10<sup>4</sup> /g ufc (Cuadro 22).

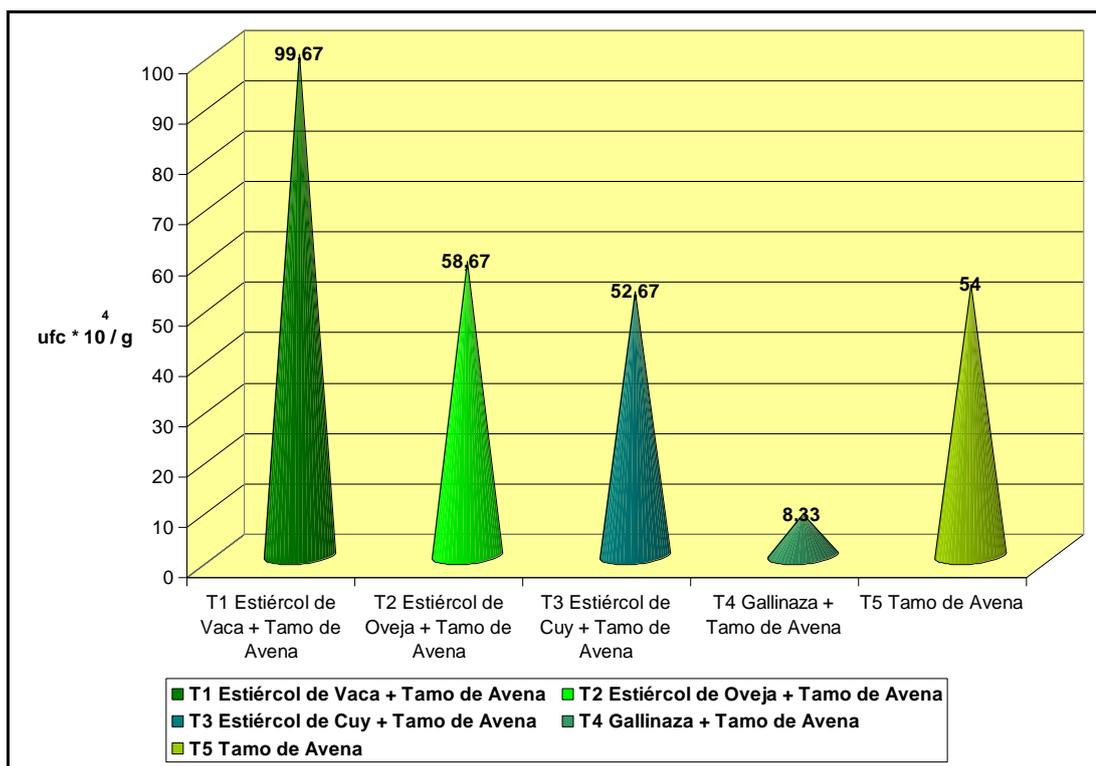
**Cuadro 22. Promedio de Bacterias Esporulantes (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tukey al 5%.**

TRATAMIENTOS	Bacterias Esporulantes
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	99.67 a
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	58.67 b
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	52.67 b
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	8.33 c
T5 Tamo de Avena	54.00 b

Del análisis anterior se desprende que los diferentes materiales proporcionan un diferente sustento para las bacterias esporulantes, las cuales durante la fase termofílica del proceso de compostaje prefieren el sustrato conformado por estiércol de vaca más tamo de avena y su desarrollo es menor en el tratamiento que contiene gallinaza.

Como se observa en el Gráfico 10, el T1 que contiene estiércol de vaca se presenta como un medio óptimo para el desarrollo de bacterias esporulantes durante esta fase del proceso de compostaje. Dentro de este grupo de bacterias se encuentran aquellas pertenecientes al género *Bacillus*, dentro del cual se encuentran algunos géneros de bacterias reconocidas como biorreguladores como *B. Subtilis*, el cual se encontró dentro de este análisis en combinación con otros géneros como *B. macerans*, *B. stearotermophilus* y *B. laterosporus*.

De estas especies, la más común en los tratamientos fue *B. stearotermophilus*, razón por la cual es analizada de manera individual.



**Gráfico 10. Población de Bacterias Esporulantes (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Encontradas Dentro de los Diferentes Tratamientos Sometidos a Análisis Durante el Proceso de Elaboración de Compost.**

**a. Bacillus stearothermophilus**

Al establecer el análisis de varianza para *Bacillus stearothermophilus* presentes en la fase termofílica no se encontraron diferencias estadísticas para repeticiones, ni para tratamientos. Al desglosar los grados de libertad para tratamientos no se encontró diferencias estadísticas para ninguna de las comparaciones ortogonales preestablecidas. El promedio de la población de *Bacillus stearothermophilus* presentes en la fase termofílica fue de 2.18 ufc\*10<sup>4</sup> /g con un coeficiente de variación del 92.48% (Cuadro 23).

**Cuadro 23. Análisis de Variancia Para *Bacillus stearothermophilus* (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presente en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Transformación Raíz de X + 1. Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	<i>Bacillus stearothermophilus</i> FASE TERMOFILICA		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	43.830		

REPETICIONES	2	4.540	2.269	0.560 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	6.820	1.705	0.420 <sup>ns</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	4.520	4.520	1.114 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	1.450	1.450	0.357 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	0.265	0.265	0.065 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	0.585	0.585	0.144 <sup>ns</sup>
ERROR	8	32.47	4.058	
$\bar{X}$ (ufc*10 <sup>4</sup> /g)			2.18	
CV(%)			92.48	

Al analizar el Cuadro 24, se observa la presencia de *Bacillus stearothermophilus* en todos los tratamientos en estudio, lo que implica una temperatura optima durante la fase termofílica del proceso de compostaje.

**Cuadro 24. Promedio de *Bacillus stearothermophilus* (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Termofílica del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	<i>Bacillus stearothermophilus</i>
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	2.04
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	2.46
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	1.87
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	1.24
T5 Tamo de Avena	3.27

## C. FASE FINAL

### 1. Temperatura de Muestra

Al establecer el análisis de varianza para Temperatura de Muestra de la Fase Final, no se encontraron diferencias estadísticas para repeticiones, ni para tratamientos.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos no se encontraron diferencias estadísticas dentro de todas las comparaciones ortogonales (Cuadro 25).

**Cuadro 25. Análisis de Variancia Para la Temperatura de Muestra Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) Hacienda El Prado 2005.**

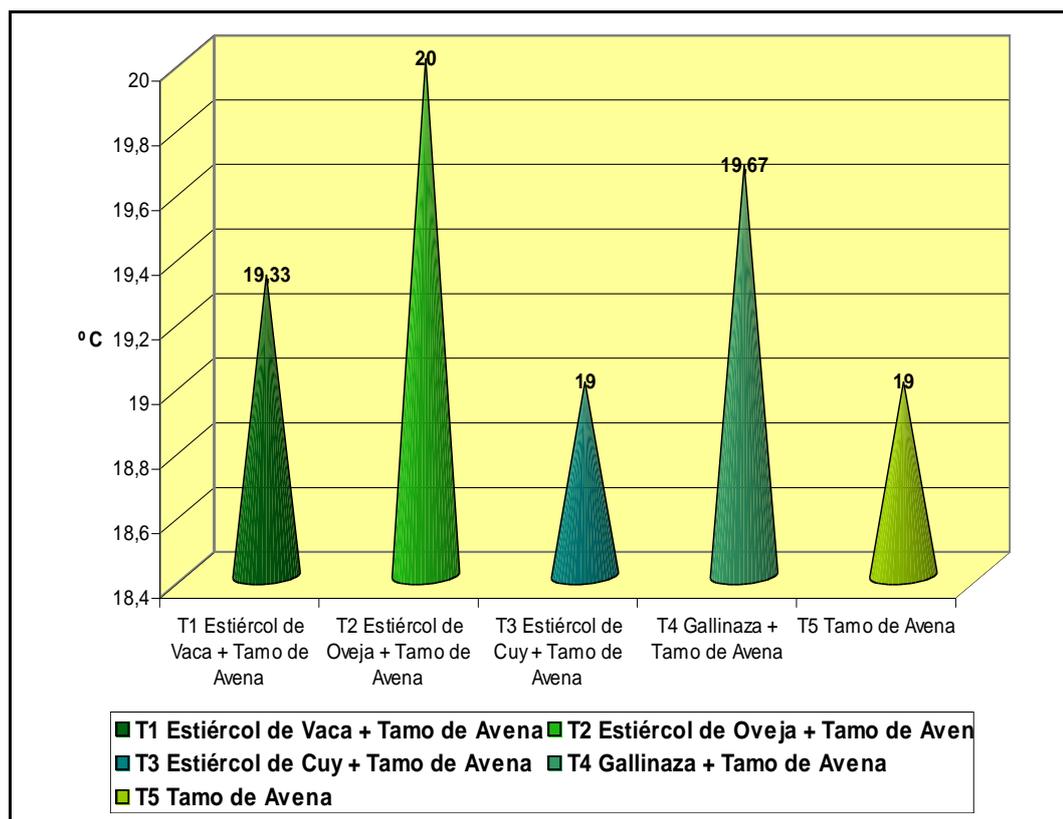
FUENTES DE VARIACIÓN	GL	TEMPERATURA DE MUESTRA		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	21.600		
REPETICIONES	2	5.200	2.600	1.470 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	2.270	0.567	0.32 <sup>ns</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	0.600	0.600	0.340 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	0.333	0.333	0.189 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	0.667	0.667	0.377 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	0.667	0.667	0.377 <sup>ns</sup>
ERROR	8	14.130	1.767	
X (°C)		19.40		
CV(%)		6.85		

El promedio de la temperatura de muestra en la fase final expresado en grados Celsius fue de 19.40, con un coeficiente de variación del 6.85%.

Como se observa en el Cuadro 26 y en el Gráfico 11, la temperatura se estabiliza al final del proceso, lo que significa que la actividad microbiana se ha reducido y las poblaciones de bacterias, hongos, nematodos, actinomycetes y otros microorganismos se encuentran en una etapa de estabilidad al igual que el material. Esto como es obvio se traduce en que el material se encuentra listo para su cosecha.

**Cuadro 26. Promedio de la Temperatura de Muestra Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda el Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA DE MUESTRA
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	19.33
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	20.00
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	19.00
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	19.67
T5 Tamo de Avena	19.00



**Gráfico 11. Promedio de Temperatura de las Muestras Finales de los Tratamientos Sometidos al Proceso de Compostaje.**

## 2. Hongos

Al establecer el análisis de varianza para la población de Hongos en la fase final del proceso de elaboración de compost no se detectó diferencia estadística para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferencian estadísticamente a nivel del 1%. Al desglosar los grados de libertad para tratamientos no se encontró diferencia estadística al comparar el testigo T5 vs. el resto de tratamientos. Mientras que al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes con los tratamientos provenientes de los monogástricos se encontró diferencia estadística a nivel del 1% (T1T2 vs. T3T4).

Al comparar los tratamientos dentro de los rumiantes (T1 vs. T2) no se encontró diferencia, lo mismo que al comparar los tratamientos dentro de los monogástricos (T3 vs. T4) (Cuadro 27).

**Cuadro 27. Análisis de Variancia Para Hongos (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	HONGOS FASE FINAL		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	3268.930		
REPETICIONES	2	229.730	114.867	1.160 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	2246.930	561.733	5.670 <sup>**</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	308.267	308.267	3.113 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	1825.333	1825.333	18.423 <sup>**</sup>
T1 vs. T2	1	80.667	80.667	0.815 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	32.667	32.667	0.330 <sup>ns</sup>
ERROR	8	792.27	99.033	
$\bar{X}$ (ufc * 10 <sup>4</sup> /g)		36.07		
CV(%)		27.59		

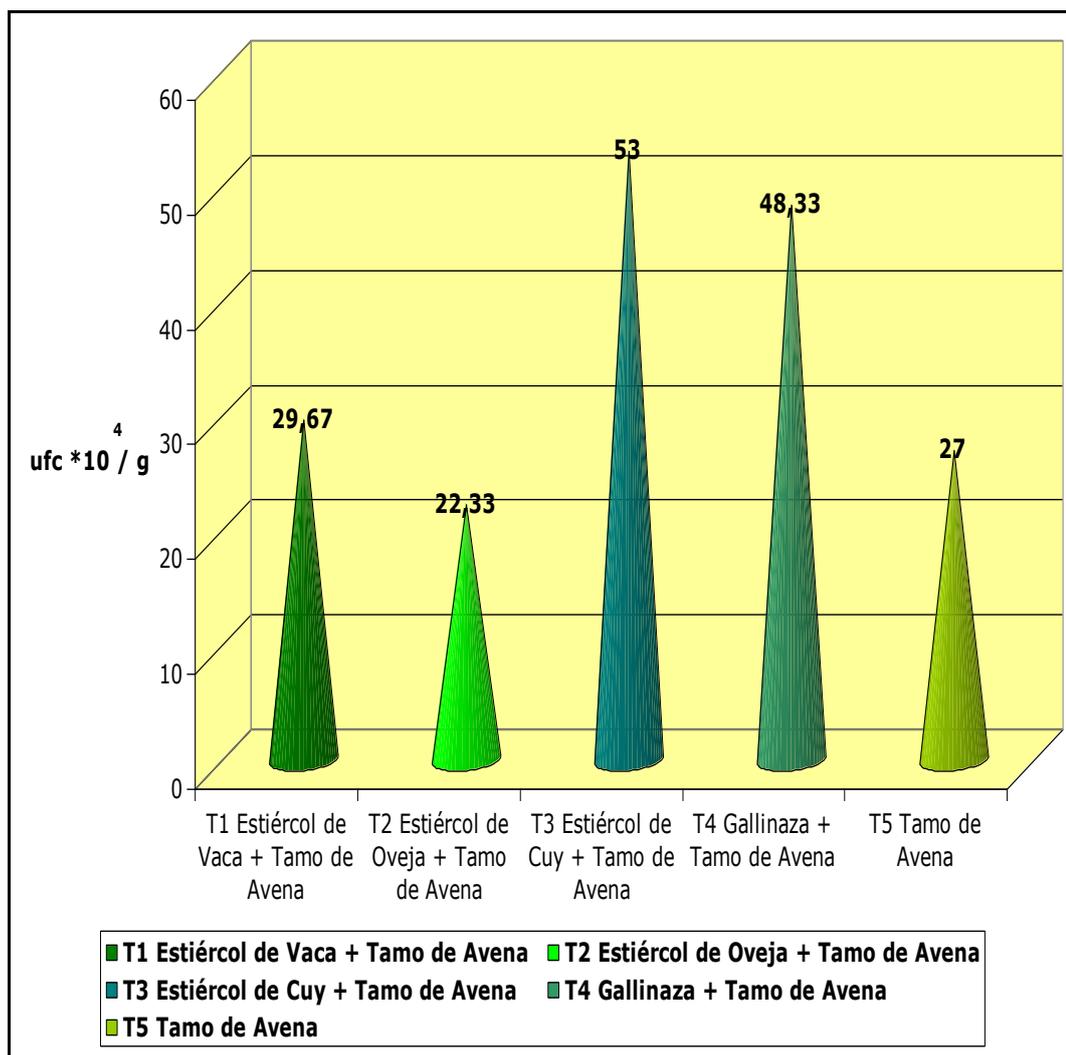
El promedio general de hongos, expresado en ufc \* 10<sup>4</sup> /g fue de 36.07 con un coeficiente de variación del 27.59%

Al comparar los tratamientos se aprecia que la mayor población de hongos pertenecen al estiércol de cuy (T3) con 53.00 \* 10<sup>4</sup> /g ufc, seguido por la gallinaza (T4) con 48.33 \* 10<sup>4</sup> /g ufc los cuales ocupan el primer rango. El segundo rango lo ocupan el estiércol de vaca (T1) con 29.67 \* 10<sup>4</sup> /g ufc, el testigo (T5) con 27.00 \* 10<sup>4</sup> y el estiércol de oveja con 22.33 \* 10<sup>4</sup>/g ufc (Cuadro 28 y Gráfico 12).

Del análisis anterior se desprende que al finalizar el proceso de elaboración de compost la población fúngica se desarrolla en mayor cantidad en el sustrato que contiene materia orgánica procedente de monogástricos (T3 y T4).

**Cuadro 28. Promedio de Hongos (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tukey al 5%.**

TRATAMIENTOS	Hongos Fase Final
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	29.67 b
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	22.33 b
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	53.00 a
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	48.33 a
T5 Tamo de Avena	27.00 b



**Gráfico 12. Población Final de Hongos (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) de los Tratamientos Sometidos a Análisis Durante el Proceso de Elaboración de Compost.**

**a. Hongos Representativos**

Al establecer el análisis de varianza para hongos (*Rhizopus* sp. y *Fusarium* sp.) presentes en la fase final se detectaron diferencias estadísticas a nivel del 5% para repeticiones dentro de *Fusarium* sp., mientras para tratamientos se encontraron diferencias estadísticas al nivel del 1% dentro de *Rhizopus* sp. y *Fusarium* sp.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se encontraron diferencias estadísticas a nivel del 1% al comparar el testigo (T5) versus el resto de tratamientos dentro de *Rhizopus* sp. y al comparar los tratamientos dentro de los rumiantes (T1 vs. T2). Al comparar entre tratamientos provenientes de rumiantes versus tratamientos provenientes de monogástricos (T1,T2 vs. T3,T4) se encontraron diferencias estadísticas a nivel del 5% en de *Rhizopus* sp. (Cuadro 29).

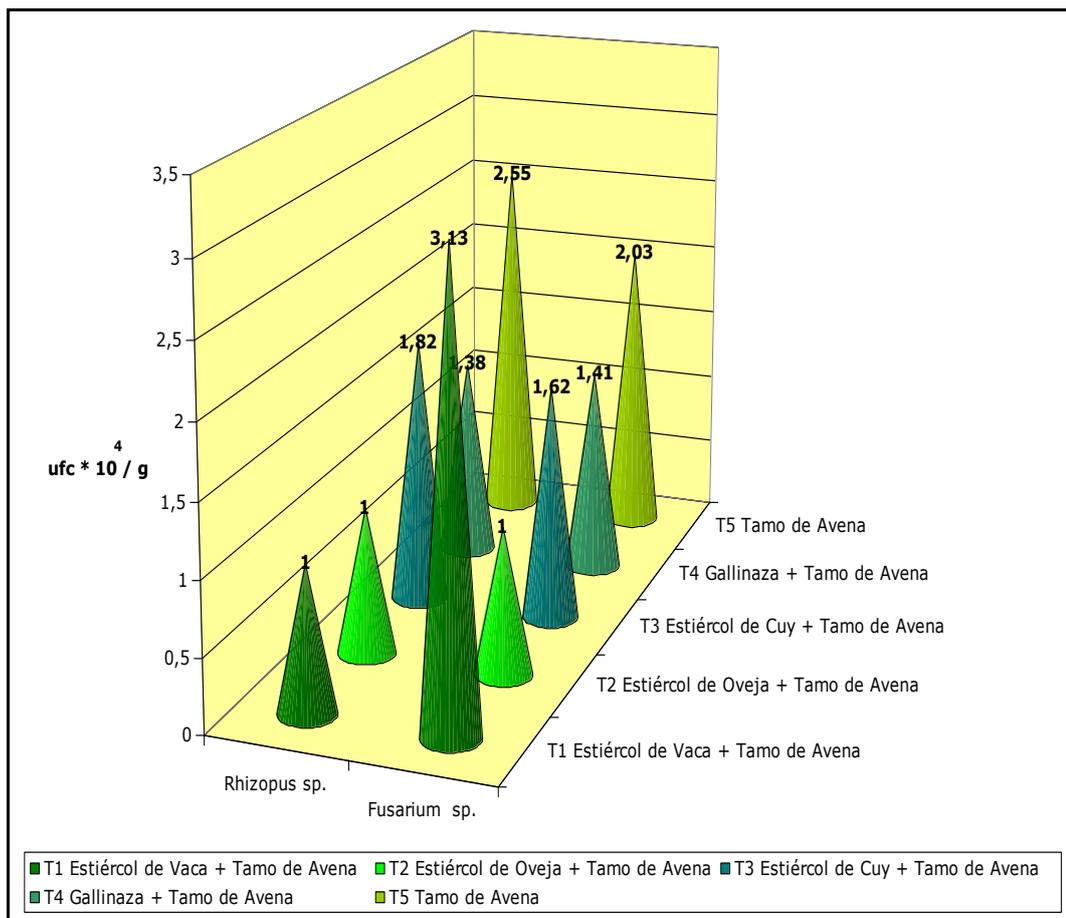
**Cuadro 29. Análisis de Variancia Para los Hongos Representativos (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Transformación Raíz de X + 1. Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	HONGOS FASE FINAL	
		<i>Rhizopus</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.
TOTAL	14		
REPETICIONES	2	0.156 <sup>ns</sup>	0.392 *
TRATAMIENTOS	(4)	1.282 **	1.984 **
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	3.766 **	0.139 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	1.077 *	0.907 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	0.000 <sup>ns</sup>	6.823 **
T3 vs. T4	1	0.283 <sup>ns</sup>	0.066 <sup>ns</sup>
ERROR	8	0.190	0.315
$\bar{X}$ (ufc*10 <sup>4</sup> /g)		1.55	1.84
CV(%)		28.09	30.52

El promedio de hongos (*Rhizopus* sp. y *Fusarium* sp.) presentes en la fase final expresado ufc\*10<sup>4</sup> /g para *Rhizopus* sp. fue de 1.55 y para *Fusarium* sp. fue de 1.84, con coeficientes de variación del 28.09% y 30.52% respectivamente.

**Cuadro 30. Promedio de Hongos Representativos (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tukey al 5%.**

TRATAMIENTOS	HONGOS FASE FINAL	
	<i>Rhizopus</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	1.00 b	3.13 a
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	1.00 b	1.00 b
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	1.82 ab	1.62 ab
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	1.38 ab	1.41 b
T5 Tamo de Avena	2.55 a	2.03 ab



**Gráfico 13. Hongos Representativos ( $ufc * 10^4$  por Gramo) en la Fase Final del Proceso de Compostaje.**

Al comparar los promedios de todos los tratamientos en estudio para *Rhizopus* sp. el testigo ocupa el primer rango con  $2,55 ufc * 10^4 / g$ , seguido por el tratamiento con estiércol de cuy y la gallinaza en el segundo rango; mientras que el tratamiento de estiércol de vaca comparte el último rango con el testigo con  $1,00 ufc * 10^4 / g$  cada uno; para *Fusarium* sp. el estiércol de vaca ocupa el primer rango con  $3,13 ufc * 10^4$ , el segundo rango lo comparten el tamo de avena junto al tratamiento de estiércol de cuy con  $2,03$  y  $1,62 ufc * 10^4 / g$  respectivamente; dejando a la gallinaza y al estiércol de oveja en el último rango con  $1,41$  y  $1,00 ufc * 10^4 / g$  respectivamente (Cuadro 30 y Gráfico 13).

Del anterior análisis se observa que *Rhizopus* sp. decrece su presencia debido a que es un hongo encargado de la descomposición, mientras que la cepa de *Fusarium* sp. corresponde a una especie saprofita de este género por cuanto no hubo incidencia de dampig off en las pruebas de germinación.

**b. Biorreguladores: *Trichoderma sp.***

Al establecer el análisis de varianza para cepas de *Trichoderma sp.* presentes en la fase termofílica, no se detectaron diferencias estadísticas para repeticiones, ni tratamientos.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos no se encontraron diferencias estadísticas dentro de todas las comparaciones ortogonales (Cuadro 31).

**Cuadro 31. Análisis de Variancia Para Cepas de *Trichoderma sp.* (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presente en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Transformación Raíz de X + 1. Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	<i>Trichoderma sp.</i> FASE FINAL		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	7.730		
REPETICIONES	2	0.920	0.459	0.830 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	2.370	0.592	1.067 <sup>ns</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	0.005	0.005	0.009 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	0.106	0.106	0.190 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	1.259	1.259	2.265 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	1.000	1.000	1.800 <sup>ns</sup>
ERROR	8	4.445	0.556	
$\bar{X}$ (ufc*10 <sup>4</sup> /g)			1.51	
CV(%)			49.32	

El promedio de *Trichoderma sp.* presente en la fase termofílica fue de 1.51 ufc\*10<sup>4</sup>/g con un coeficiente de variación del 49.32%.

Al realizar un análisis al Cuadro 32 se desprende que el proceso de descomposición se da en condiciones favorables.

Del análisis anterior se desprende que el balance adecuado de material vegetal con material animal favorece el desarrollo de hongos biorreguladores durante la etapa final del proceso de elaboración de compost. Esto se debe principalmente a la estabilización del material que permite el desarrollo adecuado de este tipo de hongos en un medio donde la mayor parte de hidratos de carbono complejos ya han sido descompuestos.

**Cuadro 32. Promedio de Cepas de *Trichoderma* sp. (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). La Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	<i>Trichoderma</i> sp
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	1.14
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	2.05
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	1.00
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	1.82
T5 Tamo de Avena	1.55

### 3. Bacterias Esporulantes

Al establecer el análisis de varianza para la presencia de otras bacterias durante la fase final del proceso de compostaje, no se detectó diferencia estadística para repeticiones. Entre tratamientos se encontró diferencia estadística al 1%, al igual que al comparar el testigo T5 con los demás tratamientos.

En la comparación entre rumiantes (T1,T2 vs. T3,T4) y monogástricos no se encontró diferencia estadística, lo que se repite al comparar entre los tratamientos con estiércol proveniente de rumiantes (T1 vs. T2). Por otro lado, al comparar entre el estiércol de cuy (T3) y la gallinaza (T4) se encontró diferencia estadística al 1% (Cuadro 33).

**Cuadro 33. Análisis de Variancia Para Bacterias Esporulantes (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	BACTERIAS ESPORULANTES FASE FINAL		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	23066.400		
REPETICIONES	2	1008.400	504.200	2.320 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	20318.400	5079.600	23.360 <sup>**</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	1430.817	1430.817	6.580 <sup>**</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	352.083	352.083	1.619 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	54.000	54.000	6.020 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	18481.500	18481.500	84.992 <sup>**</sup>
ERROR	8	1739.600	217.450	
$\bar{X}$ (ufc * 10 <sup>4</sup> /g)			87.20	
CV (%)			16.91	

El promedio general fue de  $87.20 \times 10^4$  /g ufc de bacterias esporulantes presentes en la fase final del proceso de compostaje, con un coeficiente de variación del 16.91%

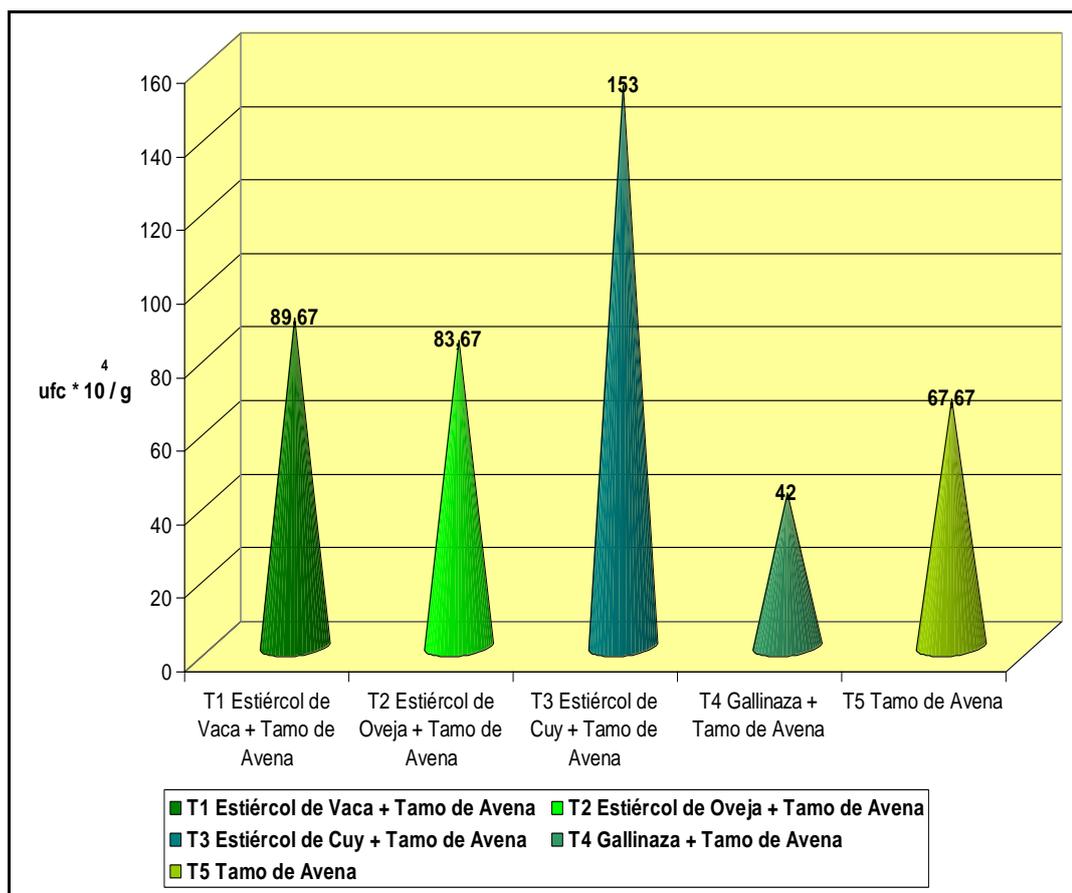
Al comparar todos los tratamientos en estudio se aprecia que la mayor población de bacterias esporulantes se encuentra en el compost obtenido del estiércol de cuy con tamo de avena (T3) con  $153.00 \times 10^4$  /g ufc que ocupa el primer rango. El segundo rango lo ocupa el estiércol de vaca con tamo de avena (T1) con  $89.67 \times 10^4$  /g ufc, seguido por el compost procedente de estiércol de oveja con tamo de avena (T2) con  $83.67 \times 10^4$  /g ufc y el testigo (T5) con  $67.67 \times 10^4$  /g ufc. El último rango lo ocupa la gallinaza con tamo de avena (T4) con  $42.00 \times 10^4$  /g ufc (Cuadro 34).

Del análisis anterior se puede concluir que si bien el pico de crecimiento de bacterias esporulantes se da durante la fase termofílica del proceso de elaboración de compost, estas poblaciones se mantienen a través del mismo e inclusive en medios adecuados estas se incrementan como se observa en el T3 correspondiente al estiércol de cuy (Gráfico 14).

**Cuadro 34. Promedio de Bacterias Esporulantes en ufc \*  $10^4$  por Gramo Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tukey al 5%.**

TRATAMIENTOS	Bacterias Esporulantes
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	89.67 b
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	83.67 bc
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	153.00 a
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	42.00 c
T5 Tamo de Avena	67.67 bc

En términos generales podemos ver que estas poblaciones se ven beneficiadas por la disminución en la población de hongos dentro de la compostera.



**Gráfico 14. Población de Bacterias Esporulantes (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración del Compost.**

a. *Bacillus spp.*

Al establecer el análisis de varianza para *Bacillus subtilis* y *Bacillus fastidiosus* presentes en la fase final no se encontraron diferencias estadísticas para repeticiones, ni para tratamientos.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos no se encontró diferencias estadísticas para ninguna de las comparaciones ortogonales preestablecidas (Cuadro 35).

Los promedios de *Bacillus subtilis* y *Bacillus fastidiosus* presentes en la fase final expresado en ufc\*10<sup>4</sup> /g fueron de 1.17 y 1.85 respectivamente con unos coeficientes de variación de 34.83% y 47.84%.

**Cuadro 35. Análisis de Variancia Para Cepas de *Bacillus spp.* (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Transformación Raíz de X + 1. Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	BACILLUS SPP FASE FINAL	
		<i>B. subtilis</i>	<i>B. fastidiosus</i>
TOTAL	14		
REPETICIONES	2	0.268 <sup>ns</sup>	0.873 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	0.122 <sup>ns</sup>	0.720 <sup>ns</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	0.361 <sup>ns</sup>	1.360 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	0.109 <sup>ns</sup>	0.304 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	0.000 <sup>ns</sup>	0.409 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	0.017 <sup>ns</sup>	0.805 <sup>ns</sup>
ERROR	8	0.167	0.780
$\bar{X}$ (ufc*10 <sup>4</sup> /g)		1.17	1.85
CV(%)		34.83	47.84

Al revisar y analizar el Cuadro 36 se observa que el material final posee una carga bacteriana equilibrada para cada tratamiento que actúa como biorregulador de microorganismos patógenos .

**Cuadro 36. Promedio de Cepas de *Bacillus spp.* (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	BACILLUS SPP.	
	<i>B. subtilis</i>	<i>B. fastidiosus</i>
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	1.00	2.42
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	1.00	1.89
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	1.24	2.20
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	1.14	1.47
T5 Tamo de Avena	1.48	1.24

#### 4. Bacterias

Al establecer el análisis de variancia para la presencia de bacterias durante la fase final del proceso del compostaje no se detectó diferencia estadística para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferencian estadísticamente a nivel del 1%. Al desglosar los grados de libertad para tratamientos no se encontró diferencia

estadística al comparar el testigo T5 con el resto de tratamientos. Se encontró diferencia estadística al 5% al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes con los tratamientos provenientes de los monogástricos (T1T2 vs. T3T4).

**Cuadro 37. Análisis de Variancia Para Bacterias (ufc \*10<sup>6</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	BACTERIAS FASE FINAL		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	38458.000		
REPETICIONES	2	577.730	288.867	0.240 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	28444.930	7111.233	6.030 <sup>**</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	3067.350	3067.350	2.600 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	6674.083	6674.083	5.650 <sup>*</sup>
T1 vs. T2	1	16537.500	16537.500	14.020 <sup>**</sup>
T3 vs. T4	1	2166.000	2166.000	1.836 <sup>ns</sup>
ERROR	8	9436.000	1348.000	
$\bar{X}$ (ufc * 10 <sup>6</sup> /g)		92.93		
CV(%)		36.96 %		

Al comparar los tratamientos dentro de los rumiantes (T1 vs. T2) se encontró diferencia estadística a nivel del 1%, mientras que para los tratamientos dentro de los monogástricos (T3 vs. T4) no se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 37).

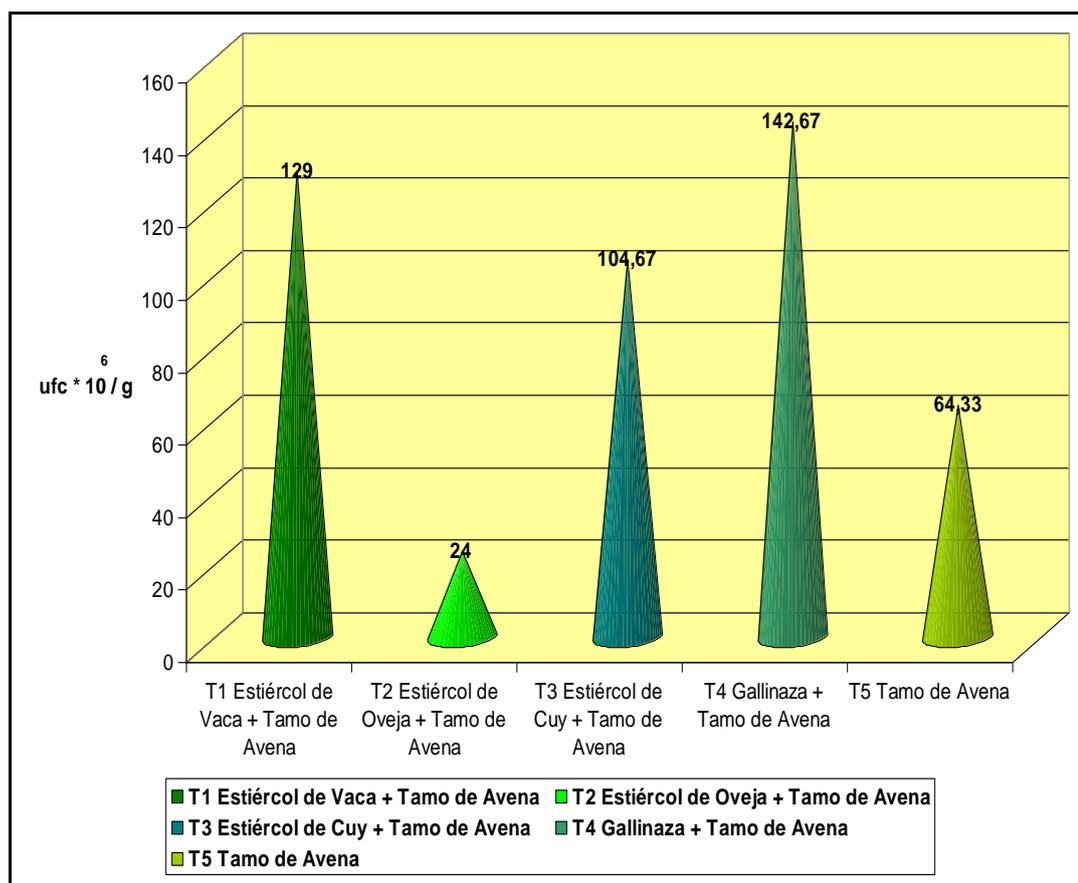
El promedio general de bacterias presentes durante la etapa final del proceso de compostaje fue de 92.93 \* 10<sup>6</sup> /g ufc con un coeficiente de variación del 36.96%.

Al comparar todos los tratamientos en estudio se aprecia que la mayor cantidad de bacterias se encontró en el tratamiento de gallinaza con tamo de avena (T4) con 142 \* 10<sup>6</sup> /g ufc, el cual comparte el primer rango con el compost proveniente de estiércol de vaca y tamo de avena (T1) con 129 \* 10<sup>6</sup> /g ufc y el compost de estiércol de cuy con tamo de avena (T3) con 104,667 \* 10<sup>6</sup> /g ufc. El rango inferior lo ocupan el testigo (T5) con 64,333 \* 10<sup>6</sup> /g ufc y por último el tratamiento obtenido del estiércol de oveja (T2) con 24 \* 10<sup>6</sup> /g ufc. (Cuadro 38).

**Cuadro 38. Promedio de Otras Bacterias (ufc \*10<sup>6</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tukey al 5%.**

TRATAMIENTOS	Bacterias Fase Final
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	129.00 a
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	24.00 b
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	104.67 ab
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	142.67 a
T5 Tamo de Avena	64.33 ab

Del análisis anterior se desprende que una vez estabilizado el material, las poblaciones bacterianas se ven beneficiadas por la presencia de materia orgánica animal combinada con material vegetal a excepción del estiércol de cuy, lo cual provee un sustento equilibrado para el desarrollo bacteriano (Gráfico 15).



**Gráfico 15. Población de Bacterias (ufc \*10<sup>6</sup> por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración del Compost.**

## 5. Actinomycetes

Al establecer el análisis de varianza para Actinomycetes presentes en la fase final no se detectaron diferencias estadísticas para repeticiones, ni tratamientos.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos no se encontró diferencias estadísticas para ninguna de las comparaciones ortogonales preestablecidas (Cuadro 39).

El promedio de Actinomycetes presentes en la fase final expresado en  $\text{ufc} \cdot 10^5/\text{g}$  fue de 25.07 con un coeficiente de variación del 49.99%.

La importancia de los Actinomycetes radica en su acción dentro de las cadenas de descomposición de la materia orgánica, por tal razón, una población equilibrada de estos micro organismos se traduce en una mejor calidad del material final.

**Cuadro 39. Análisis de Variancia Para Actinomycetes ( $\text{ufc} \cdot 10^5$  por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	ACTINOMYCETES FASE FINAL		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	1376.430		
REPETICIONES	2	39.430	19.717	0.130 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	80.767	20.192	0.130 <sup>ns</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	0.600	0.600	0.004 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	24.083	24.083	0.153 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	5.042	5.042	0.032 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	51.042	51.042	0.325
ERROR	8	1256.230	157.029	
$\bar{X}$ ( $\text{ufc} \cdot 10^5/\text{g}$ )			25.07	
CV(%)			49.99	

Al analizar al Cuadro 40 se desprende que en todos los tratamientos se encuentran colonias de actinomycetes debido a que son parte fundamental del proceso de mineralización de la materia orgánica.

**Cuadro 40. Promedio de Actinomycetes ( $\text{ufc} \cdot 10^5$  por Gramo) Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro**

**Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	ACTINOMYCETES
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	22.83
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	24.67
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	29.50
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	23.67
T5 Tamo de Avena	24.67

**6. Nematodos Saprófagos**

Al establecer el análisis de varianza para nematodos saprófagos presentes en la fase final no se detectaron diferencias estadísticas para repeticiones, ni para tratamientos.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos no se encontró diferencias estadísticas para ninguna de las comparaciones ortogonales preestablecidas (Cuadro 41).

**Cuadro 41. Análisis de Variancia Para Nematodos Saprófagos Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	NEMATODOS FASE FINAL		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	20094.000		
REPETICIONES	2	1977.600	988.800	0.600 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	4900.670	1225.170	0.740 <sup>ns</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	26.667	26.667	0.016 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	1281.333	1281.333	0.776 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	600.000	600.000	0.363 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	2992.667	2992.667	1.812 <sup>ns</sup>
ERROR	8	13215.730	1651.967	
$\bar{X}$ (nematodos)			62.00	
CV(%)			65.56	

El promedio de nematodos presentes en la fase final expresado en unidades fue de 62.00 con un coeficiente de variación del 65.56%.

**Cuadro 42. Promedio de Nematodos Saprófagos Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de**

**Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>Nematodos</b>
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	63.00
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	83.00
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	74.67
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	30.00
T5 Tamo de Avena	59.33

Del análisis del Cuadro 42 se observa que la presencia de nematodos saprófagos es homogénea dentro de todos los tratamientos, debido a su participación en el proceso de descomposición de la materia orgánica y en el equilibrio biótico dentro de la compostera.

## **7. pH**

Al establecer el análisis de varianza para pH Final, no se encontraron diferencias estadísticas para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferenciaron estadísticamente a nivel del 5%.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se encontraron diferencias estadísticas a nivel del 1% al comparar el testigo (T5) con el resto de tratamientos y también al comparar los tratamientos dentro de monogástricos (T3 vs. T4). También se encontraron diferencias estadísticas a nivel del 5% al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes con los provenientes de monogástricos (T1,T2 vs. T3,T4), para el resto de comparaciones ortogonales no se detectaron diferencias estadísticas (Cuadro 43).

**Cuadro 43. Análisis de Variancia Para el pH Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal**

**(*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

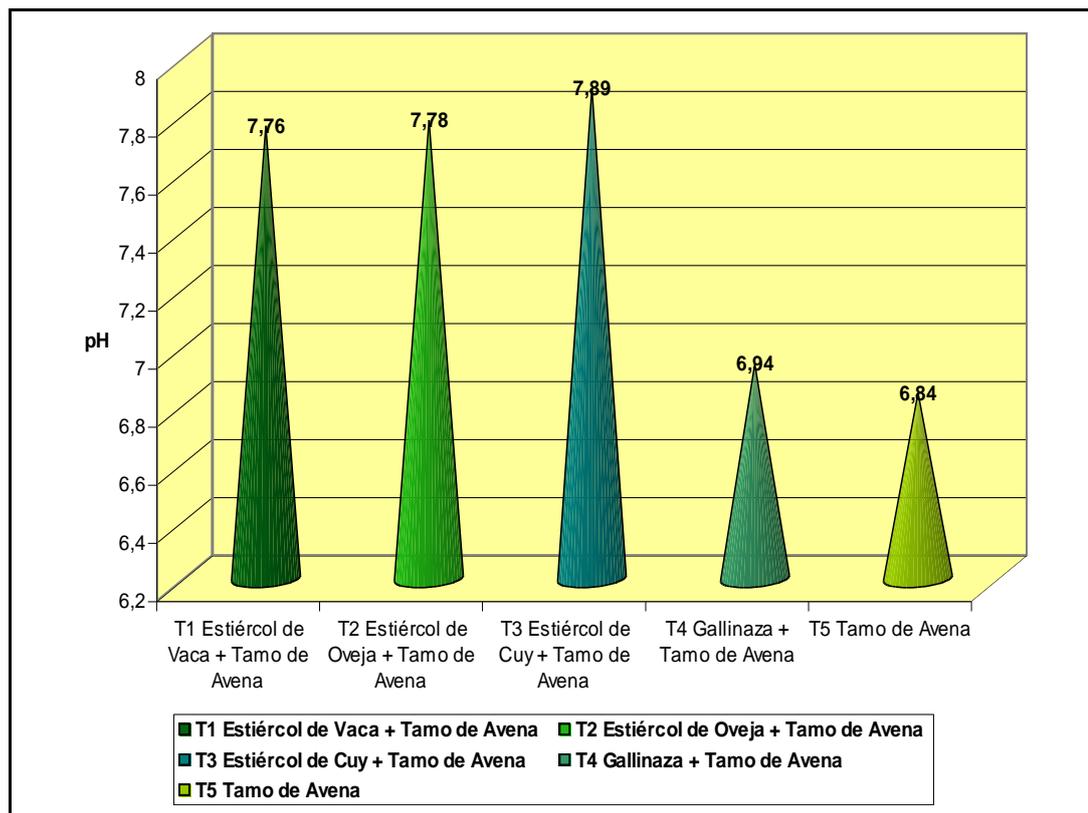
FUENTES DE VARIACIÓN	GL	PH FASE FINAL		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	3.830		
REPETICIONES	2	0.000	0.000	0.000 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	3.100	0.776	8.600*
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	1.362	1.362	15.103**
T1,T2 vs. T3,T4	1	0.368	0.368	4.075*
T1 vs. T2	1	0.000	0.000	0.000 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	1.373	1.373	15.222**
ERROR	8	0.72	0.090	
$\bar{X}$ (pH)		7.44		
CV(%)		4.03		

El promedio de pH en la Fase Final fue de 7.44, con un coeficiente de variación del 4.03%.

**Cuadro 44. Promedio de pH Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tuckey al 5%.**

TRATAMIENTOS	pH FINAL
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	7.76 ab
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	7.78 ab
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	7.89 a
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	6.94 bc
T5 Tamo de Avena	6.84 c

Al comparar los promedios de los tratamientos en estudio el primer rango ocupa el T3 con 7.89, el segundo rango lo comparten los tratamientos de rumiantes con 7.76 y 7.78 respectivamente, el tratamiento con gallinaza con 6.94 ocupa el tercer rango, dejando al tamo de avena en el ultimo rango con 6.84 (Cuadro 44 y Gráfico16).



**Gráfico 16. pH Final de los Tratamientos Sometidos al Proceso de Elaboración de Compost.**

Del análisis anterior se desprende que los tratamientos poseen pH muy próximo al neutro el cual es otro parámetro de estabilidad del material según Benzing (2001), en base al cual se puede determinar que el producto final está listo para ser cosechado.

## 8. Materia Orgánica

Al establecer el análisis de varianza para porcentaje de materia orgánica presente en la fase final, no se encontraron diferencias estadísticas para repeticiones, ni para tratamientos.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos no se encontraron diferencias estadísticas en ninguna de las comparaciones ortogonales (Cuadro 45).

El promedio de materia orgánica expresado en porcentaje fue de 45.59, con un coeficiente de variación del 18.29%.

**Cuadro 45. Análisis de Variancia Para el Porcentaje de Materia Orgánica Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	PORCENTAJE MATERIA ORGANICA FINAL		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	1152.740		
REPETICIONES	2	147.460	73.729	0.390 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	449.110	112.276	0.261 <sup>ns</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	61.611	61.611	0.886 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	138.312	138.312	1.989 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	228.537	228.537	3.287 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	20.646	20.646	0.297 <sup>ns</sup>
ERROR	8	556.180	69.522	
$\bar{X}$ (%)			45.59	
CV(%)			18.29	

Al analizar el Cuadro 46 se observa que la mezcla de materia orgánica animal con material vegetal proporciona a los tratamientos niveles importantes de materia orgánica que al final del proceso son equilibrados.

**Cuadro 46. Promedio de Porcentaje de Materia Orgánica Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	PORCENTAJE MATERIA ORGANICA FINAL
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	49.383
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	37.04
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	48.15
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	51.86
T5 Tamo de Avena	41.54

## 9. Relación Carbono / Nitrógeno

Al establecer el análisis de varianza para relación carbono / nitrógeno presente en la fase final, no se encontraron diferencias estadísticas para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferenciaron estadísticamente a nivel del 5%

**Cuadro 47. Análisis de Variancia Para la Relación Carbono / Nitrógeno Inicial y Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) Hacienda El Prado 2005.**

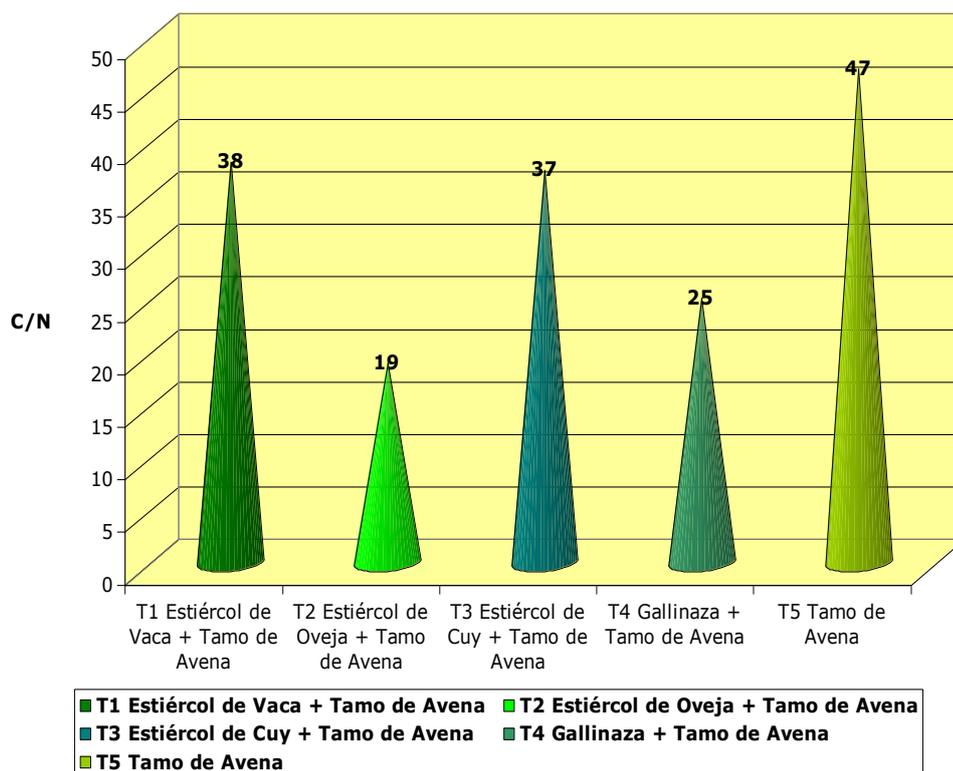
FUENTES DE VARIACIÓN	GL	RELACION C/N FINAL		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	2190.560		
REPETICIONES	2	92.410	46.206	0.610 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	1496.720	374.179	4.980*
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	702.126	702.126	9.339*
T1,T2 vs. T3,T4	1	21.628	21.628	0.288 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	551.042	551.042	7.330*
T3 vs. T4	1	221.920	221.920	2.952 <sup>ns</sup>
ERROR	8	601.430	75.179	
$\bar{X}$ (C/N)			33.38	
CV(%)			25.98	

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se detectaron diferencias estadísticas a nivel del 5% al comparar el testigo (T5) versus el resto, y también al comparar dentro de los tratamientos provenientes de rumiantes (T1 vs. T2). Para el resto de comparaciones ortogonales no se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 47).

El promedio general para la relación carbono / nitrógeno al final del proceso fue de 33.38, con un coeficiente de variación del 25.98%.

**Cuadro 48. Promedio de la Relación Carbono / Nitrógeno Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) Tuckey al 5%.**

TRATAMIENTOS	RELACION C/N FINAL
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	38.20
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	19.03
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	37.38
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	25.22
T5 Tamo de Avena	47.06



**Gráfico 17. Relación C/N Final de los Tratamientos en el Proceso de Compostaje.**

Al analizar el Cuadro 48 y el Gráfico 17 se observa que el estiércol de oveja más tamo de avena posee una mejor descomposición en comparación con el resto de tratamientos.

## 10. Macro elementos

Al establecer el análisis de varianza para macro elementos (N, P y K) presentes en la fase final, para repeticiones no se detectaron diferencias estadísticas. A nivel de tratamientos se encontró diferencias estadísticas a nivel del 1% para el N(%), a nivel del 5% para el K(%), y para el P(ppm) no se detectaron diferencias estadísticas.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se encontró diferencias estadísticas a nivel del 1% al comparar el testigo (T5) versus el resto de tratamientos dentro del N(%), y a nivel del 5% dentro del K(%) como se observa en el cuadro 49.

**Cuadro 49. Análisis de Variancia Para Macro Elementos Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	MACRO ELEMENTOS		
		N (%)	P (ppm)	K (%)
TOTAL	14			
REPETICIONES	2	0.027 <sup>ns</sup>	11831.667 <sup>ns</sup>	0.008 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	0.284 <sup>**</sup>	12605.833 <sup>ns</sup>	0.018 <sup>*</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	0.526 <sup>**</sup>	1450.417 <sup>ns</sup>	0.046 <sup>*</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	0.001 <sup>ns</sup>	18802.083 <sup>ns</sup>	0.010 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	0.282 <sup>*</sup>	26666.667 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	0.327 <sup>*</sup>	3504.167 <sup>ns</sup>	0.015 <sup>ns</sup>
ERROR	8	0.037	13710.833	0.005
$\bar{X}(\%)$		0.89	309.67	0.29
CV(%)		21.45	37.81	23.76

Al comparar los tratamientos dentro de los rumiantes (T1 vs. T2) y dentro de monogástricos (T3 vs. T4) solo se encontró diferencias estadísticas a nivel del 5% dentro del N(%), para el resto de comparaciones ortogonales no se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 49).

El promedio de macro nutrientes expresado en porcentaje y partes por millón, para N(%) fue de 0.89, para P(ppm) fue de 309.67 y para K(%) fue de 0.29, con coeficientes de variación de 21.45%, 37.81% y 23.76% respectivamente.

Del análisis del Cuadro 50 se puede inferir que el empleo de tamo de avena más la adición de materia orgánica animal proporciona un contenido balanceado de macro elementos al final del proceso de elaboración de compost.

**Cuadro 50. Promedio de Macro Elementos Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tuckey al 5%.**

TRATAMIENTOS	MACRO ELEMENTOS		
	N (%)	P (ppm)	K (%)
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	0.76 ab	208.33	0.28 ab
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	1.19 a	341.67	0.29 ab
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	0.76 ab	330.00	0.39 a
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	1.23 a	378.33	0.29 ab
T5 Tamo de Avena	0.52 b	290.00	0.18 b

## 11. Elementos Secundarios

Al establecer el análisis de varianza para elementos secundarios (Ca y Mg) presentes en la fase final, no se detectaron diferencias estadísticas para repeticiones, ni tratamientos.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos no se encontró diferencias estadísticas en ninguna de las comparaciones ortogonales preestablecidas (Cuadro 51).

El promedio de elementos secundarios presentes en la fase final expresado en porcentaje, para Ca fue de 1.11 y para Mg fue de 0.39, con coeficientes de variación de 29.85% y 49.40% respectivamente.

**Cuadro 51. Análisis de Variancia Para Elementos Secundarios Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	ELEMENTOS SECUNDARIOS	
		Ca (%)	Mg (%)
TOTAL	14		
REPETICIONES	2	0.003 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	0.118 <sup>ns</sup>	0.016 <sup>ns</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	0.023 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	0.023 <sup>ns</sup>	0.128 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	0.084 <sup>ns</sup>	0.011 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	0.236 <sup>ns</sup>	0.035 <sup>ns</sup>
ERROR	8	0.110	0.038
$\bar{X}(\%)$		1.11	0.39
CV(%)		29.85	49.40

Al analizar al Cuadro 52 se observa que los elementos secundarios se encuentran en proporciones similares dentro de cada uno de los diferentes tratamientos, por lo cual se puede afirmar que la mezcla de los materiales de origen animal y vegetal proporcionan un contenido equilibrado para cada uno de ellos.

**Cuadro 52. Promedio de Elementos Secundarios Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	ELEMENTOS SECUNDARIOS	
	Ca (%)	Mg (%)
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	0.91	0.32
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	1.15	0.41
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	1.04	0.36
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	1.43	0.51
T5 Tamo de Avena	1.03	0.36

## 12. Micro elementos

Al establecer el análisis de varianza para los micro elementos durante la fase final del proceso de compostaje solo se detectó diferencias estadísticas a nivel del 5% para repeticiones dentro del manganeso, mientras que los tratamientos se diferencian estadísticamente a nivel del 1% dentro del manganeso y del cobre y a nivel del 5% dentro del hierro y del cinc.

Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se encontró diferencia estadística a nivel del 1% para todos los micro elementos excepto el cinc para el cual se encontró diferencia estadística a nivel del 5% al comparar el testigo T5 vs. el resto de tratamientos. Se encontró diferencia estadística a nivel del 1% dentro del manganeso y del cobre, a nivel del 5% dentro del cinc al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes con los tratamientos provenientes de los monogástricos (T1,T2 vs. T3,T4).

Al comparar los tratamientos dentro de los monogástricos (T3 vs. T4) se encontró diferencia estadística a nivel del 1% dentro del manganeso y del cobre, y a nivel del 5% dentro del cinc. Para el resto de comparaciones ortogonales no se encontraron diferencias estadísticas (Cuadro 53).

**Cuadro 53. Análisis de Variancia Para Micro Elementos Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

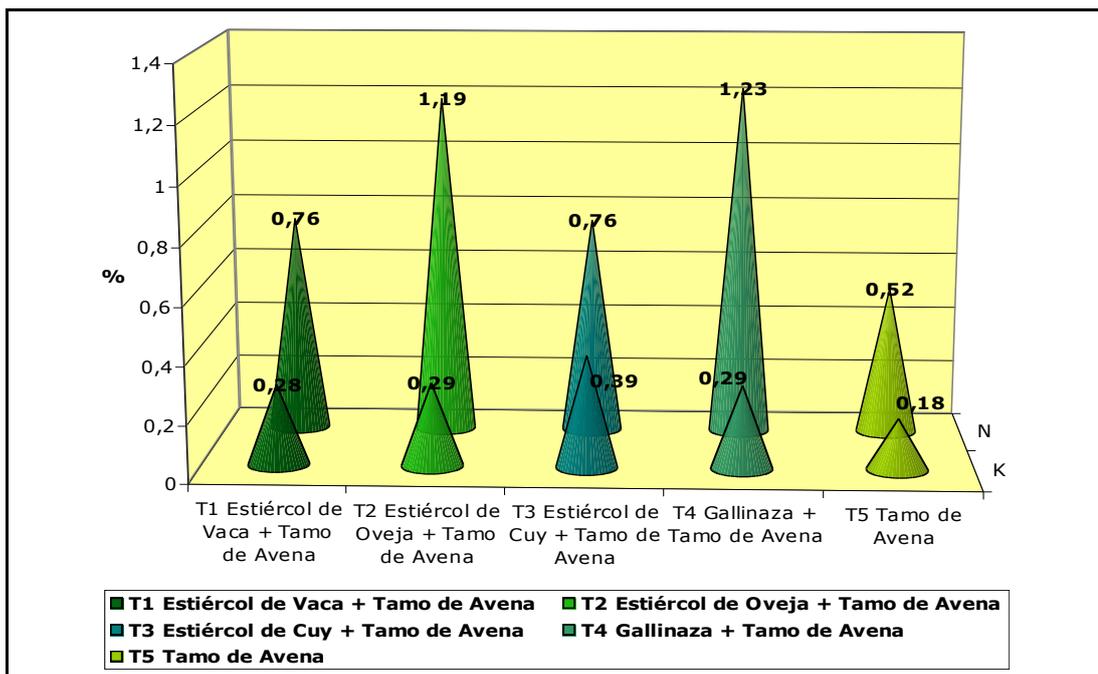
FUENTES DE VARIACIÓN	GL	MICRO ELEMENTOS			
		Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
TOTAL	14				
REPETICIONES	2	29.067 <sup>ns</sup>	33.800 <sup>*</sup>	0.672 <sup>ns</sup>	524.600 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	528.933 <sup>*</sup>	572.233 <sup>**</sup>	53.009 <sup>**</sup>	2489.775 <sup>*</sup>
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	1685.400 <sup>**</sup>	459.267 <sup>**</sup>	30.960 <sup>**</sup>	1938.017 <sup>*</sup>
T1,T2 vs. T3,T4	1	243.000 <sup>ns</sup>	1121.333 <sup>**</sup>	35.707 <sup>**</sup>	2700.000 <sup>*</sup>
T1 vs. T2	1	170.667 <sup>ns</sup>	4.167 <sup>ns</sup>	0.327 <sup>ns</sup>	70.042 <sup>ns</sup>
T3 vs. T4	1	16.667 <sup>ns</sup>	704.167 <sup>**</sup>	145.042 <sup>**</sup>	5251.042 <sup>*</sup>
ERROR	8	74.733	9.633	1.009	484.475
$\bar{X}$ (ppm)		47.47	41.40	6.44	48.90
CV(%)		18.21	7.50	15.60	45.01

El promedio para los micro nutrientes expresado en ppm fue de 47.467 para el hierro, 41.40 para el manganeso, 6.44 para el cobre y 48.90 para el cinc con coeficientes de variación del 18.21%, 7.50%, 15.6% y 45.01% respectivamente.

Al comparar todos los tratamientos en estudio se aprecia que dentro del cobre el primer lugar del primer rango lo comparten los tratamientos que poseen materia orgánica animal en su composición delegando el segundo rango al testigo (Cuadro 54).

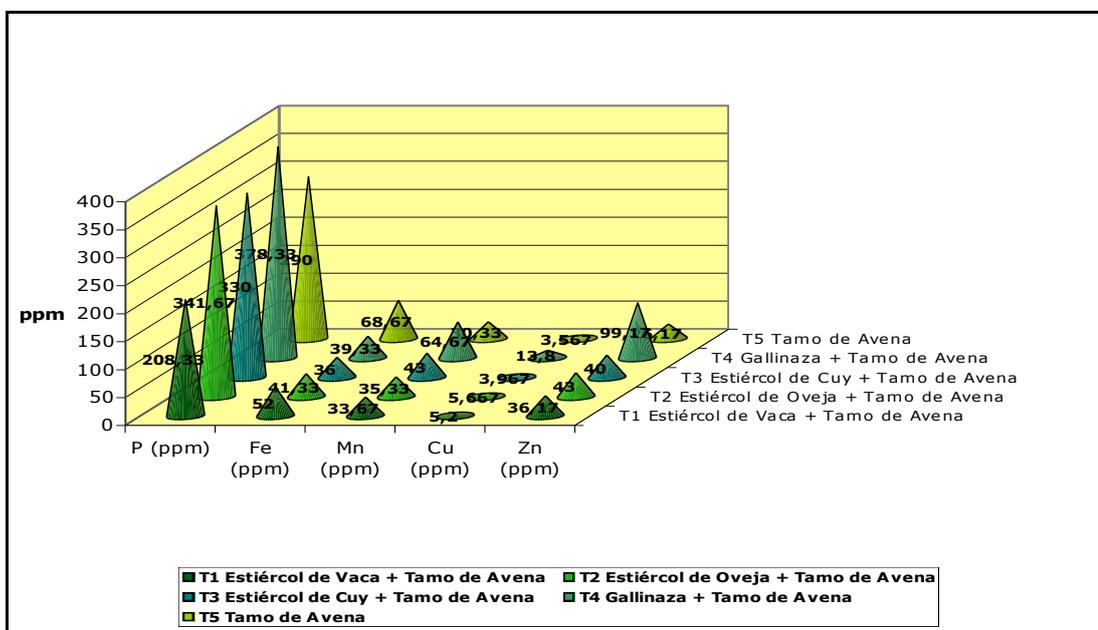
**Cuadro 54. Promedio de Micro Elementos Presentes en la Fase Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) Tuckey al 5%.**

TRATAMIENTOS	MICRO ELEMENTOS			
	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	52.00 ab	33.67 c	5.20 b	36.17 b
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	41.33 b	35.33 bc	5.67 b	43.00 ab
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	36.00 b	43.00 b	3.97 b	40.00 ab
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	39.33 b	64.67 a	13.80 a	99.17 a
T5 Tamo de Avena	68.67 a	30.33 c	3.57 b	26.17 b



**Gráfico 18. Contenido Final de Nutrientes en Porcentaje de los tratamientos en Estudio Dentro del Proceso de Elaboración de Compost.**

Los Gráficos 18 y 19 permiten una mejor visualización del contenido final de nutrientes de los diferentes tratamientos en estudio. Como se observa en estas relaciones los elementos de menor movilidad sufren pérdidas mínimas.



**Gráfico 19. Contenido Final de Nutrientes en ppm de los Tratamientos en Estudio Dentro del Proceso de Elaboración de Compost.**

Del análisis anterior se desprende que la adición de materia orgánica animal mas tamo de avena en términos generales no produce mayores cambios respecto al empleo de material vegetal solo en lo referente a micro nutrientes al final del proceso de compostaje.

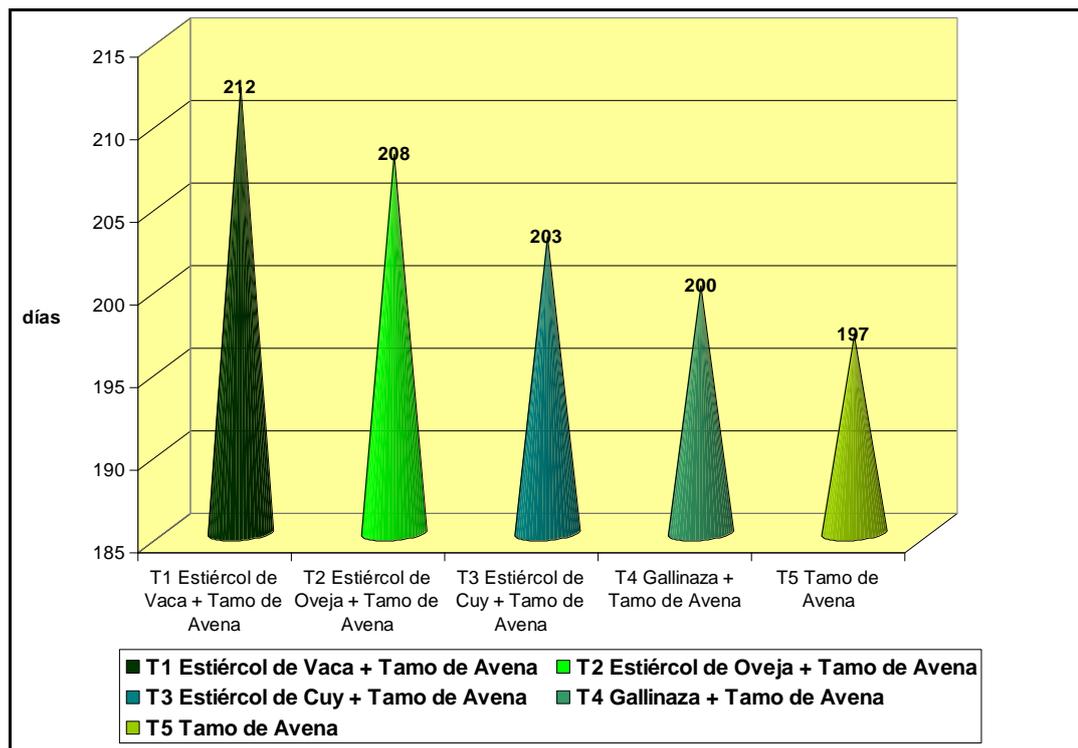
### 13. Tiempo de Compostaje

En lo referente al tiempo de compostaje, los datos obtenidos fueron en función al tiempo en que cada uno de los tratamientos presentó características óptimas para su cosecha esto se refiere a: olor, color, textura y homogeneidad del material.

Al realizar un análisis del Cuadro 55 se aprecia que al utilizar únicamente tamo de avena para la elaboración de compost el tiempo de compostaje es menor, pero como consecuencia de su características físicas es el de más bajo rendimiento.

**Cuadro 55. Tiempos de Compostaje durante el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	TIEMPO DE COMPOSTAJE		
	Inicio	Cosecha	Numero de días
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	08/10/2004	08/05/2005	212
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	08/10/2004	29/04/2005	208
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	08/10/2004	04/05/2005	203
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	08/10/2004	26/04/2005	200
T5 Tamo de Avena	08/10/2004	23/04/2005	197



**Gráfico 20. Días de Compostaje Para los Tratamientos Sometidos al Análisis.**

Para el resto de los tratamientos la diferencia no fue notoria en días a la cosecha. Cabe recalcar que el tiempo de compostaje es mayor que el de la literatura consultada, pero esto se da debido a las condiciones atmosféricas, el ensayo fue realizado en época de lluvias lo que dificulta la actividad microbiana por temperatura y el exceso de agua facilita la compactación del material produciendo procesos de anaerobiosis e impidiendo labores y disminuyendo ciertos nutrientes por lixiviación (Gráfico 20).

Se observa que utilizando estiércol de vaca más tamo de avena el tiempo a la cosecha se prolonga a 212 días, seguido por el estiércol de oveja mas tamo de avena con 208 días, para el primer caso es debido a que la materia orgánica animal es de mayor tamaño que para el resto de tratamientos, por lo cual su descomposición se daría en mayor tiempo; mientras que el estiércol de oveja por sus características físicas tiende a formar masas que demoran el proceso de descomposición.

#### 14. Rendimiento

Al establecer el análisis de varianza para el rendimiento en volumen del compost final no se detectó diferencia estadística para repeticiones, mientras que los tratamientos se diferencian estadísticamente a nivel del 1%. Al desglosar los grados de libertad para tratamientos se encontró diferencias estadísticas a nivel del 1% al comparar el testigo (T5) versus el resto de tratamientos, no se encontró diferencias estadísticas al comparar los tratamientos provenientes de rumiantes con los tratamientos provenientes de los monogástricos (T1,T2 vs. T3,T4).

Al comparar los tratamientos dentro de los rumiantes (T1 vs. T2) se encontró diferencias estadísticas a nivel del 5%, mientras que en los tratamientos dentro de los monogástricos (T3 vs. T4) se encontró diferencias estadísticas a nivel del 1% (Cuadro 56).

El promedio general del rendimiento, expresado en porcentaje fue del 20.75 con un coeficiente de variación del 9.5%.

**Cuadro 56. Análisis de Variancia Para los Rendimientos en Volumen en el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

FUENTES DE VARIACIÓN	GL	RENDIMIENTOS		
		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F
TOTAL	14	419.060		
REPETICIONES	2	25.040	12.519	3.220 <sup>ns</sup>
TRATAMIENTOS	(4)	362.890	90.722	23.310**
T5 vs. T1,T2,T3,T4	1	243.936	243.936	62.680**
T1,T2 vs. T3,T4	1	4.201	4.201	1.079 <sup>ns</sup>
T1 vs. T2	1	26.125	26.125	6.713*
T3 vs. T4	1	88.627	88.627	22.773**
ERROR	8	31.130	3.892	
X( % )			20.75	
CV(%)			9.50	

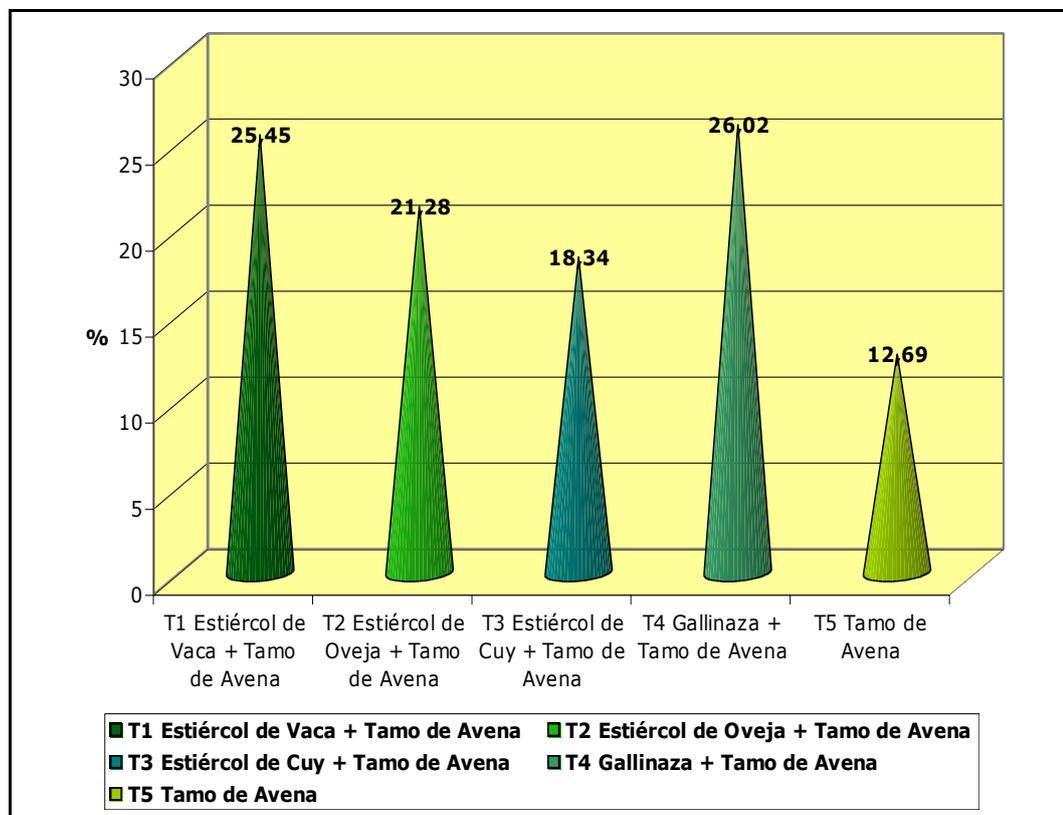
Al comparar todos los tratamientos en estudio se aprecia que el mayor rendimiento se obtuvo con la gallinaza con 26.02%, el cual se encuentra ocupando el

primer rango compartiéndolo con el estiércol de vaca y oveja, lógicamente el testigo manifiesta el menor rendimiento por que está constituido por material vegetal proveniente del tamo de avena (Cuadro 57 y Gráfico 21).

Del análisis anterior se desprende que la adición de materia orgánica animal al tamo de avena en general es más eficiente que solo la adición de tamo de avena.

**Cuadro 57. Promedios de Rendimientos en volumen en el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Tuckey al 5%.**

TRATAMIENTOS	RENDIMIENTOS
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	25.45 a
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	21.28 ab
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	18.34 b
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	26.02 a
T5 Tamo de Avena	12.69 c



**Gráfico 21. Promedio de Rendimiento del los Tratamientos Sometidos al Proceso de Elaboración de Compost.**

## D. COMPARACIÓN DE PROMEDIOS DURANTE LAS FASES DEL COMPOSTAJE

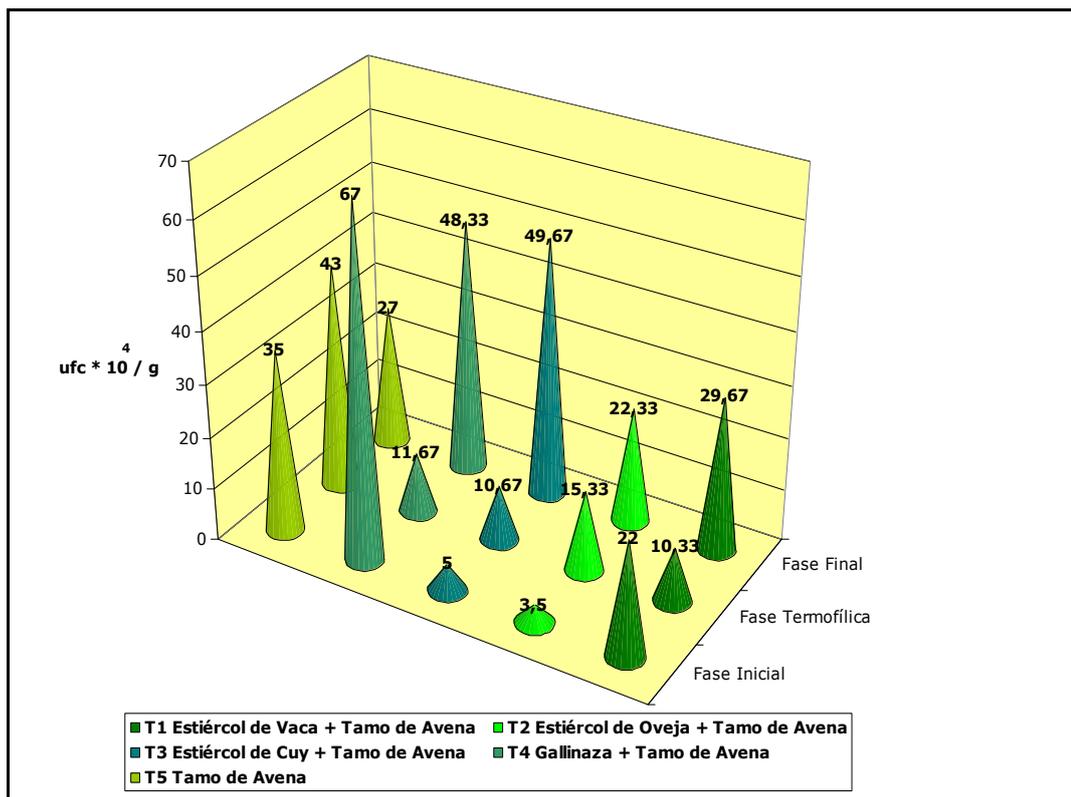
### 1. Hongos

Al comparar los promedios de los tratamientos en estudio durante todas las fases del proceso de compostaje, se observa una tendencia normal a la disminución de colonias fúngicas durante la etapa termofílica donde la temperatura frena el desarrollo fúngico. Esto no ocurre en los tratamientos con baja población inicial donde esta crece (T2 y T3). En los casos en que la población aumenta, la temperatura pico alcanzada no es lo suficientemente alta como para frenar el desarrollo fúngico (Cuadro 58).

En términos generales se puede observar un desarrollo normal durante la etapa final principalmente de hongos saprófitos que ejercen su acción de equilibrio de las poblaciones microbianas dentro de la compostera durante las diferentes fases del proceso.

**Cuadro 58. Promedio de Hongos (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Presentes durante el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	Fase Inicial	Fase Termofílica	Fase Final
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	22.00	10.33	29.67
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	3.50	15.33	22.33
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	5.00	10.67	49.67
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	67.00	11.67	48.33
T5 Tamo de Avena	35.00	43.00	27.00

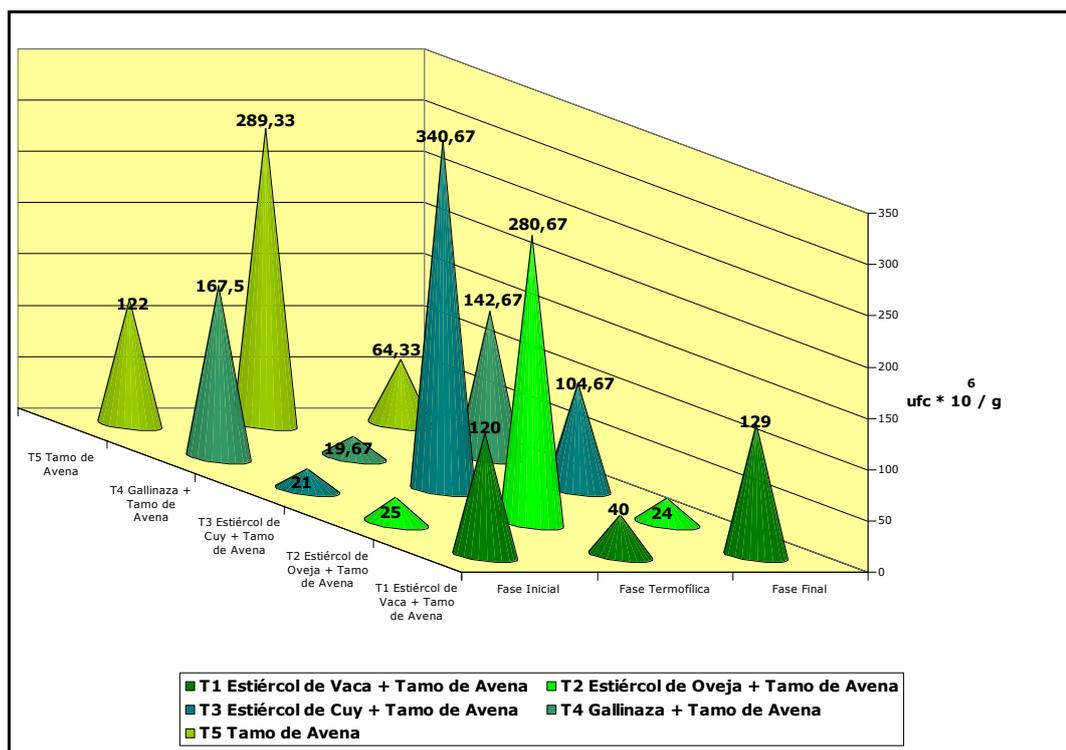


**Gráfico 22. Comparación de Poblaciones de Hongos ( $ufc * 10^4$  por Gramo) Durante las Diferentes Etapas del Proceso de Elaboración de Compost.**

Como se observa en el Gráfico 22, las mayores poblaciones se identificaron en el T4 compuesto por gallinaza más tamo de avena a través de todo el proceso, éste y el estiércol de vaca mas tamo de avena mostraron un freno en el desarrollo durante la etapa termofílica y un nuevo pico en la fase final, mientras que en el testigo se observa un desarrollo uniforme debido a las temperaturas registradas.

## 2. Bacterias

En el Gráfico 23, se observa la distribución de las colonias bacterianas a través del proceso, por supuesto se puede diferenciar el pico presente durante la fase termofílica del proceso donde el T3 compuesto por estiércol de cuy presentó la mayor población bacteriana.



**Gráfico 23. Comparación de Poblaciones de Bacterias (ufc \* 10<sup>6</sup> por Gramo) Durante las Diferentes Etapas del Proceso de Elaboración de Compost.**

Al realizar la comparación entre las poblaciones bacterianas durante el proceso de compostaje se observa un aumento poblacional durante la fase termofílica excepto en T1 (estiércol de vaca) y T4 (gallinaza), donde las poblaciones decrecieron. Este pico se debe a que la actividad bacteriana se ve favorecida por el aumento de la temperatura y humedad dentro de la compostera (Cuadro 59).

**Cuadro 59. Promedio de Bacterias (ufc \*10<sup>6</sup> por Gramo) Presentes durante el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	BACTERIAS		
	Inicial	Termofílica	Final
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	120.00	40.00	64.50
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	25.00	280.67	12.00
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	21.00	340.67	52.30
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	167.50	19.67	71.30
T5 Tamo de Avena	122.00	289.33	32.10

### 3. Bacterias Esporulantes

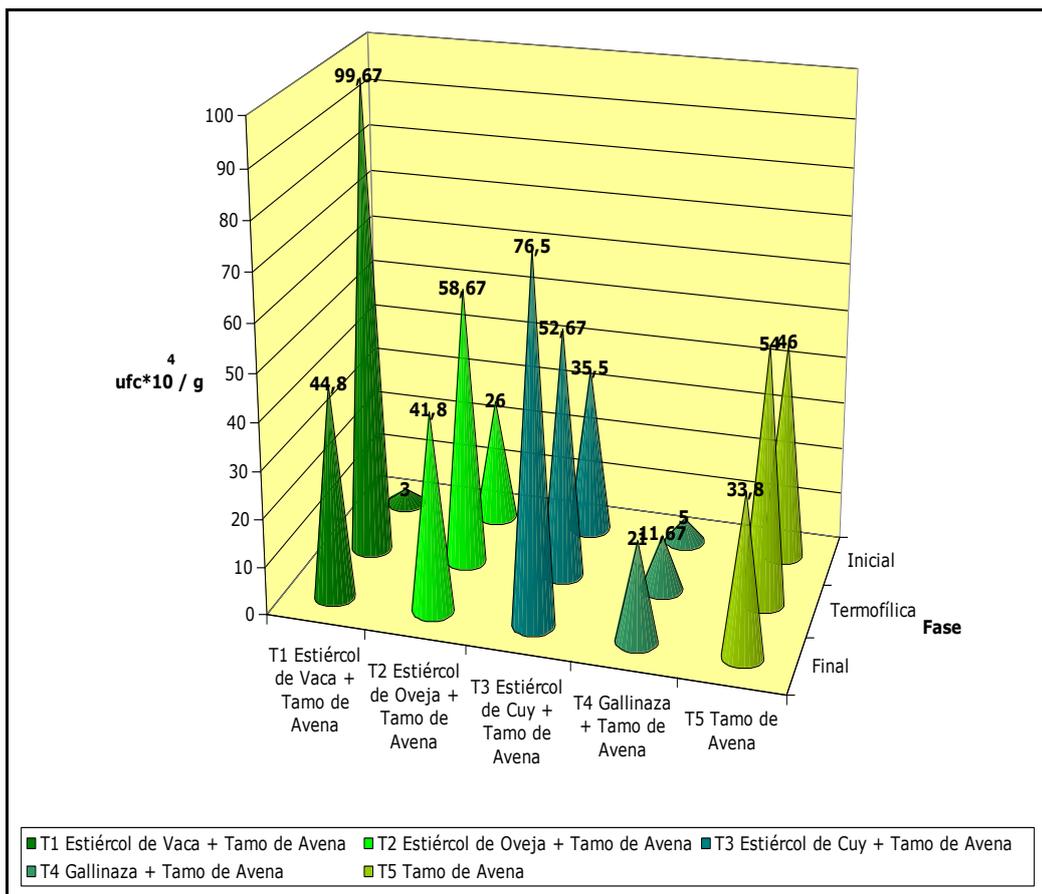
Como se observa en el Cuadro 60, tal como lo mencionan algunos autores citados en el capítulo correspondiente a revisión de literatura, la fase termofílica es una fase típicamente bacteriana, caracterizada por el aumento de la población de bacterias que están en capacidad de formar endosporas para su persistencia en altas temperaturas.

En la fase final, se puede ver que el T3 con estiércol de cuy aumenta en su contenido de bacterias esporulantes, lo que significa que este es un medio favorable para el desarrollo de bacterias del género *Bacillus*. En el testigo se observa un aumento progresivo de las poblaciones de bacterias esporulantes a lo largo del proceso.

**Cuadro 60. Promedio de Bacterias Esporulantes (ufc \*10<sup>4</sup> por Gramo) Durante el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	BACTERIAS ESPORULANTES		
	Inicial	Termofílica	Final
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	3.00	99.67	89.67
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	26.00	58.67	83.67
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	35.50	52.67	153.00
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	5.00	11.67	42.00
T5 Tamo de Avena	46.00	54.00	67.67

Como se observa en el Gráfico 24, el mayor desarrollo de bacterias esporulantes se obtuvo en el T1 que contiene estiércol de vaca, en el cual la población de estos micro organismos prácticamente duplica a los otros tratamientos en estudio.



**Gráfico 24. Comparación de Poblaciones de Bacterias Esporulantes ( $ufc * 10^4$  por Gramo) Durante las Diferentes Etapas del Proceso de Elaboración de Compost.**

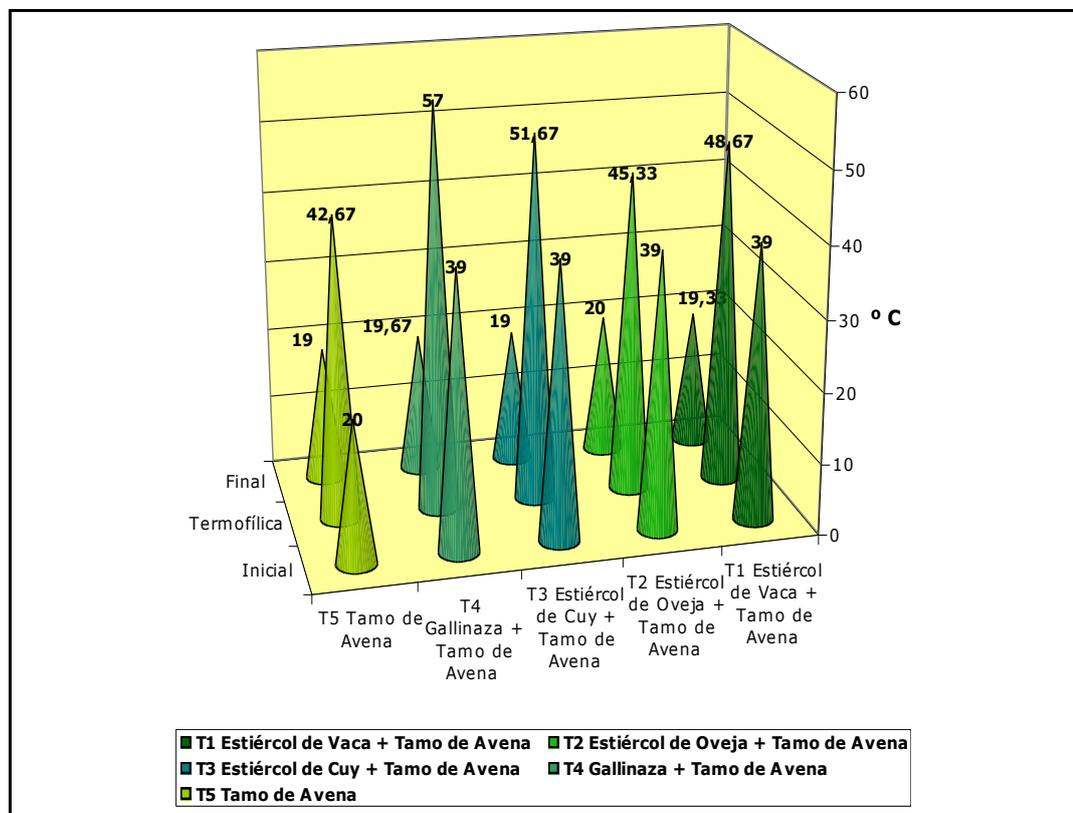
#### 4. Temperatura de Muestreo

En lo referente a la temperatura de muestra se observa con claridad el aumento de temperatura durante la fase termofílica del proceso. De igual manera se observa la estabilización de la misma cuando el compost está listo para la cosecha, lo que determina uno de los parámetros de estabilidad del material (Cuadro 61).

Por otro lado, el Gráfico 25 permite una mejor visualización del pico de temperatura de la fase termofílica seguido por la estabilización de la misma al final del proceso. Sin embargo se observa que el pico de temperatura del testigo no es muy alto como para reducir el contenido inicial de patógenos que puede tener el material al inicio del proceso.

**Cuadro 61. Promedio de Temperatura de Muestra durante el Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA DE MUESTRA		
	Inicial	Termofílica	Final
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	39.00	48.67	19.33
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	39.00	45.33	20.00
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	39.00	51.67	19.00
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	39.00	57.00	19.67
T5 Tamo de Avena	20.00	42.67	19.00



**Gráfico 25. Promedio de la Temperatura de Muestra de los Tratamientos sometidos al Proceso de Elaboración de Compost.**

### 5. Macro elementos

Al realizar un análisis del Cuadro 62, se observa que los promedios de los contenidos dentro del nitrógeno (%) todos disminuyen por efecto de la descomposición y pérdidas por lixiviación o emisión de gases.

Dentro del fósforo (ppm), se puede observar que para todos los tratamientos en estudio sus promedios aumentan debido a que este es un elemento de lenta movilidad en comparación con el resto de elementos y por ende aumenta de la fase inicial a la fase final, ya que en relación con el volumen de cada tratamiento los contenidos aumentan.

De igual manera para el potasio (%) sus contenidos disminuyen en relación con el inicial, debido a las pérdidas normales que se dan dentro de la compostera.

**Cuadro 62.** Comparación del Promedio de Macro Elementos en la Fase Inicial y Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.

TRATAMIENTOS	N(%)		P(ppm)		K(%)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	1.98	0.76	133.33	208.33	0.64	0.28
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	2.20	1.19	150.33	341.67	1.63	0.29
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	1.84	0.76	127.66	330.00	1.18	0.39
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	2.61	1.23	117.66	378.33	1.06	0.29
T5 Tamo de Avena	2.09	0.52	150.00	290.00	0.75	0.18

## 6. Elementos Secundarios

Al realizar el análisis del Cuadro 63 se observa que los promedios de los tratamientos en estudio dentro del Ca (%) aumentan de la fase inicial a la final debido a la formación de sales superficiales por efecto de la compactación del material debido a las aguas de lluvia.

Dentro del Mg (%) se observa que debido a pérdidas ocasionadas por diferentes razones como la lixiviación sus contenidos disminuyen hacia la fase final del proceso de compostaje.

**Cuadro 63. Comparación del Promedio de Elementos Secundarios en la Fase Inicial y Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	Ca(%)		Mg(%)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	0.48	0.91	0.52	0.32
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	0.65	1.15	0.47	0.41
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	0.66	1.04	0.38	0.36
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	0.65	1.43	0.31	0.51
T5 Tamo de Avena	0.27	1.03	0.18	0.36

## 7. Micro elementos

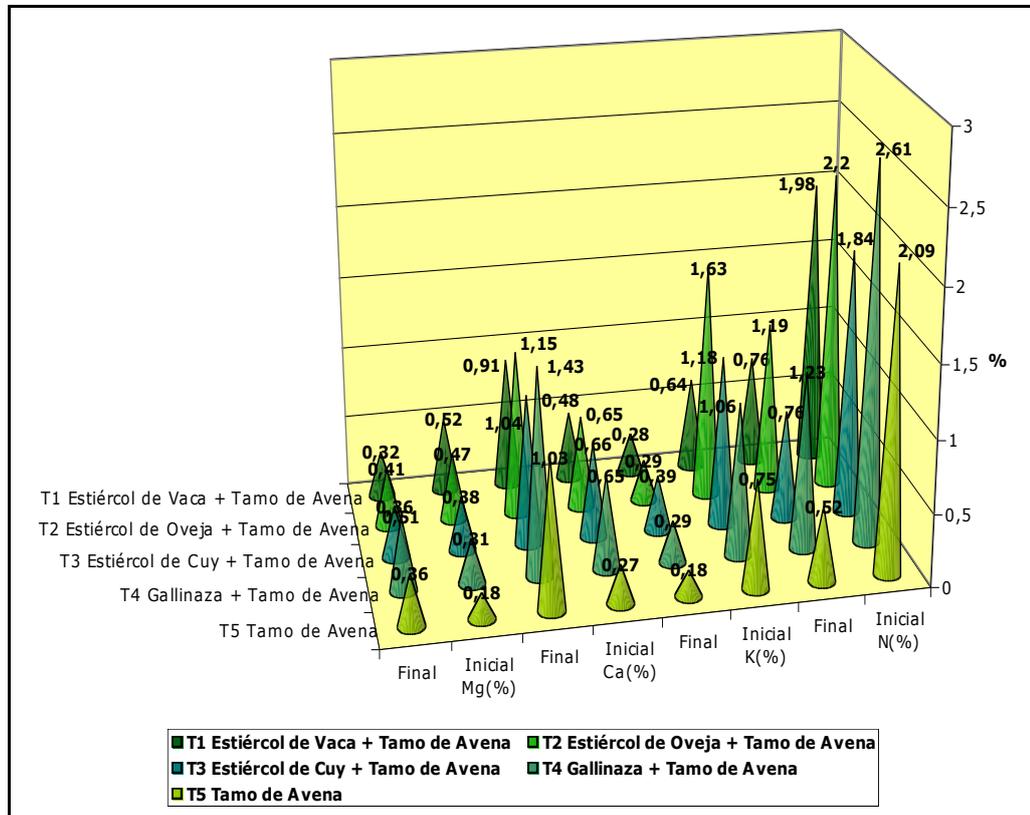
Al analizar el contenido del Cuadro 64 se desprende que dentro del Fe (ppm), Mn (ppm), Cu(ppm) y Zn (ppm) todos sus promedios de contenidos disminuyen hacia el final del proceso de elaboración de compost debido a las pérdidas que se producen dentro de la compostera. A excepción de los contenidos del testigo dentro del Zn (ppm), y del tratamiento constituido con gallinaza y tamo de avena (T4) dentro del Zn (ppm) y Mn (ppm) que aumentaron, se asume que fue debido al agua de riego.

**Cuadro 64. Promedio de Micro Elementos Presentes en la Fase Inicial y Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	Fe(ppm)		Mn(ppm)		Cu(ppm)		Zn(ppm)	
	Inicia I	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	37.67	52.00	101,33	33.67	5.00	5.20	17.33	36.17
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	32.33	41.33	64,33	35.33	8.33	5.67	31.33	43.00
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	51.33	36.00	58,33	43.00	10.03	3.967	78,67	40.00
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	85.33	39.33	49.67	64.67	100.13	13.80	79.33	99.17
T5 Tamo de Avena	84.00	68.67	34.00	30.33	16.33	3.567	24.33	26.17

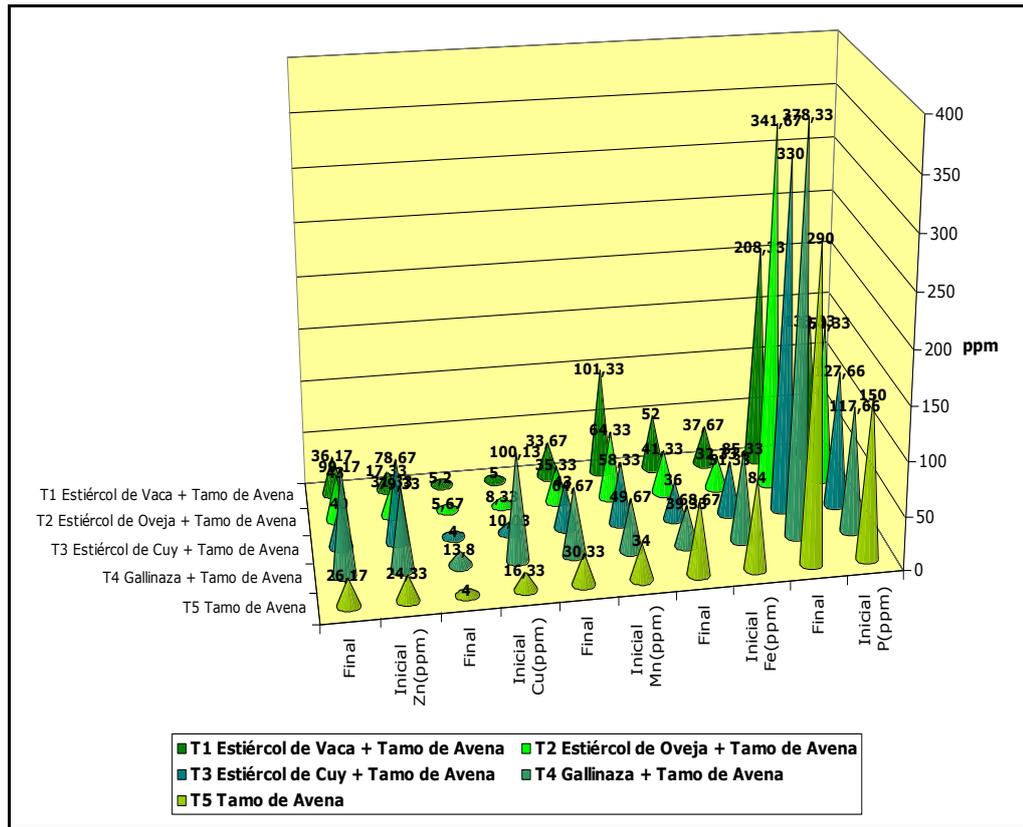
El Gráfico 26 muestra la comparación del contenido de nutrientes inicial y final del estudio de todos los nutrientes cuya interpretación fue obtenida en porcentaje. En el mismo se nota la pérdida significativa de elementos móviles como el nitrógeno a través del proceso, en tanto que se observa un aumento en el contenido

de elementos de menor movilidad como el calcio porque su pérdida es mínima y aflora el fósforo por el efecto de descomposición y la consecuente disminución de volumen.



**Gráfico 26. Comparación del Contenido de Nutrientes (%) de los Diferentes Tratamientos Sometidos al Proceso de Elaboración de Compost.**

El Gráfico 27 muestra en resumen la comparación del contenido de nutricional de las muestras inicial y final del proceso de compostaje de todos los nutrientes cuya interpretación se obtuvo en ppm. Este nos permite observar como elementos de menor movilidad como el fósforo afloran a través del proceso y aumenta su concentración, mientras que los elementos móviles se pierden con facilidad por el proceso de lixiviación.



**Gráfico 27. Comparación del Contenido de Nutrientes (ppm) de los Diferentes Tratamientos Sometidos al Proceso de Elaboración de Compost.**

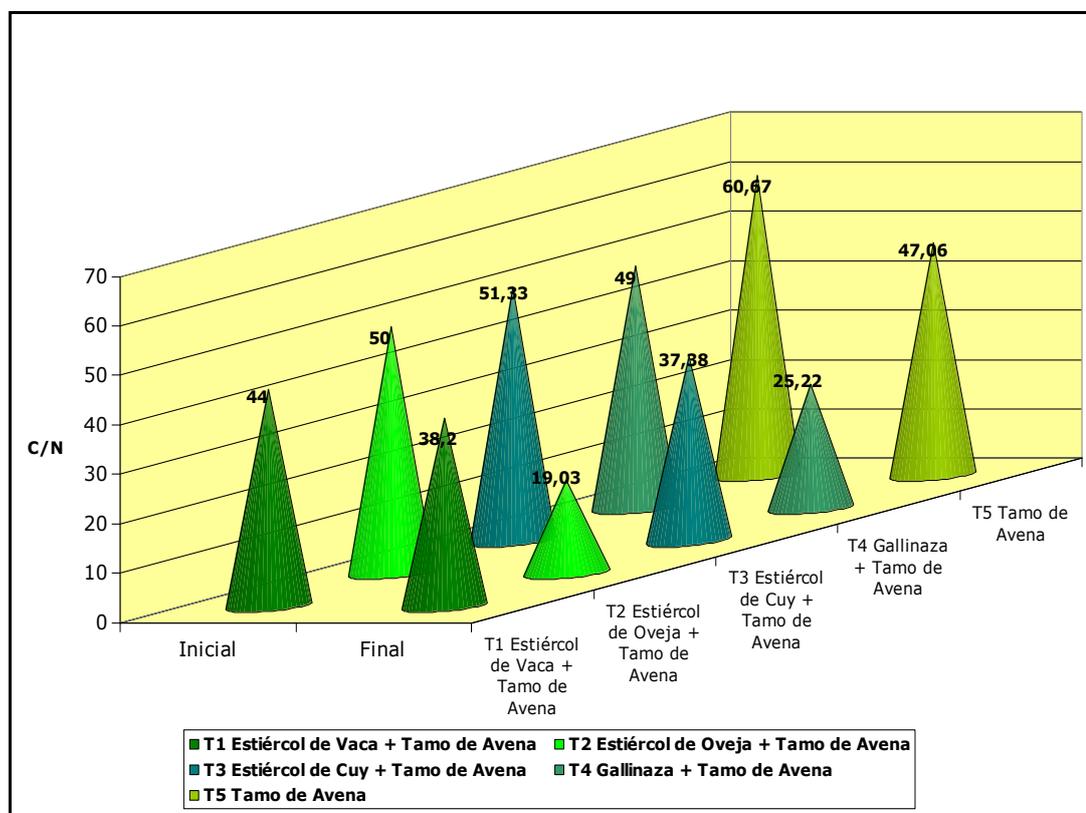
### 8. Relación Carbono / Nitrógeno

Al comparar los tratamientos en estudio se observa que durante la etapa inicial el primer rango lo ocupa el tamo de avena (mayor contenido de Carbono) con 60.67. El segundo rango lo comparten el estiércol de cuy con tamo de avena con 51.33, el estiércol de oveja más tamo de avena con 50.00 y la gallinaza más tamo de avena con 49.00. El último rango corresponde al estiércol de vaca con tamo de avena con 44.

Del análisis anterior se desprende que durante el proceso de elaboración del compost la relación C/N tiende a bajar por el consumo de nutrientes por parte de los micro organismos los cuales los reducen a dióxido de carbono y agua durante la descomposición aeróbica. Sin embargo, la pérdida de nitrógeno por falta de control ocasiona que la relación no se estandarice dentro del rango deseado del 20 a menos (Cuadro 65 y Gráfico 28).

**Cuadro 65. Promedio de la Relación Carbono / Nitrógeno Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*) Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	RELACIÓN C/N	
	Inicial	Final
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	44.00	38.20
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	50.00	19.03
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	51.33	37.38
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	49.00	25.22
T5 Tamo de Avena	60.667	47.06

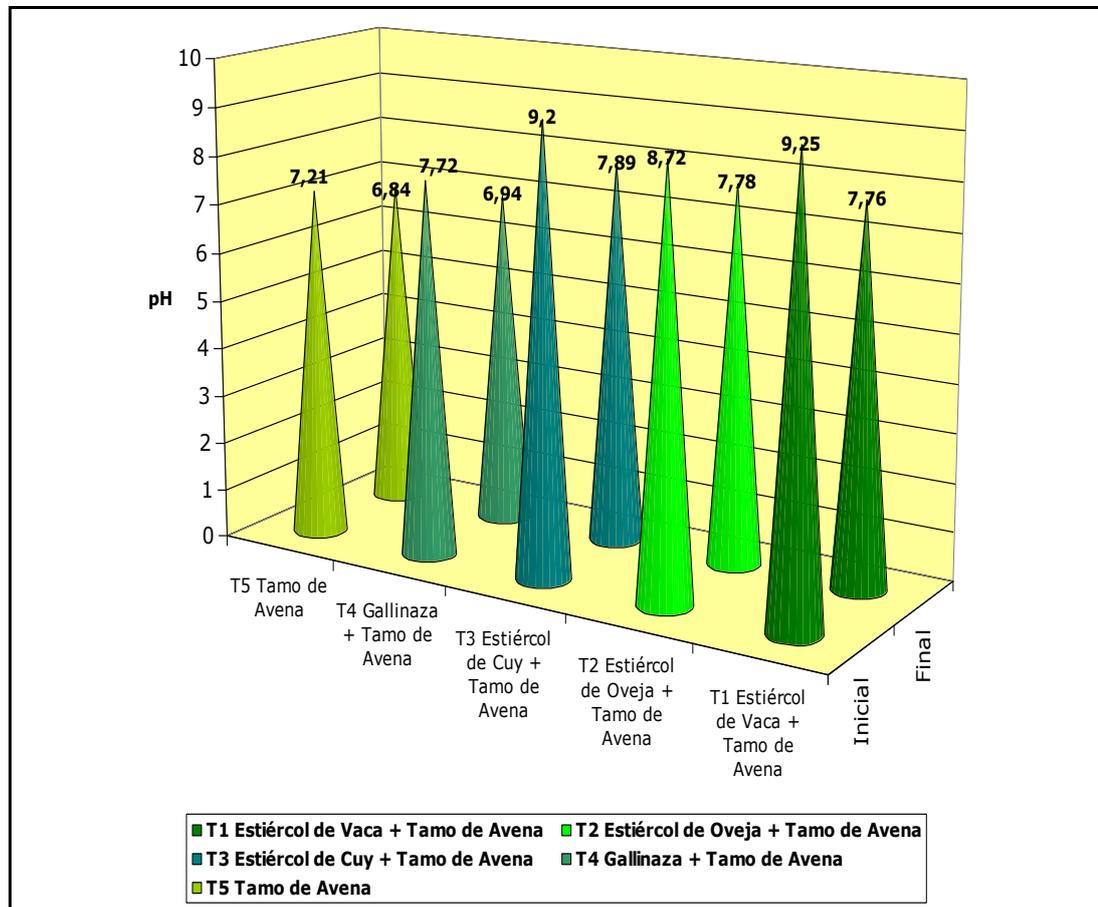


**Gráfico 28. Comparación del Promedio de la Relación C/N Inicial y Final de los Tratamientos en estudio Dentro del Análisis del Proceso de Elaboración de Compost.**

## 9. pH

Al comparar los tratamientos en estudio en la fase inicial se observa que el primer rango lo comparten el estiércol de cuy más tamo de avena (T3) con 9.2 y el estiércol de vaca mas tamo de avena (T1) con 9.25. El segundo rango lo ocupa el estiércol de oveja con tamo de avena con 8.72, el tercer rango lo ocupa la gallinaza

más tamo de avena con 7.72. El último rango corresponde al tamo de avena con 7.21 (Gráfico 29).



**Gráfico 29. Comparación del Promedio de pH Inicial y Final de los Tratamientos en estudio Dentro del Análisis del Proceso de Elaboración de Compost.**

Al comparar los tratamientos en estudio en la fase final del proceso se observa que el primer lugar del primer rango lo ocupa el estiércol de cuy más tamo de avena (T3) con 7.89. El segundo rango lo comparten el estiércol de oveja con tamo de avena con 7.78 (T2) y el estiércol de vaca más tamo de avena (T1), el tercer rango lo ocupa la gallinaza más tamo de avena (T4) con 6.94. El último rango corresponde al testigo con 6.84 (Cuadro 66).

Del análisis anterior se desprende que durante el proceso de elaboración del compost el pH disminuye conforme avanza la mineralización del material. Además la gallinaza por estar compuesta de heces y orina su pH es el más elevado, aunque llega a una estabilización su inicio es bastante básico.

**Cuadro 66. Promedio de pH Inicial y Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005.**

TRATAMIENTOS	PH	
	Inicial	Final
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	9.25 a	7.76ab
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	8.72 b	7.78 ab
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	9.2 a	7.89 a
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	7.72 c	6.94 bc
T5 Tamo de Avena	7.21 d	6.84 c

#### 10. Porcentaje de Materia Orgánica

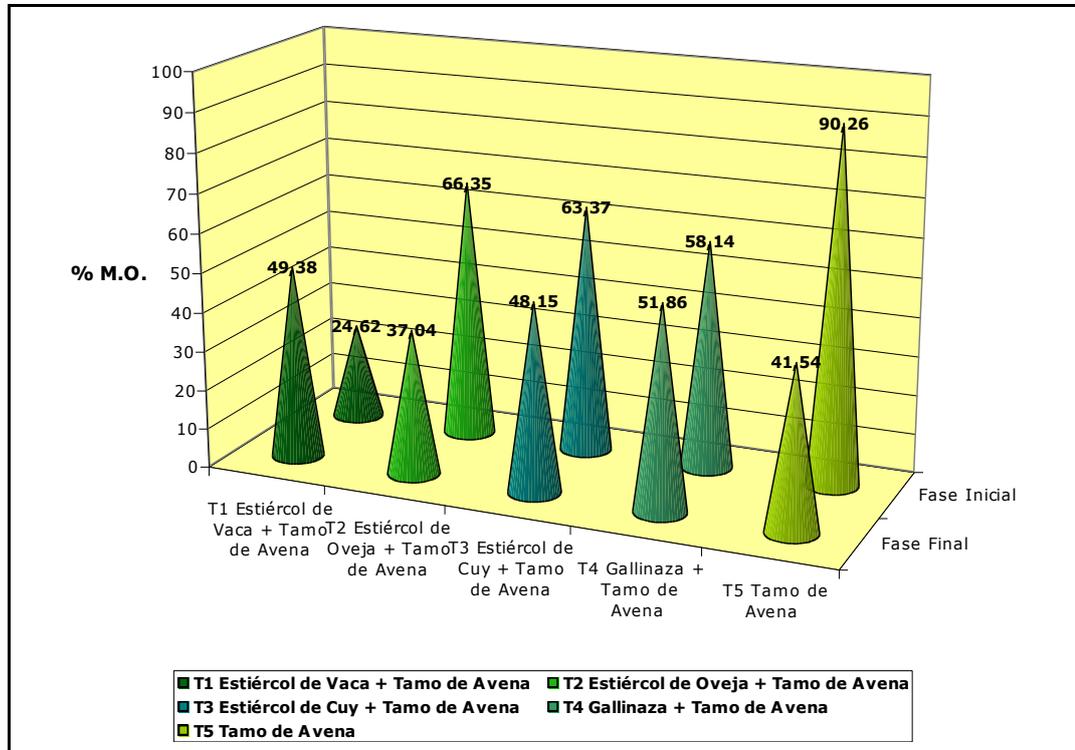
Al comparar los tratamientos en estudio en la fase final del proceso se observa que el primer lugar del primer rango lo ocupa el tamo de avena con 90.26%. El segundo rango corresponde al estiércol de oveja con tamo de avena con 66.35 (T2), el estiércol de cuy más tamo de avena (T3) ocupa el tercer rango con 63.37, la gallinaza más tamo de avena (T4) dentro del cuarto rango con 58.14, y el estiércol de vaca más tamo de avena (T1) en el ultimo rango con 24.62 (Cuadro 67).

**Cuadro 67. Promedio de Porcentaje de Materia Orgánica Final del Proceso de Elaboración de Compost con Cuatro Fuentes de Materia Orgánica Animal (*Bos taurus*, *Gallus gallus*, *Cavia porcellus*, *Ovis aries*). Hacienda El Prado 2005**

TRATAMIENTOS	PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA	
	Fase Inicial	Fase Final
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	24.62	49.383
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	66.35	37.040
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	63.37	48.147
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	58.14	51.857
T5 Tamo de Avena	90.26	41.540

Del análisis anterior se desprende que durante el proceso de elaboración del compost el porcentaje de materia orgánica en la mayoría de tratamientos disminuye conforme avanza la mineralización del material, sin embargo en el tratamiento con estiércol de vaca aumenta, debido a que la materia

orgánica inicial posee un bajo contenido de carbono y su porcentaje aumenta por la adición del tamo de avena como se observa en el Gráfico 30.



**Gráfico 30. Comparación del Promedio del Contenido de Materia Orgánica Inicial y Final de los Tratamientos en estudio Dentro del Análisis del Proceso de Elaboración de Compost.**

En el gráfico, se observa que en el T1 el porcentaje de materia orgánica aumenta respecto al inicial, esto puede deberse a la falta de homogeneidad del material inicial que favorece una toma de muestra no uniforme y debió alterar el valor inicial.

## E. PRUEBAS DE GERMINACIÓN

### 1. Porcentaje de Germinación

Al analizar el Cuadro 68, en términos generales se aprecia que la turba comercial posee los mayores porcentajes de germinación para cada variedad de semilla, esto como consecuencia de que el producto ha sido sometido a procesos de

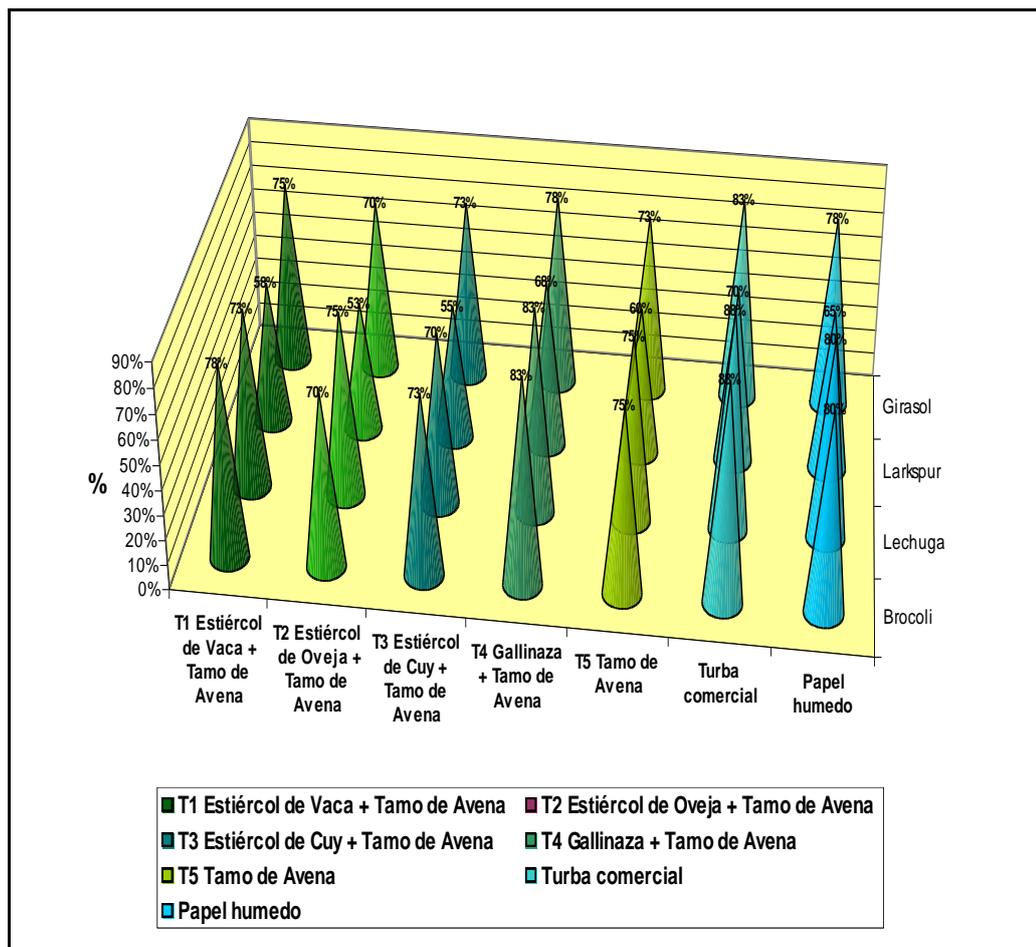
industrialización y de mejoramiento de la mayoría de sus características físico - químicas.

La prueba sobre papel húmedo sirvió para demostrar que las semillas se encontraban libres de cualquier agente patógeno, aunque existía daño mecánico o algunas de ellas por el tiempo aplicado en cámara húmeda no pudieron romper el letargo debido a su desarrollo fisiológico.

Al comparar los tratamientos en estudio, se observa para todas las variedades de semilla, que la gallinaza más tamo de avena contiene los mayores porcentajes de germinación, seguido por el tratamiento constituido por estiércol de vaca más tamo de avena. Posteriormente se puede también apreciar que los tratamientos restantes poseen características germinativas similares entre sí (Cuadro 68 y Gráfico 31).

**Cuadro 68. Porcentajes de Germinación de Semillas (Girasol, Larkspur, Lechuga, Brócoli) Utilizando los Diferentes Compost obtenidos durante el Proceso mas la Utilización de Turba Comercial y Papel Húmedo.**

TRATAMIENTOS	PORCENTAJE DE GERMINACION			
	Girasol	Larkspur	Lechuga	Brócoli
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	75%	58%	73%	78%
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	70%	53%	75%	70%
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	73%	55%	70%	73%
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	78%	68%	83%	83%
T5 Tamo de Avena	73%	60%	75%	75%
Turba Comercial	83%	70%	88%	88%
Papel Húmedo	78%	65%	80%	80%



**Gráfico 31. Porcentajes de Germinación de Semillas de Girasol, Larkspur, Lechuga y Brócoli en el Material Procedente del Análisis del Proceso de Elaboración de Compost, Turba Comercial y Papel Húmedo.**

## F. ANÁLISIS ECONÓMICO

### 1. Con costos de los estiércoles

Siguiendo la metodología de análisis de presupuesto parcial se procedió a obtener el beneficio bruto que corresponde al rendimiento de compost por el costo unitario; por otro lado se procedió a obtener los costos variables que corresponden al valor de los estiércoles más la mano de obra para la cosecha, de la diferencia de los beneficios brutos y los costos variables se obtuvo el costo de los beneficios netos (Cuadro 69)

**Cuadro 69. Beneficio Bruto, Costos Variables y Beneficio Neto de cada uno de los Tratamientos en Estudio.**

TRATAMIENTOS	REN m <sup>3</sup> /año	P.U.	B.N.	C V		TOT. C.V.	B.N.
				Estier.	Cosecha		
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	2.76	20	55.14	28.89	5.17	34.05	21.09
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	2.35	20	46.99	25.76	5.26	31.03	15.96
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	2.08	20	41.51	26.39	5.39	31.79	9.71
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	2.99	20	59.77	38.27	5.48	43.75	16.02
T5 Tamo de Avena	1.48	20	29.59	38.86	5.56	44.42	-14.82

Colocando los beneficios netos en orden decreciente acompañado de sus costos variables se procedió a realizar el análisis de dominancia donde tratamiento dominado es aquel que a igual o menor beneficio neto presenta un mayor costo variable, de este análisis se desprende que los únicos tratamientos no dominados constituyeron el T1 y el T2 (Cuadro 70).

**Cuadro 70. Análisis de Dominancia de los Tratamientos en Estudio.**

TRATAMIENTOS	B.N.	TOTAL CV.	
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	21.09	34.05	
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	16.02	43.75	*
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	15.96	31.03	
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	9.71	31.79	*
T5 Tamo de Avena	-14.82	44.42	*

Con los tratamientos no dominados se procedió a realizar el análisis marginal detectando que la mejor alternativa económica constituye el estiércol de vaca, seguido del estiércol de oveja (Cuadro 71).

**Cuadro 71. Análisis Marginal de los Tratamientos No Dominados.**

TRATAMIENTOS	B.N.	TOTAL C.V.	B.N.T1- B.N.T2 (A)	C.V.T1- C.V.T2 (B)	A/B
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	21.09	34.05	5.13	3.03	1.69
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	15.96	31.03			

## 2. Sin Costos de los Estiércoles

En el Cuadro 72 se presentan los beneficios brutos, los costos variables y el beneficio neto de los tratamientos en estudio sin tomar en cuenta los costos de los estiércoles.

**Cuadro 72. Beneficio Bruto, Costos Variables y Beneficio Neto de cada uno de los Tratamientos en Estudio (Sin costo de los estiércoles).**

TRATAMIENTOS	REN	P.U.	BB.	COSECHA	TOT. C.V.	B.N
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	2.76	20	55.14	5.17	5.17	49.97
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	2.35	20	46.99	5.26	5.26	41.73
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	2.08	20	41.51	5.39	5.39	36.11
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	2.99	20	59.77	5.48	5.48	54.29
T5 Tamo de Avena	1.48	20	29.59	5.56	5.56	24.04

Colocando los beneficios netos y los costos variables se procedió a realizar el análisis de dominancia encontrando que los únicos tratamientos no dominados fueron la gallinaza y el estiércol de vaca (Cuadro 73).

**Cuadro 73. Análisis Marginal de los Tratamientos No Dominados (Sin costo de los estiércoles).**

TRATAMIENTOS	B.N.	TOTAL CV.	
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	54.29	5.48	
T1 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	49.98	5.17	
T2 Estiércol de Oveja + Tamo de Avena	41.73	5.26	*
T3 Estiércol de Cuy + Tamo de Avena	36.11	5.39	*
T5 Tamo de Avena	24.04	5.56	*

Con los tratamientos no dominados se procedió a realizar el análisis marginal encontrando que la mejor alternativa económica constituye el uso del estiércol de gallina seguido del estiércol de vaca (Cuadro 74).

**Cuadro 74. Análisis Marginal de los Tratamientos No Dominados (Sin costo de los estiércoles).**

TRATAMIENTOS	B.N.	TOTAL C.V.	B.N.T1- B.N.T2 (A)	C.V.T1- C.V.T2 (B)	A/B
T4 Gallinaza + Tamo de Avena	54.29	5.48	4.32	0.31	13.93
T2 Estiércol de Vaca + Tamo de Avena	49.98	5.17			

## V. CONCLUSIONES

### A. Conclusiones.

- En el proceso de elaboración de compost, inicialmente, la relación C/N fue alta para el tamo de avena, debido al mayor contenido hidratos de carbono estructurales, por otro lado el estiércol de vaca más tamo de avena presentó una menor relación inicial dada su mayor degradación.
- Los contenidos iniciales de materia orgánica fueron mayores en el proceso de elaboración de compost en el tamo de avena y menores en el estiércol de vaca, guardando una correlación con la relación C/N.
- Los estiércoles de los herbívoros presentan un pH inicial más alto que el estiércol de gallina y el tamo de avena solo.
- El material a base de estiércol de oveja más tamo de avena para la elaboración de compost presentó el mejor contenido de macro elementos pues ocupa el segundo puesto en el contenido de nitrógeno y los primeros en contenidos de fósforo y potasio así como altos contenidos de elementos secundarios (Ca y Mg).
- Las mayores temperaturas dentro de la fase termofílica en el proceso de elaboración de compost se obtuvieron en el estiércol de cuy más tamo y en la gallinaza más tamo de avena, lógicamente la menor temperatura correspondió al tratamiento testigo (por la menor actividad bacteriana).
- En términos generales las menores poblaciones de hongos en la fase termofílica correspondió a los estiércoles, mientras que la mayor presencia de

hongos se obtuvo en el tamo de avena, esto se debe al efecto de la temperatura. Se destacaron los hongos *Rhizopus* y *Geotrichum*.

- La mayor población bacteriana en la fase termofílica se presentó en el estiércol de oveja, de cuy y en el tratamiento exclusivamente con tamo de avena
- El estiércol de vaca más tamo de avena alcanzó la mayor población de bacterias esporulantes, mientras que la menor correspondió a la gallinaza, especialmente para el caso particular de *Bacillus stearothermophilus*.
- Las temperaturas de las muestras de todos los compost en la fase final presentaron similares temperaturas.
- La población menor de hongos en la fase final correspondió al estiércol de oveja, seguido del tamo de avena solo y del estiércol de vaca más tamo especialmente en lo que corresponde a *Rhizopus* y *Fusarium*; anotando que estos no fueron patógenos pues no afectaron la germinación de semillas.
- En la fase final se destaca la gallinaza más tamo de avena por presentar el menor contenido de bacterias esporulantes, pero contiene una mayor población general de bacterias.
- El menor contenido de bacterias se presentó en la fase final de elaboración de compost con estiércol de oveja más tamo de avena.
- El menor contenido de nematodos saprofitos se presentó en el proceso de elaboración de compost en base de gallinaza más tamo de avena, mientras que en el resto de tratamientos se duplicaron y hasta casi triplicaron.
- El porcentaje de materia orgánica final fue mayor en la gallinaza más tamo de avena debido posiblemente a que este estiércol se recoge bajo un sustrato de aserrín.

- La relación C/N más adecuada se presentó en el compost de oveja más tamo de avena, seguido de la gallinaza.
- Los mayores contenidos de macro elementos y de elementos secundarios correspondieron a los compost de gallinaza más tamo de avena y al compost de oveja más tamo de avena así como de los elementos secundarios.
- Los mayores contenidos de micro elementos (Mn, Cu, Zn) se presentaron en el compost de gallinaza más tamo de avena.
- Debido a la mayor aireación y a la menor compactación el tamo de avena ocupó un menor tiempo de compostaje, mientras que el estiércol de vaca requirió un mayor tiempo.
- Los mayores rendimientos en volumen correspondieron a la gallinaza, estiércol de vaca y estiércol de oveja, mientras que el menor correspondió al tamo de avena.
- En términos generales el estiércol de oveja presentó la menor población de hongos a lo largo de sus fases, siendo ésta menor en la fase final.
- El estiércol de vaca se destaca pues en su fase final presentó la mayor población de bacterias esporulantes que constituyen elementos benéficos para el cultivo de algunas especies.
- Si bien las diferencias no fueron marcadas, la mayor germinación de semillas de prueba se obtuvo con el compost de gallinaza más tamo de avena que prácticamente se equipara a la turba comercial, pues la diferencia es alrededor del 5%.
- Si a los estiércoles se les da un costo real, las mejores alternativas económicas constituyeron el estiércol de vaca y el estiércol de oveja; sin embargo si se consideraría el costo de oportunidad de cero debido a que los

estiércoles se obtienen en la finca, las mejores alternativas económicas constituyen la gallinaza y el estiércol de vaca.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Si bien el proceso de obtención de compost va a depender de la facilidad para conseguir los diferentes estiércoles es importante la adición de material vegetal propio de la zona, por lo tanto se recomienda validar con otros tipos de materias vegetales.
- Dependiendo de la facilidad de obtención de los materiales base se recomienda la utilización de la gallinaza siempre y cuando sean provenientes de la finca por el alto contenido de micro elementos y de los estiércoles de vaca por ser la mejor alternativa económica y del de oveja por constituir la segunda alternativa económica y de alto contenido de macro y elementos secundarios.
- Se recomienda a los agricultores no obtener compost de materiales exclusivamente de rastrojos por el menor volumen de compost obtenido.

## VI. RESUMEN

Debido al continuo desgaste que sufre la tierra por el uso inadecuado de productos químicos y de tecnología, es importante pensar en el uso de abonos orgánicos para restituir lo que los cultivos extraen durante sus ciclos.

Para la obtención de productos y abonos orgánicos de calidad con fines agrícolas, es necesario la intervención de microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica, la cual provee dependiendo de la fuente los elementos necesarios para su metabolismo y a la vez estos ayudan al proceso de mineralización de los nutrientes.

El compost es un material al que se llega por biotecnologías de bajo costo, que permite mantener la materia orgánica dentro del ciclo natural. En última instancia, el compost puede ser considerado como un bien "ambiental - social".

Dentro de los principales beneficios del compost se tiene la mejora de la estructura y textura del suelo, al mismo tiempo que mejora la retención de humedad y previene posibles efectos de la erosión a través de su aplicación, entre otros.

Con la presente investigación se pretendió identificar la clase y cantidad de microorganismos que actúan en cada fase del proceso de compostaje, dependiendo del tipo de estiércol que se utilice en él y, además la calidad final del compost desde el punto de vista agrícola.

La presente investigación se llevó a cabo en la Hacienda el Prado, y constó de tres Fases: elaboración del compost, análisis del compost en laboratorio y pruebas de germinación; todas con cinco tratamientos constituidos por cuatro diferentes fuentes de materia orgánica animal mas una fuente de materia vegetal.

Los materiales utilizados durante las diferentes fases del análisis correspondieron a material de campo como trinchas y palas entre otros. Material de laboratorio que incluyó material de vidrio, medios de cultivo y un kit para identificación de bacterias. En las pruebas de germinación se estudió el material obtenido del análisis, turba comercial y en adición una prueba en papel húmedo.

De la mezcla de los materiales se establecieron las composteras en un diseño de Bloques Completamente al Azar con tres repeticiones, iniciando el Proceso de Compostaje el cual poseía tres fases: Inicial, Termofílica y Final. De cada una se tomó muestras para el análisis microbiológico, físico-químico y nutricional, además de las pruebas de germinación con el producto final homogenizado por tratamiento.

El compost a base de estiércol de oveja mas tamo de avena resultó el mejor tratamiento por sus contenidos superiores de macro elementos y de elementos secundarios en comparación con el resto de tratamientos, mientras el compost con gallinaza y tamo de avena fue superior en contenidos de micro nutrientes.

Dentro del análisis microbiológico se encontró especies de *Bacillus* (bacterias), *Trichoderma* (hongos) y *Rhabditis* (nematodos) que ayudan a mantener el equilibrio de la población microbiana del suelo lo que se traduce en un mejor efecto de la materia orgánica.

Económicamente, los tratamientos con estiércoles de vaca y oveja resultaron los más rentables, mientras que al tomar al estiércol como costo de oportunidad, los tratamientos con gallinaza y estiércol de vaca resultaron los que presentan un mejor margen de beneficio económico.

## VII. SUMMARY

The continuous abuse of the soil due to an inadequate use of technology, pesticides and chemical fertilizers has caused serious damage on this resource. Therefore it is important to consider using organic matter to restore nutrients that have been taken by the crops.

For organic matter to decompose, in order to obtain high quality organic products it is necessary that some microorganisms interact inside the compost heap. The product obtained from this process will provide important nutrients for plants metabolism and their development, although the quality and amount of nutrients depend on the original material that is going to be decomposed.

Compost is obtained as a result of a series of low budget biotechnologies. It allows having high quality organic matter inside a natural cycle of decomposition. For instance, compost can be considered as a “social – environmental” asset.

Compost has many benefits, among these benefits the improvement of soil's texture and structure, which improves its humidity at the same time and the protection of possible erosion, can be cited.

This research tries to determine the type and quantity of microorganisms that intervene on each composting phase relating their presence or absence to the type of manure used as a basis material. Its purpose is also to evaluate the nutrient contents of each treatment under study.

This study was developed at Hacienda El Prado and was developed on three different phases: field research, lab analysis and germination tests. All process was evaluated on five different treatments, four animal manures (cow, sheep, guinea pig

and chicken dung) combined with oats straw which was established alone as a witness of the process.

To develop this research, field laboring materials, laboratory and germination trays were used.

The compost heaps were made from the combined material of each animal manure with oats straw and straw alone on a complete blocks randomly arranged design. Once the process started it was divided on three stages: initial, high temperature and final. There were samples taken on each stage in order to make all laboratory analysis. For the germination stage, material from all treatments was taken to be evaluated.

Sheep manure plus oats straw compost was the best treatment on the nutritional analyses. It had the high contents of N, P, K, Ca, and Mg. While the compost obtained of chicken dung combined with oats straw had higher contents of minor nutrients.

On the microbial analyses bacteria from the *Bacillus* genre, *Trichoderma* fungi and *Rhabditis* nematodes were identified. These microorganisms are known to maintain microbial activity under control inside the soil.

After an economical analysis the cow manure and sheep manure materials were considered to be the more profitable. Another analysis was made which didn't consider manures cost, and after it, chicken dung material was established as the most profitable followed by the cow manure material.

## **IX. BIBLIOGRAFÍA**

- BENZING, A., 2001.”Agricultura Orgánica, Fundamentos Para la Región Andina”, Editorial Neekar – Verlag 2001, Alemania. pp. 252-289.
- BERGEY, “Bergey’s Manual of Determinative Bacteriology”, Editorial Wilkins & Wilkins, Baltimore EEUU, pp. 202 – 220.
- BURBANO, H., “El Suelo: Una Visión Sobre sus Componentes Bioorgánicos”, Universidad de Nariño, Pasto Colombia 1989, pp. 92, 93.
- CEPEDA, “Nematología Agrícola”, Dormarthy Ltda., Bogotá Colombia, 1996, pp. 40 – 42
- HAUG, R., “The Practical Handbook of Compost Engineering” Editorial Lewis, California EEUU, 1993, pp. 1- 403
- MARTÍNEZ, M., “Agricultura Biológica”, Dormarthy Ltda., Bogotá Colombia, 2001, pp. 70 – 75
- PUMISACHO, M., “El Cultivo de la Papa en Ecuador”, INIAP – CIP, Quito Ecuador, 2002, pp. 95,96.
- RODALE, J., “The Complete Book of Composting”, EMMAUS, Pennsylvania EEUU, 1973, pp. 19 – 847.
- SUQUILANDA, Manuel; 1995; “AGRICULTURA ORGANICA: Alternativa Tecnológica del futuro”, Ediciones UPS Fundagro Abya Yala; Quito-Ecuador, pp. 141,165,166,172-215

- SZTERN, D., PRAVIA, M., 1999, “Manual Para la Elaboración de Compost Bases Conceptuales y Procedimientos” (en línea). Consultado el 28 de Julio del 2005. Disponible en: <http://www.ops.org.uy/pdf/compost.pdf> (Internet 1)
- VARIOS, 2005 “El Compostaje” (en línea). Consultado el 30 de Julio del 2005. Disponible en: <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.asp> (Internet 2)
- SOLANS, X., 2003. “Plantas de Compostaje Para el Tratamiento de Residuos: Riesgos Higiénicos”(en línea). Consultado el 3 de Agosto del 2005. Disponible en: [http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_597.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_597.htm) (Internet 3)