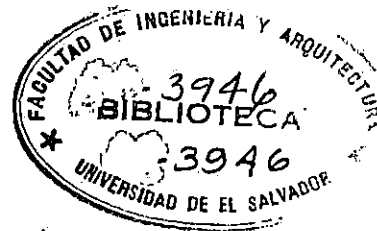


TUES  
1506  
C357  
1994

Ej. 2

# UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



## "ESTUDIO DEL EFECTO DE AIREACION, FUENTE DE NITROGENO Y TIPO DE ABONERA EN LA ESTABILIZACION DE PULPA DE CAFE PARA SU USO COMO ABONO ORGANICO"

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

ANA ISABEL CATEDRAL MERINO  
HERMAN VLADIMIR GARCIA FERNANDEZ  
EDGARDO GONZALEZ HERCULES

PARA OPTAR AL TITULO DE:

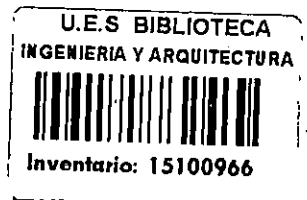
15100966

15100966

## INGENIERO QUIMICO

DICIEMBRE DE 1994

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

**DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA**

**SECRETARIO GENERAL**

**LIC. JUSTO ROBERTO CAÑAS**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**DECANO**

**ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS**

**SECRETARIO**

**ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**DIRECTORA**



*Delmy Del-Carmen Rico Peña*  
**ING. DELMY DEL-CARMEN RICO PEÑA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**TRABAJO DE GRADUACION:**


**"ESTUDIO DEL EFECTO DE AIREACION, FUENTE DE NITROGENO Y TIPO DE ABONERA EN LA ESTABILIZACION DE PULPA DE CAFE PARA SU USO COMO ABONO ORGANICO"**

**PRESENTADO POR:**

**ANA ISABEL CATEDRAL MERINO  
HERMAN VLADIMIR GARCIA FERNANDEZ  
EDGARDO GONZALEZ HERCULES**

  
**ING. ANA MARIA GONZALEZ TRABANINO  
COORDINADORA**



  
**ING. JULIA CAROLINA MONTERROSA  
ASESORA POR FUNDACION SALVADOREÑA  
PARA INVESTIGACIONES DEL CAFE  
PROCAFE**

## **DEDICATORIA**

*A DIOS Yavé y María Auxiliadora, por haberme iluminado y guiado hasta la culminación de una de mis mayores aspiraciones.*

*A mis Padres: Alfonso y María, quienes son también artífices de este triunfo, ya que con su amor, sacrificio y ejemplo me animaron a buscar siempre la superación, reiterándoles mi amor y respeto.*

*A mi tío: Revdo. P. Mauricio, por sus sabios consejos y apoyo.*

*A mis Hermanos: Oscar, Margarita, Nancy, Mauricio y Rosario por su cariño, apoyo y estímulo que me brindaron siempre.*

*A mis Sobrinos y Cuñados: Con mucho afecto.*

*A mi Esposo: Hugo Romeo, con amor, por su apoyo y comprensión, por estar conmigo durante los momentos que más lo necesitaba y siendo ambos uno, sentimos la misma satisfacción por el logro alcanzado.*

*A mi Coordinadora y a mi Asesora: Con mucho respeto y admiración.*

*A mis maestros, compañeros y amigos: Por otorgarme siempre su apoyo moral.*

*Ana Isabel*

## **DEDICATORIA**

- A DIOS TODOPODEROSO:** *Por ser la energía que mueve el Universo, sin cuya voluntad, esta realidad no sería posible. Dándole gracias por darme la conciencia y guiar mi vida para llegar a la consecución de esta meta.*
- A MIS PADRES:** *Gloria Herminia, por ser Madre y Amiga, por darme siempre su amor, cariño y comprensión, apoyo moral y económico, por su confianza en mi capacidad para alcanzar mis metas.*  
*Gonzalo Rufino: Por ser un padre y amigo ejemplar, estar siempre a mi lado en los momentos más difíciles, motivarme a seguir adelante, y por que siempre ha sabido darme buenos consejos, su cariño y comprensión.*  
*A ambos realmente debo este triunfo que también es de ellos.*
- A MIS HERMANOS:** *Rhina Lisseth y Edwin Arnoldo por su amor, cariño y comprensión, apoyo moral y material, su confianza en mí y por ser como hermanos y amigos los mejores.*
- A MI ABUELA, PRIMOS Y TIOS:** *Por su amor, su apoyo moral y su afecto que siempre me han brindado.*
- A MI COORDINADORA:** *Ing. Ana María González, por su apoyo y comprensión, sus consejos y el optimismo que siempre me supo transmitir.*
- A MIS ASESORES:** *Ing. Carolina Monterrosa por su apoyo decidido, excelente desempeño profesional, atinadas sugerencias y consejos, su amistad y excelente carácter, los cuales han hecho posible llevar a feliz término esta investigación.*  
*Ing. Mario Bermúdez por su colaboración incondicional, su dominio de la estadística y su amistad.*
- A LA DIRECTORA DE LA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA:** *Ing. Delmy Rico por dirigir excelentemente la Escuela y su colaboración a la realización de este trabajo.*
- A MIS PROFESORES, AMIGOS Y COMPAÑEROS:** *Por brindarme sus conocimientos, aprecio y apoyo siempre.*

*Herman Vladimir García Fernández*

## DEDICATORIA

*A Dios: Quien me ubica en el camino del conocimiento de la Ingeniería Química me conduce y no me aparta de él.*

*A mis Queridos Padres: Juan Antonio González Funes Gregoria de González Con mucha satisfacción, por su incondicional apoyo.*

*A la Memoria de Mis recordados Abuelos: María Luisa, Antonio.*

*A mis Hermanos con mucho cariño: Antonio de Jesús, Juan, Carlos Humberto.*

*A mis sobrinos: Edwin, Nelson, Juan Carlos, Walter. Como ejemplo de constancia y esfuerzo.*

*A mi Esposa e Hijos: Magdalena Brenda y Daniel Con el amor de Siempre.*

*A mis Profesores, compañeros, familiares y amigos: respetuosamente.*

*Edgardo González Hércules.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Queremos expresar nuestro más sinceros muestras de agradecimiento y aprecio a las Personas e Instituciones siguientes, por su valiosa ayuda en la realización del presente trabajo, promoviendo así la investigación en nuestro país:*

- *Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café (PROCAFE).*
  - *Autoridades:*
    - . *Ing. Enrique Alfaro Castillo*
    - . *Dr. Sergio Gil (Gerente de Generación de Tecnología)*
  - *Departamento de Agro Industria:*
    - . *Ing. Julia Carolina Monterrosa*
  - *Departamento de Servicios Analíticos*
    - . *Dra Yolanda Orellana*
    - . *Dra. Margarita de Velásquez*
    - . *Personal de Análisis Foliar y Suelos*
- *Universidad de El Salvador*
  - . *Facultad de Ciencias Agronómicas*
  - . *Departamento de Biometría:*
    - . *Ing. Julia Amalia Nuila de Mejía*
    - . *Ing. Mario Antonio Bermúdez*
  - *Escuela de Ingeniería Química*
    - . *Ing. Delmy del Carmen Rico Peña*
    - . *Ing. Ana María González Trabanino*

## RESUMEN

En El Salvador se produce una gran cantidad de desechos Agroindustriales de tipo lignocelulósico, a los cuales no se les aprovecha en forma óptima su potencial como fuente de materia orgánica y como energético; tal es el caso de la pulpa de café, el cual constituye un desecho muy voluminoso, ocupa mucho espacio dentro de los beneficios, creando problemas ambientales debido a la proliferación de moscas, malos olores, y liberación de aguas mieles ácidas.

En el presente trabajo se elaboró un material húmico a partir de pulpa fresca de café utilizando la técnica del composteo para la degradación y estabilización de este desecho, empleando como materias primas además de la pulpa fresca de café, estiércol de ganado bovino, hojarasca de cafetal y tierra.

El composteo consiste en la mezcla de materiales residuales para que se de una degradación de la materia orgánica por medio de microorganismos naturalmente presentes en ella y que producen la fermentación aerobia; liberándose calor durante el proceso, lo que provoca un incremento en la temperatura, la cual se estabiliza a temperatura ambiente cuando la fermentación ha concluido; también se libera amoníaco,  $CO_2$  y vapor de agua, obteniéndose al final del proceso un material húmico, con características de abono orgánico por su composición química.



Durante el desarrollo de la etapa experimental se construyeron 24 aboneras tipo montículo y zanja, investigándose tres factores: aireación, fuente de nitrógeno y tipo de abonera, resultando de la combinación de ellos 8 tratamientos, evaluándose en tres repeticiones cada tratamiento. En la elección del diseño estadístico se tomó en cuenta las características del área experimental, seleccionándose el diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial  $2^3$ .

Para caracterizar físicoquímicamente el proceso de degradación y determinar estadísticamente el mejor tratamiento, se realizaron análisis físicos y químicos, los análisis físicos realizados fueron: temperatura, humedad, ceniza, materia orgánica, carbono orgánico total, densidad aireada y empacada del producto final. Los químicos fueron: pH, macro y microelementos; los cuales se realizaron al inicio y al final del proceso.

De acuerdo a las pruebas estadísticas realizadas y comparando las ventajas y desventajas de los tratamientos que produjeron los mejores resultados, se concluye que el mejor de los tratamientos es el de abonera tipo montículo pulpa-estiércol, hojarasca y tierra con volteos cada 8 días (T3). Este tratamiento estabiliza la temperatura del compost en 35 días, tiene los contenidos de fósforo, nitrógeno y potasio más altos y económicamente ocupa el segundo lugar en cuanto a los costos que varían más bajos (¢253.97).

De acuerdo a los resultados se puede concluir que el composteo de la pulpa con hojarasca, tierra y estiércol es un método óptimo para estabilizarla, por que es de bajo costo y se obtiene abono orgánico en un tiempo mucho menor que otros métodos tradicionales.

## INDICE

CONTENIDO	PAG.
INTRODUCCION . . . . .	1
1.0 GENERALIDADES SOBRE EL CAFE . . . . .	8
1.1 Contexto Internacional . . . . .	8
1.2 Contexto Nacional . . . . .	9
1.3 El Fruto del Cafeto . . . . .	13
1.4 El Proceso de Beneficiado de Café . . . . .	14
1.4.1 Producción de la Pulpa de Café . . . . .	21
1.5 Métodos de Tratamiento de la Pulpa para Diferentes Usos . . . . .	24
1.5.1 Utilización de la Pulpa como Sustrato para Larvas . . . . .	24
1.5.2 Producción de Biogas . . . . .	25
1.5.3 Utilización de la Pulpa como Forraje . . . . .	25
1.5.4 Cultivo de Hongos Comestibles sobre Pulpa de Café . . . . .	25
1.5.5 Aprovechamiento de la Pulpa como Energético . . . . .	26
1.5.6 Vermicomposteo . . . . .	26
1.5.7 Uso de Digestores Enzimáticos . . . . .	27
1.6 Antecedentes Históricos sobre la Técnica de Composteo . . . . .	27
1.7 Métodos de Tratamiento para la Descomposición Aeróbica . . . . .	32
1.7.1 Método de Pilas ó Montículos . . . . .	36
1.7.2 Compuesto en Fosas ó Zanjas . . . . .	39
2.0 METOLOGIA EXPERIMENTAL . . . . .	40
2.1 Metodología Estadística . . . . .	40
2.1.1 Hipótesis . . . . .	41
2.1.2 Descripción de los Factores de Diseño . . . . .	42
2.1.3 Factores en Estudio . . . . .	43

CONTENIDO	PAG.
2.1.3.1 Aireación . . . . .	44
2.1.3.2 Fuente de Nitrógeno . . . . .	44
2.1.3.3 Tipo de Abonera . . . . .	45
2.1.4 Estructura de los Tratamientos . . . . .	45
2.1.5 Diseño Estadístico . . . . .	48
2.1.5.1 Número de Bloques . . . . .	49
2.1.5.2 Número de Tratamientos por Bloque . . . . .	51
2.1.5.3 Distribución de Tratamientos por Bloque . . . . .	51
2.1.5.4 Pruebas Estadísticas . . . . .	51
2.1.6 Variables Respuestas . . . . .	53
2.1.6.1 Selección de Variables Respuestas . . . . .	54
2.1.6.2 Rangos de Variación de las Variables Respuestas . . . . .	55
2.2 Metodología de Campo . . . . .	61
2.2.1 Ubicación del Experimento . . . . .	61
2.2.2 Instalación del Experimento . . . . .	61
2.2.2.1 Elección de la Unidad Experimental . . . . .	62
2.2.2.2 Estructura por Capas de las Unidades Experimentales . . . . .	63
2.2.2.3 Material Experimental . . . . .	64
2.2.2.4 Construcción de Zanjas, Trincheras y Respiraderos . . . . .	67
2.2.2.5 Construcción de las Aboneras . . . . .	68
2.2.3 Conducción del Experimento . . . . .	72
2.2.3.1 Medición de Temperatura y Humedad . . . . .	72
2.2.3.2 Obtención de Muestras . . . . .	73

CONTENIDO	PAG.
2.2.3.3 Análisis Químicos y Físicos . . . . .	74
2.2.3.4 Volteos . . . . .	75
2.2.3.5 Protección de las Aboneras	77
3.0 Análisis Estadístico del Proceso de Degradación . . . . .	77
3.1 Comportamiento de la Temperatura Durante el Proceso de Humificación . . . . .	78
3.2 Comportamiento del pH en el Proceso de Humificación . . . . .	80
3.3 Contenido de Humedad (%) . . . . .	95
3.4 Contenido de Cenizas (%) . . . . .	99
3.5 Contenido de Nitrógeno (%) . . . . .	103
3.6 Análisis de la Relación (C/N) . . . . .	105
3.7 Contenido de Fósforo (%) . . . . .	107
3.8 Contenido de Potasio (%) . . . . .	110
3.9 Contenido Porcentual de Elementos Menores en los Tratamientos . . . . .	111
3.10 Características Físicas del Abono Orgánico Producido . . . . .	113
3.11 Análisis General de Resultados . . . . .	113
4.0 Estudio Económico . . . . .	115
4.1 Análisis Económico . . . . .	115
4.2 Análisis Socioeconómico . . . . .	121
4.2.1 Precio de Campo del Abono Orgánico y sus Nutrientes . . . . .	139
4.2.2 Determinación del Rendimiento y Costos de Fertilización con Abono Orgánico . . . . .	143
5.0 CONCLUSIONES . . . . .	146
6.0 RECOMENDACIONES . . . . .	159
7.0 GLOSARIO TECNICO . . . . .	158
8.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS . . . . .	161

ANEXOS

ANEXO A. DATOS EXPERIMENTALES

Cuadro A1. Valores Promedios de Temperatura por Semana para 8 Tratamientos con Tres Repeticiones para la Producci[on de Abono Orgánico . . . . . 166

Cuadro A2. Valores Promedios de pH por Semana para 8 Tratamientos con Tres Repeticiones para la Producción de Abono Orgánico. . . . . 167

Cuadro A3. Valores de % de Humedad por Semana para 8 Tratamientos con Tres Repeticiones para la Producción de Abono Orgánico. . . . . 168

Cuadro A4. Valores de % de Cenizas por Semana de 8 Tratamientos con Tres Repeticiones para la Producción de Abono Orgánico. . . . 169

Cuadro A5. Contenido de Materia Orgánica, Cenizas, Macro y Microelementos, C/N, de ocho Tratamientos para la Producción de Abono Orgánico . . . . . 170

ANEXO B. CALCULOS Y ANALISIS ESTADISTICOS DE LA EXPERIMENTACION REALIZADA.

B.1 Cálculo de ANOVA de la Variable Respuesta Temperatura Utilizando el paquete INSTAT . . . . . 171

B.2 Ejemplo de Cálculo de la Prueba t . . . . . 174

B.3 Ejemplo de Cálculo de ANOVA de la Temperatura para Determinar el Efecto de los Factores y sus Interacciones . . . . 177

B.4 Cálculo de la Prueba de Tukey para la Humedad . . . . . 180

B.5 Cálculo de la Prueba de Tukey para el Contenido de Fósforo . . . . . 182

## INDICE DE FIGURAS

FIG. Nº	TITULO	PAG.
1.	Zonas Cafetaleras de El Salvador . . . . .	11
2.	Composición por área sembrada, número de propietarios y variedad de café cultivados en El Salvador. . . . .	12
3.	Corte Longitudinal del fruto del café . . . . .	13
4.	Diagrama de Flujo sobre el proceso de Beneficiado de Café: Vía Húmeda . . . . .	16
5.	Diagrama de Flujo sobre el proceso de Beneficiado de Café: Vía Seca . . . . .	17
6.	Esquema de un Pulpero . . . . .	20
7.	Pila Compostera de Tipo Montículo . . . . .	37
8.	Pila Compostera de tipo Fosa o Zanja . . . . .	38
9.	Plano de Campo . . . . .	50
10.	Tendencia de la temperatura con el tiempo durante el proceso de Composteo . . . . .	57
11.	Construcción y colocación de trincheras de bambú . . . . .	69
12.	Forma de fabricar los respiraderos de bambú . . . . .	70
13.	Abonera con fuente de Nitrógeno: Estiércol- pulpa . . . . .	70
14.	Abonera con Fuente de nitrógeno: Pulpa . . . . .	71
15.	Método sencillo para determinar la Humedad de una abonera . . . . .	73
16.	Procedimientos para volteo en tratamiento de zanja . . . . .	76
17.	Comportamiento de temperatura en el proceso de degradación del Compost Utilizando 8 tratamientos para producir Abonos Orgánicos . . . . .	89

FIG.Nº	TITULO	PAG.
18.	Comportamiento del pH en el proceso de degradación utilizando 8 tratamientos para producir Abonos Orgánicos . . . . .	94
19.	Comportamiento de la Humedad en el proceso de degradación utilizando 8 tratamientos para producir Abonos Orgánicos . . . . .	98
20.	Comportamiento de la Ceniza en el proceso de degradación utilizando 8 tratamientos para producir Abonos Orgánicos . . . . .	102
21.	Curva de los beneficios Netos de los Ensayos (precio unitario ¢0.65/Lb) . . . . .	135
22.	Curva de los beneficios Netos de los Ensayos (precio unitario ¢1.25/Lb) . . . . .	136



## INDICE DE CUADROS

Cuadro N <sup>o</sup>	TITULO	Pág.
1.	Comparación de la composición de la pulpa fresca de Café de El Salvador y Guatemala. . . . .	23
2.	Composición química del estiércol bovino con una camada de paja. . . . .	33
3.	Formas en que el nitrógeno está presente en el estiércol de ganado bovino. . . . .	34
4.	Composición Química aproximada de los restos vegetales. . . . .	35
5.	Composición química aproximada del suelo grupo Regosol. . . . .	36
6.	Clasificación de las variables que influyen en el proceso fermentativo aerobio de la materia orgánica. . . . .	43
7.	Niveles de variación de los factores de estudio. .	46
8.	Factores experimentales, Niveles y tratamientos investigados en la producción de Abono Orgánico .	47
9.	Descripción de tratamientos en estudio y su simbología. . . . .	48
10.	Estructura de los niveles del factor "Fuente de Nitrógeno". Espesor, peso y porcentaje en peso de las capas de hojarasca, pulpa, estiércol y tierra y su conversión a Carretilladas. . . . .	63
11.	Materiales, Herramientas y Equipos empleados en la construcción de las aboneras . . . . .	67
12.	Análisis Físicos y Químicos que se realizaron a las muestras de compost . . . . .	75
13.	Frecuencia de Volteos, Tratamientos que fueron Aplicados y número total de Volteos. . . . .	77
14.	Datos promedio de temperatura de los niveles del factor tipo de abonera (A), en las semanas que resultó significativo. . . . .	82

Cuadro Nº	TITULO	Pág.
15.	Datos promedio de temperatura de los niveles de factor fuente de Nitrógeno (F), en las semanas que resultó significativo. . . . .	82
16.	Datos promedio de temperatura de la interacción de los factores tipo de abonera y volteo de la semana 2 y 5. . . . .	83
17.	Datos promedio de temperatura de la interacción de los factores tipo de abonera, fuente de Nitrógeno en las semanas 8 y 13. . . . .	84
18.	Datos promedio de la temperatura de la combinación de los factores en la semana 8 . . . . .	85
19.	Cuadro resumen de los mejores tratamientos obtenidos a partir de la prueba de t para la temperatura. . . . .	86
20.	ANOVA general de temperatura para 13 semanas utilizando 8 tratamientos de composteo para producir abono orgánico. . . . .	87
21.	Comportamiento de la temperatura durante el proceso de degradación del Compost, utilizando 8 tratamientos para producir abono orgánico (°C) . . . . .	88
22.	Tratamientos que mas se acercan a pH 7 durante la etapa experimental. . . . .	91
23.	ANOVA general de pH para 13 semanas utilizando 8 tratamientos de Composteo para producir abono orgánico. . . . .	92
24.	Comportamiento del pH durante el proceso de degradación del Compost utilizando 8 tratamientos para producir abono orgánico . . . . .	93
25.	ANOVA General de la humedad para 13 semanas utilizando 8 tratamientos de composteo para producir abono orgánico. . . . .	96
26.	Comportamientos de la humedad (%) durante el proceso de degradación del Compost, utilizando 8 tratamientos para producir abono orgánico. . . . .	97
27.	Tratamientos con más alto contenido de cenizas durante el proceso de mineralizacion. . . . .	100

Cuadro Nº	TITULO	Pág.
28.	ANOVA General de Cenizas para las semanas 4,7,10 y 13 utilizando 8 tratamientos de Composteo para producir abono Orgánico. . . . .	101
29.	Comportamiento de las Cenizas durante el proceso de degradación de Compost utilizando 8 tratamientos para producir abono orgánico. . . . .	101
30.	Contenido promedio de Nitrógeno (%) de la semana cero y la semana 13 . . . . .	104
31.	Análisis de varianza para el contenido de Nitrógeno. . . . .	105
32.	Análisis de varianza para la relación de C/N . . . . .	107
33.	Valores promedio de relación C/N . . . . .	107
34.	Contenido de Fósforo de 8 tratamientos para producir abono orgánico . . . . .	108
35.	Análisis de varianza para Fósforo semana 13 . . . . .	109
36.	Análisis de varianza para Potasio . . . . .	110
37.	Contenido de potasio de ocho tratamientos para producir abono orgánico . . . . .	111
38.	Densidad aireada y empacada para los tratamientos . . . . .	112
39.	Costos de Construcción de los dos tipos de aboneras: Mano de Obra y Materia Prima . . . . .	123
40.	Costos de Mano de Obra de Construcción y volteos por tipo de abonera y tratamiento. . . . .	124
41.	Costo de Materia prima. . . . .	124
42.	Tiempo invertido en volteos . . . . .	125
43.	Costo de Mano de Obra de Realización de Volteos por m <sup>3</sup> de abonera. . . . .	127
44.	Costos de Construcción y elaboración de aboneras . . . . .	127
45.	Resumen de análisis Global de Vostos de Elaboración del Compost por tipo de Abonera y Tratamiento. . . . .	127

## INTRODUCCION

Para países en desarrollo como el nuestro es de vital importancia la investigación de la reutilización de los desechos, tanto agrícolas como industriales, ya que en la actualidad se tienen en un elevado porcentaje y estos desechos sin un adecuado manejo provocan problemas ambientales, focos de infección, contaminación del agua y aire.

En el presente trabajo se plantea la reutilización de un desecho proveniente del beneficiado de café, siendo el café un cultivo que representa una fuente de ingresos de divisas al país, por la explotación del grano oro, sin embargo durante su proceso de beneficiado se generan desechos muy voluminosos, como la pulpa y las aguas mieles, que la mayoría de veces son contaminantes en su estado "in natura"; a las cuales poca atención se ha prestado en el pasado debido al precio relativamente alto del grano de café comparado con la posible utilización de los desechos.

Se estudia el tratamiento de pulpa fresca de café mediante una técnica de compostaje para su transformación en un material Húmico que puede ser empleado como abono orgánico y mejorador de suelos, presentando así una alternativa que

contribuya a disminuir los problemas de contaminación generados por la pulpa y propiciando en el aspecto agrícola la aplicación de abono orgánico producido en el país, aprovechando así el uso potencial de los componentes químicos que lo constituyen.

En El Salvador, el empleo de materia orgánica como abono no ha recibido mucha aceptación, debido a la falta de tecnología, y la falta de recursos económicos.

La técnica de compostaje permite la obtención de un material nutritivo para las plantas y la utilización de una técnica que disminuye el problema de la acumulación de pulpa de café en los beneficios.

En el presente trabajo se reúne la información bibliográfica, técnica y experimental para la aplicación de la técnica de compostaje, que tiene como finalidad proponer un tratamiento que sea factible, en este sentido se presenta el proyecto el cual comprende:

En el capítulo 1 se presenta una revisión bibliográfica sobre métodos de tratamiento de la pulpa para diferentes usos, sus usos como abono orgánico y métodos de obtención.

El diseño del experimento lo constituye el capítulo 2, en el cual se determina la metodología estadística, estructura de los tratamientos, variables respuestas a medir, diseño estadístico y la instalación del experimento que comprende la medición, elección y estructura del área experimental, los materiales empleados, su forma de obtención, se detalla la construcción de zanjas, trincheras y respiraderos, así como la construcción de los tratamientos.

En el capítulo 3 se encuentran tabulados los resultados obtenidos durante la etapa experimental, y con un análisis para cada una de las variables respuestas. El análisis económico que se enlaza con el análisis técnico para la obtención del mejor método técnico-económico, se presenta en el capítulo 4.

Las conclusiones y recomendaciones del estudio se plantean en los capítulos 5 y 6.

## OBJETIVOS DEL TRABAJO

### OBJETIVO GENERAL

Comparar y evaluar técnica y económicamente, dos frecuencias de aireación, dos mezclas de materiales y dos modelos de aboneras, utilizando pulpa fresca de café, para la producción de un material rico en humus, que pueda ser considerado como abono orgánico.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- a) Realizar un estudio experimental a escala de planta piloto de la descomposición aeróbica de la pulpa fresca de café, mezclada con tierra y desechos agrícolas.
- b) Evaluar el efecto de la frecuencia de aireación por volteo manual, del material compostado, en el proceso de degradación.
- c) Evaluar el efecto de adición de estiércol bovino en la calidad del producto final.
- d) Determinar el comportamiento de los parámetros que influyen en el proceso tales como: temperatura, pH, y sólidos volátiles; así como la concentración de los

elementos: nitrógeno, fósforo, potasio, carbono, manganeso, calcio, hierro, cobre, boro, zinc, azufre y magnesio, tanto en la materia prima como en el producto final.

- e) Realizar un análisis económico de beneficio-costos, del mejor tratamiento resultante del estudio.

#### PLANTEAMIENTO E IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

La pulpa constituye un material muy voluminoso, el cual ocupa mucho espacio físico dentro del beneficio, además es contaminante, cuando no se le da un tratamiento adecuado, generando malos olores, aguas mieles ácidas, sustrato propicio para el desarrollo de larvas de moscas, y es una biomasa que actualmente no se está aprovechando su potencial como fuente de nutrientes del suelo.

#### JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

En El Salvador, existe una considerable cantidad de pulpa de café producida cada año. De acuerdo a datos de producción del café oro, publicado en el Consejo Salvadoreño del Café, durante los últimos veinte años y su proyección hasta el año 2000, para el año cafetalero 92/93, se produjeron 2,837,300,000, sacos de 60 kg de café oro, y



tomando la relación de 5 partes de café uva por cada una de café oro procesado, la recepción total de café uva, asciende a 851,190 Tm del cual el 40% representa 340,476 Tm de pulpa fresca, producida durante el período apuntado lo que origina la necesidad de contar con un sistema alternativo de procesamiento de la pulpa, para aprovechar el material, ya que es una fuente de nitrógeno, fósforo, potasio, macro y micro elementos, los cuales pueden ser incrementados después de un proceso de bioconversión aerobia, transformándose, en un material estable, con gran contenido de nutrientes para las plantas y mejorador del suelo agrícola.

Por otra parte, el contar con un sistema de producción de abono orgánico a partir de pulpa de café que tuviera validez científica, traería grandes beneficios económicos y sociales; ambientales y técnicos.

#### ALCANCES:

- Con el presente trabajo se pretende obtener un material húmico, seleccionando las técnicas de compostaje, controlando las variables que se desarrollan durante sus procesos. No se hará evaluaciones de campo al producto húmico final obtenido durante el proceso, sino que queda como inquietud para su evaluación al campo de agronomía.

- El análisis económico solo es a nivel comparativo dado que los efectos de la absorción de los nutrientes, por las plantas, a través de la fertilización inorgánica, no es sustituible por la aplicación del abono orgánico debido a que sus beneficios son obtenidos a largo plazo.

#### LIMITACIONES:

Con respecto a los análisis del compost, no se cuenta con marchas o metodología propias para la naturaleza del material estudiado, sino que se cuenta con metodología para los análisis del suelo, que algunas veces no son los apropiados para el producto húmico final.

## 1.0 GENERALIDADES SOBRE EL CAFE

### 1.1. Contexto Internacional

El café es originario de Etiopía, extendiéndose por Arabia, Europa, Holanda a principios del siglo XVIII, y luego a Guyana Francesa (Surinám) entre 1714 y 1718, a la Isla de Martinica y Bourbon en el año 1721 de donde se proliferó su cultivo a toda América. (1)

Es uno de los productos que más destacan en la industria y la economía moderna. Raro es el país donde no se ha generalizado su uso, en cualquiera de sus formas, por las múltiples cualidades que posee.

Actualmente el café se produce en cuatro continentes del mundo: Africa, Asia, Oceanía y América. De éstos es América la que lleva la supremacía en cuanto a métodos de cultivo, formas de producción, número de países que producen y cantidad de inversiones en la industria.

El mayor productor de café es Brasil, que domina el mundo cafetalero en lo que se refiere a producción y niveles de precios, su volumen de producción ha sido tan abrumador, que en algunos años ha abastecido por sí solo más del total de las demandas mundiales y por consiguiente los precios mundiales han caído a un nivel realmente bajo.(1).

Su café es conocido en los mercados mundiales como café "Brasileño" o "Duro", el cual se obtiene principalmente por el método seco.

La producción para Brasil en 1991 fue de 1,523.000 TM de café verde (1).

El segundo mayor productor mundial de café es Colombia, donde el café se procesa por el método húmedo, su producción para 1991 fue de 870,000 TM de café verde; entre otros países productores se destacan en orden de importancia, Indonesia con 408,000 TM; seguido de México con 299,000 TM; Guatemala con 208,000 TM; Uganda con 180,000 TM; India con 178,000 TM, Etiopía con 175,000; Costa Rica con 158,000 y El Salvador con 149,000 TM de café verde, ocupando el onceavo lugar.

A nivel internacional el método de beneficiado que más se emplea es por vía húmeda, obteniéndose un café más suave.

## 1.2 Contexto Nacional

La República de El Salvador basa gran parte de su economía en el cultivo; producción y comercialización interna y externa del café. El café se introdujo en 1840, su cultivo se inició como sustituto del añil, y poco a poco fue tomando auge hasta convertirse en el producto más importante de la economía salvadoreña.

A medio siglo de haberse realizado el primer censo de la caficultura en 1938/39, se aprecia que el número de caficultores se ha triplicado y el área cultivada duplicado, los rendimientos por manzanas del quinquenio 1935/40 eran de 11.54 qq; estimándose para la cosecha 92/93 en 14.74 qq, con una producción de 3.45 millones de quintales en un área cultivada de 234,000 manzanas.

El parque cafetalero estaba integrado por 60.49% de arábigo, introducido entre los años 1800 a 1815; de Bourbon introducido a partir de 1949 y un 20.60% reportados por mixtos como se aprecia en la figura No. 1 y 2.

Para 1990, se tiene el 81.74% de la variedad Bourbon, el 15.33% Pacas, 0.48% arábigo y un 2.45% de otras variedades, donde se aprecia que la variedad arábigo prácticamente ha desaparecido.

De acuerdo a la altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m) donde están plantados los cafetos se puede clasificar de la siguiente forma:

- El bajo (400-800 m.s.n.m) ocupa el 61% del área cafetalera.
- Media altura (800-1200 m.s.n.m) ocupa el 31.25%
- Estricta altura (1299-1600 m.s.n.m) ocupa el 31.13%.

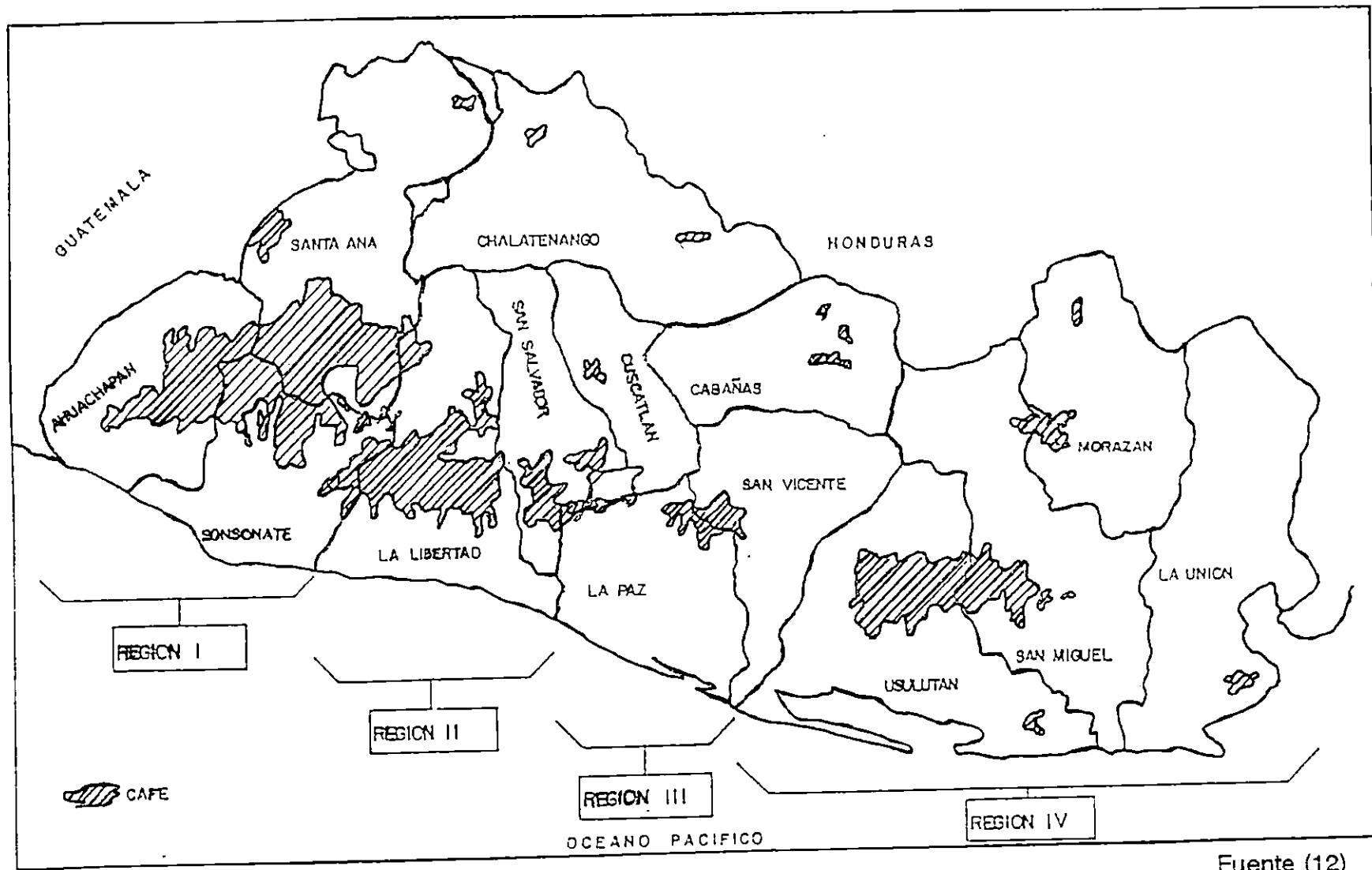


Figura No. 1. Zonas Cafetaleras de El Salvador

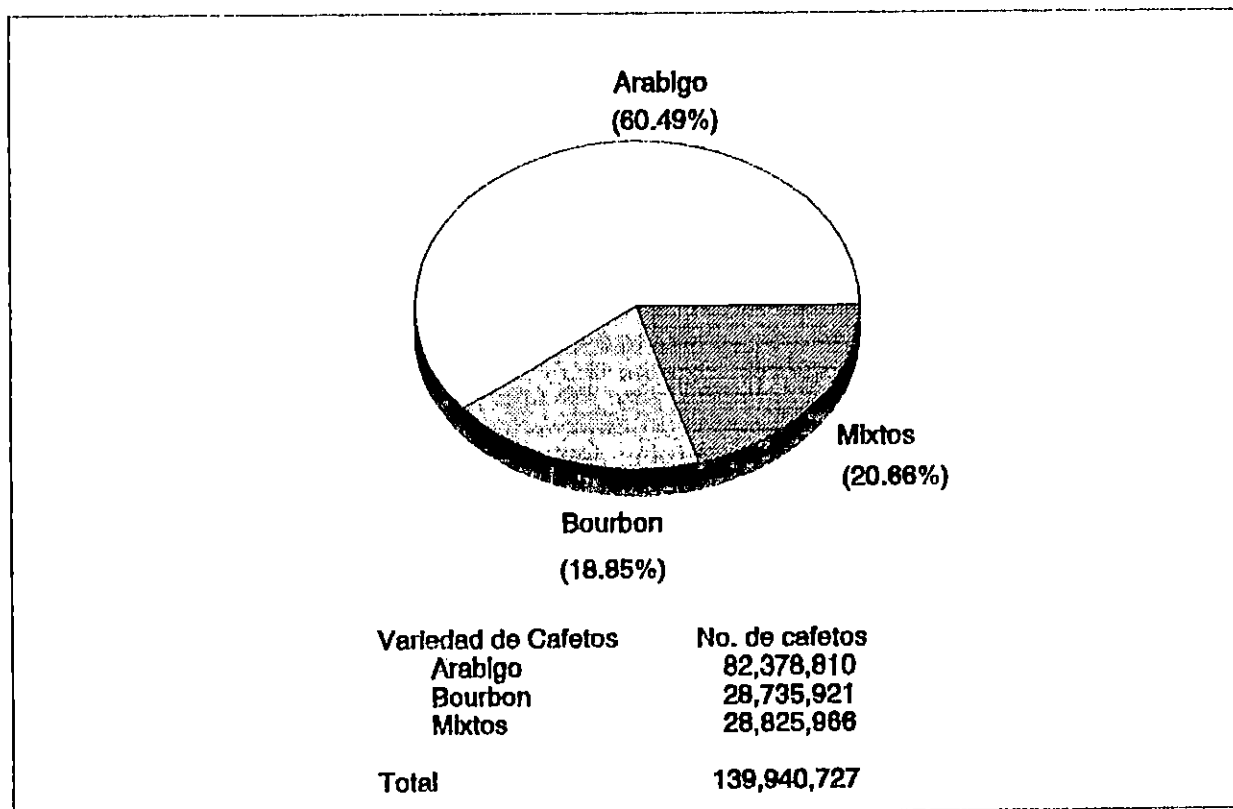
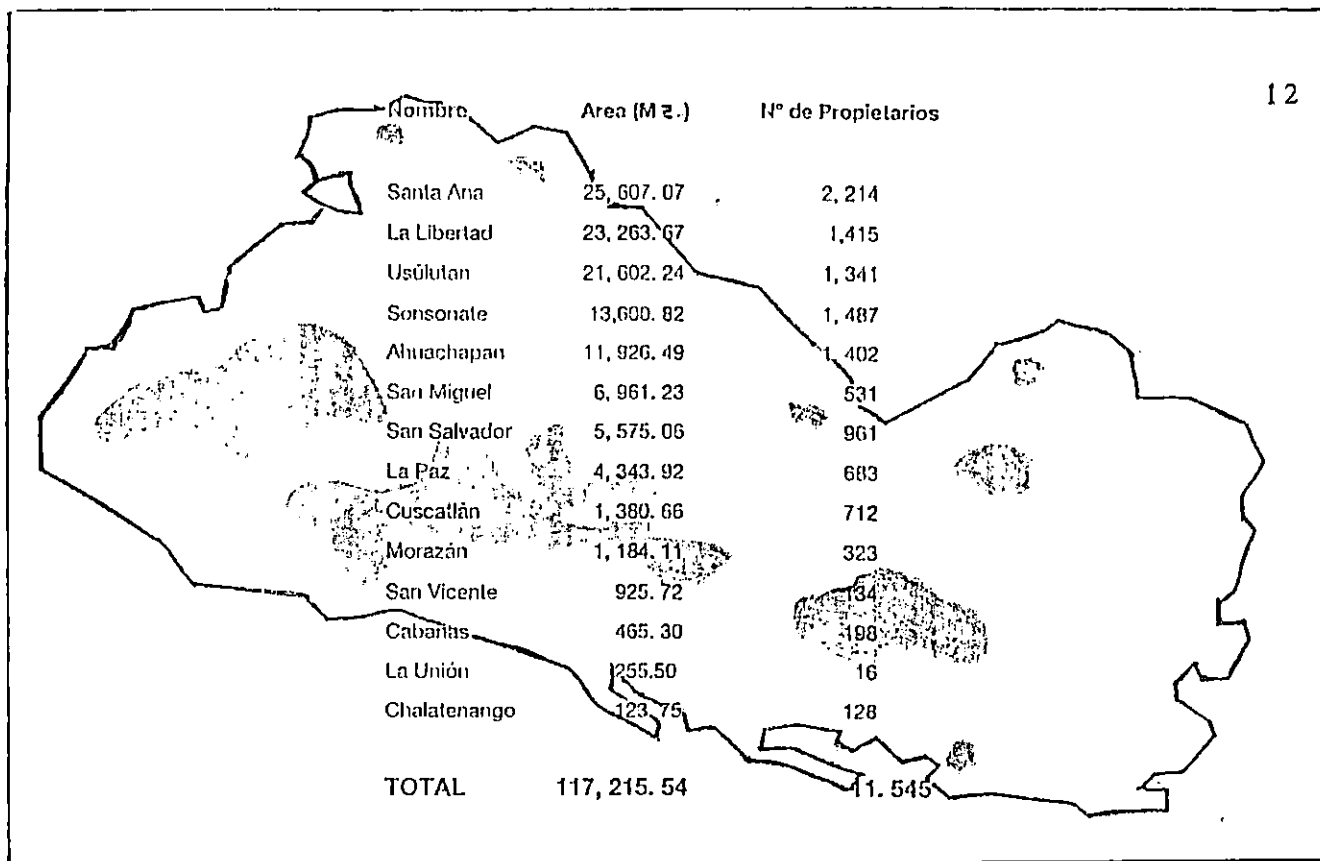


Fig. No. 2. Composición por área sembrada, número de propietarios y variedad de café cultivados en El Salvador.

En El Salvador, el 94% de la producción total del café es beneficiada por la vía húmeda, por lo que es conocido en el mercado mundial como "café lavado o suave".

### 1.3 El Fruto del Cafeto

El fruto de café es una drupa, se cosecha al llegar a su madurez, condición que se determina al tomar el exocarpio un color marrón intenso o amarillo según cultivo.

El fruto (Figura 3) en un corte longitudinal muestra las siguientes fracciones anatómicas: El grano propiamente dicho o Endospermo (a), la película plateada o Espermodermo (b), el pergamino o endocarpio (c), el mucílago o mesocarpio (d), y la pulpa o exocarpio (e). La pulpa de café está formada por el exocarpio y parte del mesocarpio.

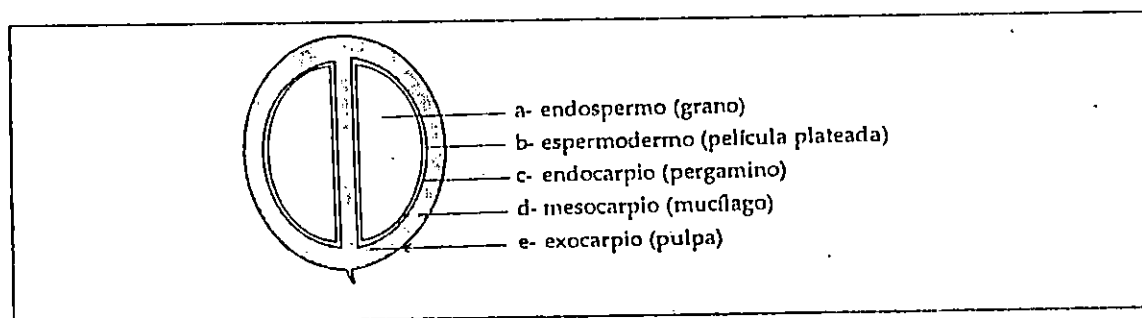


Fig. No. 3. Corte longitudinal del fruto del café.



Para los objetivos del presente estudio corresponde considerar, como materia prima principal, a la pulpa (exocarpio) junto con residuos (mucílagos), tal y como son producidos a fin de aprovechar sus componentes

#### 1.4 El Proceso de Beneficiado de Café

Es el proceso mediante el cual es extraído el grano del fruto del cafeto y es tratado de disminuir su porcentaje de humedad, hasta un nivel adecuado para un prolongado almacenamiento. El producto final del beneficiado es conocido como "café oro".

Se pueden diferenciar dos sistemas de beneficiado, en base a las técnicas empleadas para la transformación del café uva en café "oro": El sistema vía seca y el sistema vía húmeda. En el primero el fruto se seca completo, sin haber soltado previamente los granos, lo cual permite liberarlos de todas sus envolturas en una sola operación mecánica, es sencilla y tiene la ventaja de requerir poco material y mano de obra, pero el producto es de menor calidad. En el sistema vía húmeda se seca el grano después de haberlo despulpado y sometido a un proceso llamado fermentación. Esta técnica es larga e involucra más cuidado y atención, pero tiene la ventaja de dar un producto de mejor calidad y aspecto que el

obtenido por la vía seca. En la figuras 4 y 5 se indican y comparan las operaciones de la vía húmeda y vía seca.

En El Salvador, el beneficiado de café se realiza principalmente mediante el método conocido como "tren húmedo" a través del cual se producen los café conocidos como "lavados o suaves". En Brasil se sigue el sistema de beneficiado por vía seca, con el cual se obtienen los llamados café "naturales o fuertes".

En el proceso por Vía húmeda se pueden distinguir las siguientes etapas principales:

- a) Remoción de la pulpa.  
(El epicarpio y parte del mesocarpio) del fruto maduro, en los llamados pulperos o despulpadores.
- b) La eliminación de la miel o mucílago.  
(El mesocarpio) por medio de la fermentación natural, sistemas mecánicos y químicos.
- c) El lavado del grano.  
Para desprender los residuos de la fermentación, operación que se puede hacer por sencillos procedimientos naturales o bien mecánicamente.

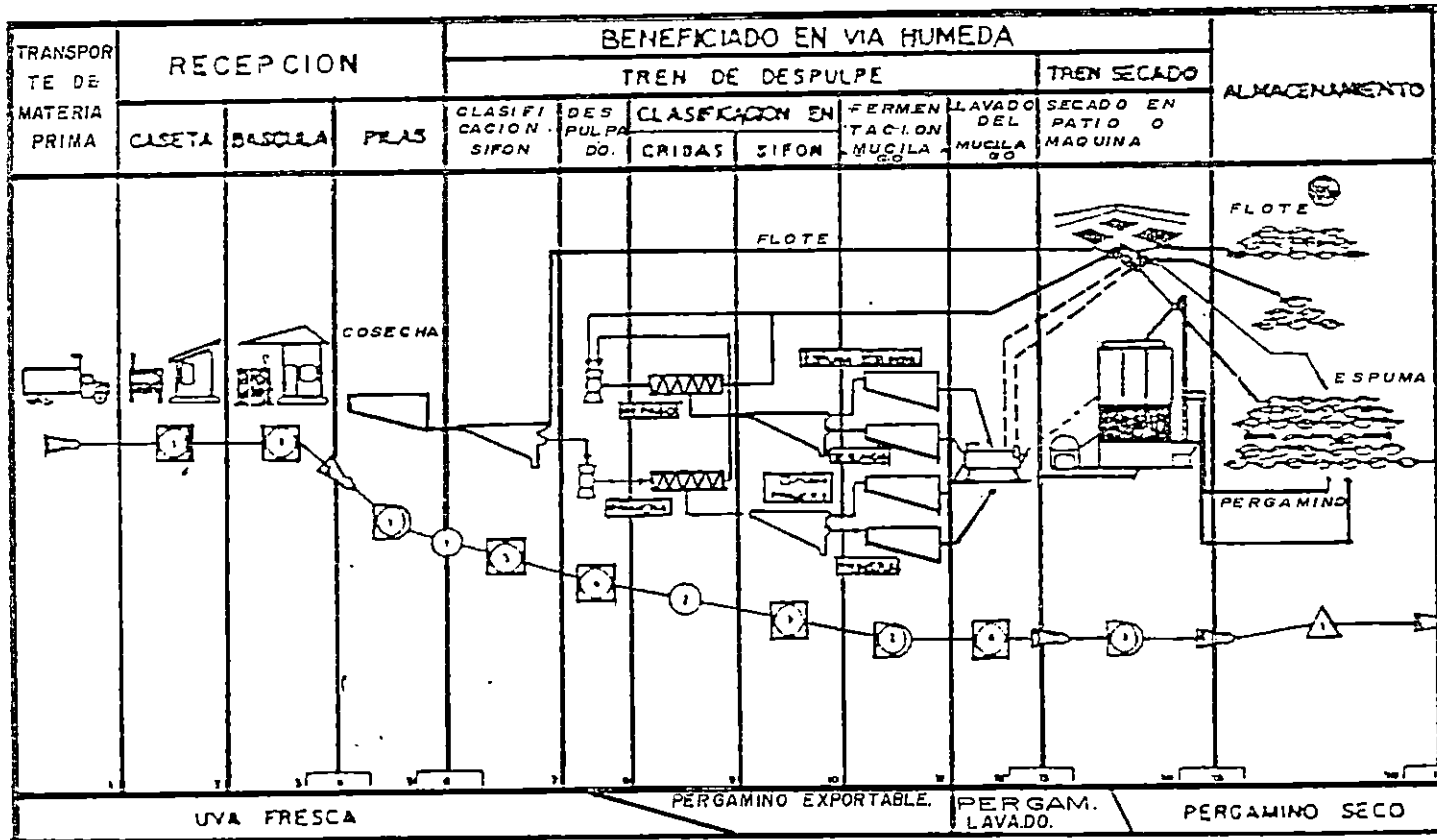


Fig. No. 4. Diagrama de Flujo del proceso de Beneficiado de Café. Vía Húmeda.

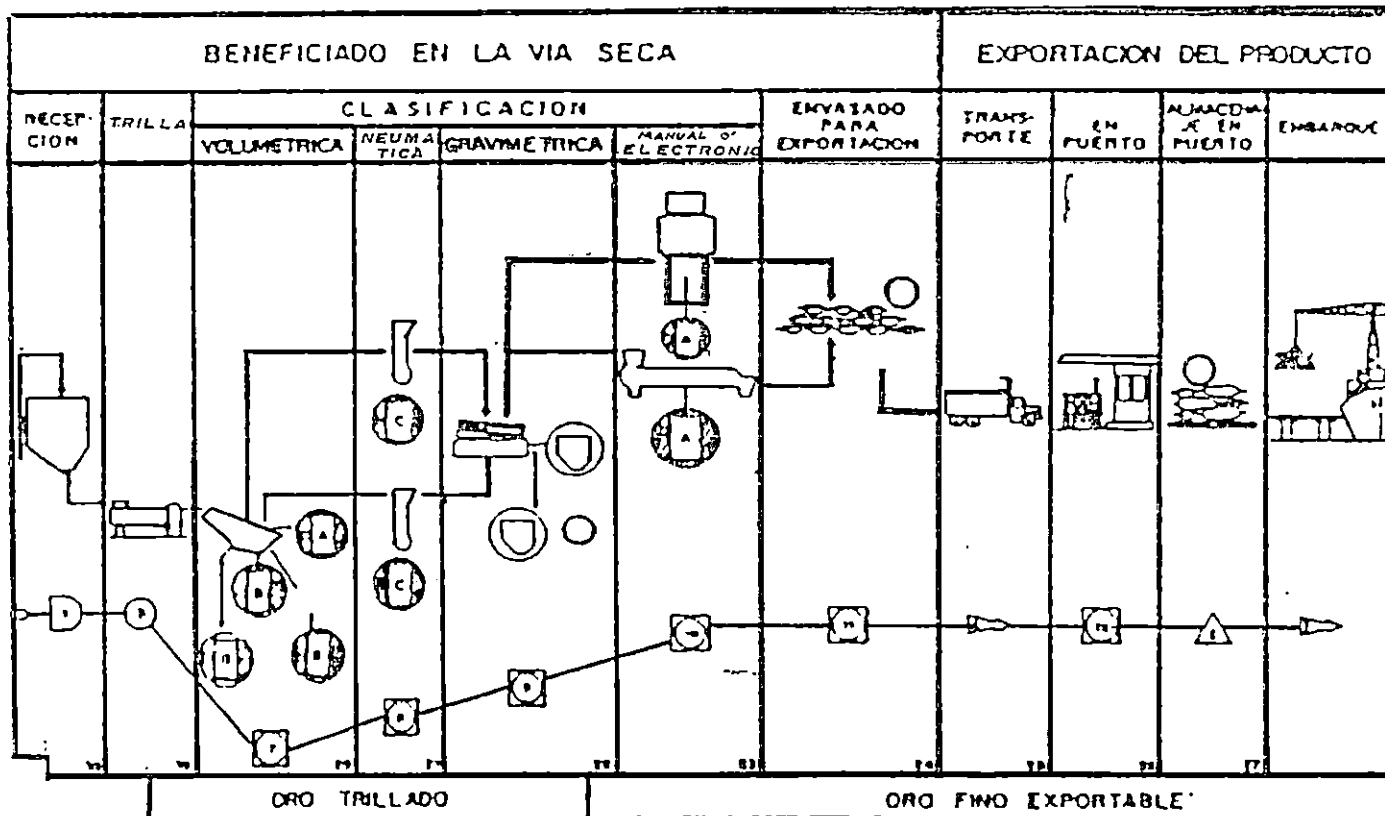


Figura No. 5. Diagrama de flujo del proceso de Beneficiado de Café. Vía seca.

d) El secado del café lavado.

En patio o bien en secadoras para obtener el llamado pergamino seco.

A continuación se sigue una serie de operaciones complementarias: Separación del pergamino ( o endocarpio) o trillado, clasificación del grano por tamaño o densidades y envasado del café oro para la exportación.

El método de tren húmedo recibe esta determinación debido a que se utiliza agua como medio de transporte para el café en las etapas de despulpado, fermentación y lavado. En El Salvador se utilizan diferentes fuentes de abastecimiento de agua tales como pequeños ríos y pozos subterráneos.

La separación de la pulpa (epicarpio y parte del mesocarpio del fruto del cafeto) se efectúa en aparatos llamados pulperos (Ver Fig. 6) que aprovechan la cualidad lubricante del mucílago del café, para que, por presión se suelten los granos y se pueda eliminar por una corriente de agua, la pulpa desprendida.

Los pulperos son máquinas, diseñadas hace más de un siglo y han permanecido sin apreciables cambios hasta la fecha, aunque algunas de sus partes presentan variedad e innovación tales como:

Las camisas de cobre o acero inoxidable y pecheros con bandas de hule.

La parte principal de estos aparatos está construida por cilindros sobre el cual va fija una camisa de lámina de cobre, provista de pinchaduras o botones de diversos tipos y tamaños, según la variedad de café que se va a despulpar. Cuando el cilindro gira aprisiona y aplasta la cereza contra la plancha cóncava, "pechero o pecho" que poseen canales por donde se ven forzados a moverse los granos sueltos. El café despulpado abandona el pulpero por unas ventanillas llamadas "palacios", mientras que la pulpa ya libre, es arrastrada por las pinchaduras o uñetas y conducida fuera por una corriente de agua. El pecho puede ajustarse acercándolo o alejándolo del cilindro, por medio de dispositivos más o menos sencillos, según el fabricante.

Los modelos de pechero con canales fijos, tienen una profundidad que va desde 6-7 mm, en la salida del palacio, hasta 9.0 mm en la parte más ancha, donde entra el café en cereza, y la velocidad del cilindro es de 120 rpm.

También hay repasadores, que son pequeños pulperos de cilindro de palacios, los cuales reciben el material que desecha la zaranda o criba cilíndrica. Que es el café medio

verde, reseco o que sale con pulpa adherida y que por falta de mucílago, no fue bien despulpado. Son de botones ciegos y operan a mayor velocidad que los despulpadores principales.

Los sistemas de despulpado funcionan en forma completamente mecánica por lo que es imposible despulpar perfectamente todos los frutos de distintos tamaños, pasándose a veces ciertas proporciones de granos dañados junto a cerezas. Este problema se elimina o controla manteniendo los pulperos graduados durante las tres etapas principales de la cosecha; al principio, cuando empareja el grueso y para cuando la cosecha se reduce y termina.

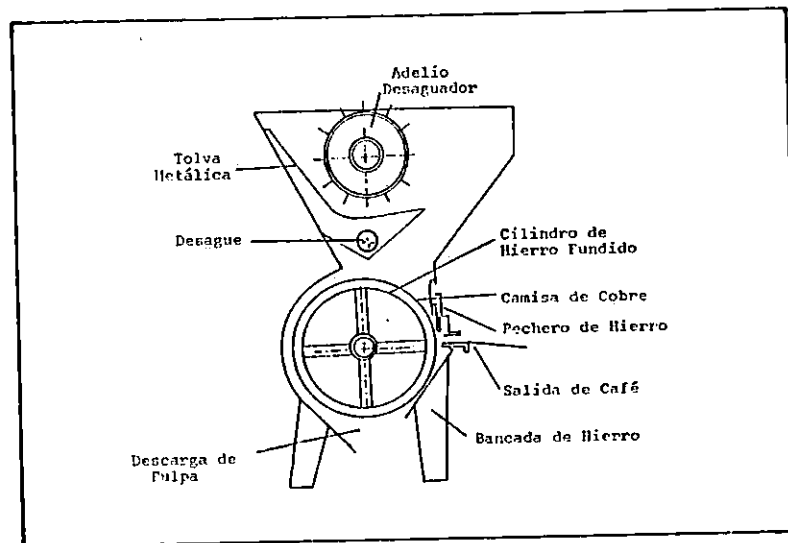


Fig. No. 6. Esquema de un Pulpero

#### 1.4.1 Producción de la Pulpa de Café

La pulpa de café, luego de ser separada en los pulperos, es conducida por arrastre con agua en canales al descubierta, con una pendiente del 4%, al desagugador, aquí se realiza la separación de la pulpa-agua, usándose diversos sistemas como el separador de tornillo, de cadena o el separador cilíndrico rotatorio.

Cuando la escasez de agua es un problema, la pulpa con agua se envía por medio de una bomba centrífuga al desagugador, sistema con el cual se logra recuperar la pulpa, separar el agua y recircularla.

Separada la pulpa del agua, se dispone de diferentes formas siendo la más común la de depositarla en patios del Beneficio creando amontonamiento, en forma de volcanes, al aire libre lo cual acarrea problema de emanación de fuertes y desagradables olores, criaderos de moscas, y de corrientes de residuos líquidos, corrosivos por su acidez.

La pulpa es el principal subproducto que se obtiene en el Beneficiado. Representa aproximadamente el 40% en peso del fruto fresco.



La densidad aparente de la pulpa fresca es aproximadamente 5.5 qq metro cúbico ( $0.25 \text{ TM/m}^3$ ) cuando está recién obtenida y suelta, de manera que, cada 100 qq de café en cereza producen aproximadamente 40 qq (2TM) de pulpa, que ocupan aproximadamente  $70 \text{ m}^3$ , este material se compacta rápidamente y en 24 hrs se tienen  $10.0 \text{ qq/m}^3$  ( $0.45 \text{ TM/m}^3$ ) (19).

Dedeca, describe a la pulpa como un estrato de células lignificadas y endurecidas con algunos estomas esparcidos. Además forma parte de la pulpa una epidermis verde (clorofila) en las etapas iniciales del desarrollo con un espesor de 0.4 mm, o bien roja (antocianinas), carnosa y gruesa de 1.5 mm de espesor en el fruto maduro.

En general, la pulpa esta formada por una capa de células esponjosas que le permiten retener humedad siendo esta una de sus características principales.

En el cuadro No.1 se encuentra la composición química de la pulpa de café mostrando los elementos y compuestos de alto valor para su utilización como abono orgánico.

Se han realizado diversos análisis en la pulpa de café en varios países, los cuales indican que la composición

química de la pulpa puede variar, dentro de ciertos límites, de región a región.

CUADRO No. 1

COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA PULPA FRESCA DE CAFE DE EL SALVADOR Y GUATEMALA

COMPONENTE	PULPA FRESCA	
	EL SALVADOR	GUATEMALA
HUMEDAD (%)	77	76
MATERIA SECA (%)	33	23.3
EXTRACTO ETereo (%)	90.65	0.48
FIBRA CRUDA (GR)	-	3.40
PROTEINA CRUDA (%)	-	2.10
CENIZA (%)	9.35	2.50
EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO (%)	-	15.80
NITRÓGENO	24	1.7
FÓSFORO (%)	0.20	0.1
POTASIO (%)	4.7	2.85
CALCIO (%)	0.5	0.15
MAGNESIO (%)	0.1	0.10
AZUFRE (%)	0.30	-
BOFO (ppm)	28.0	-
HIERRO (ppm)	193	780
COBRE (ppm)	31	15
ZINC (ppm)	35	38
MANGANESO (ppm)	55	390
MATERIA ORGANICA (%)	91.0	97.5
PH	4.8	4.5
C (%)	50.6	54.17

Fuente (14)

## **1.5 Métodos de Tratamiento de la Pulpa para Diferentes Usos**

Entre los usos que se puede dar a la pulpa, están: Emplearlas como sustrato para larvas, producción de biogas, alimento para animales, sustrato para el crecimiento de hongos comestibles, como energético.

A continuación se describen algunos de estos usos:

### **1.5.1 Utilización de la Pulpa como Sustrato para Larvas**

La larvicultura es una técnica que permite aprovechar los residuos orgánicos que se producen en las actividades agrícolas, pecuarias y agroindustriales, utilizando especies de insectos cuyas larvas son capaces de vivir en los residuos en descomposición.

La pulpa se puede emplear como sustrato para crianza de larvas, obteniendo al final de su proceso un residuo en el cual la pulpa de café ha quedado convertida en un material húmico, cuyo uso inmediato sería como abono orgánico y las larvas como fuente de proteínas para la alimentación animal.

### 1.5.2 Producción de Biogas

La generación de un gas natural se logra en recipientes herméticos llamados digestores, donde el proceso de degradación sobre la pulpa de café es debida a un ataque bacteriano a la materia orgánica donde se obtiene como productos finales; biogas cuyo componente principal es el metano y biabono, que es la materia sólida residual, luego del proceso de fermentación.

### 1.5.3 Utilización de la Pulpa como Forraje

La pulpa de café por su consistencia fibrosa y su alto contenido de minerales es uno de los potenciales para su utilización como alimento de animales, aunque necesita un procesamiento para eliminarles una serie de sustancias tóxicas que afectan su valor nutritivo, como la lignina.

Pudiendo incorporar en un 5% en dietas para aves, 16% para porcinos y un 20% para ganado bovino tanto de carne como de leche.

### 1.5.4 Cultivo de Hongos Comestibles sobre Pulpa de Café

El cultivo de hongos comestibles sobre pulpa de café constituye otra alternativa de utilizar este residuo, es un

proceso técnico-biológico eficiente para el reciclaje y biodegradación de la pulpa, basándose en el rápido crecimiento que los hongos como Torulopsis utilis y Pleurotus ostreatus tienen sobre este sustrato; así como la obtención de una biomasa con un alto contenido de proteínas y buen sabor; la pulpa después de 3 a 5 cosechas puede emplearse como forraje o abono orgánico.

#### 1.5.5 Aprovechamiento de la Pulpa como Energético

La pulpa ha sido analizada también en cuanto a su capacidad para generar energía determinándose que contiene un gran potencial, ya que posee un valor calorífico de 12,939 Btu/Kg a un nivel de humedad de 11% (9) comparándose favorablemente con los desechos de madera que poseen 13,724 Btu/Kg y el bagazo de caña que contiene 9,804 Btu/kg.

Es necesario secar la pulpa empleando silos que generan gases de combustión quemando la pulpa de café, o bien utilizar secado en patios.

#### 1.5.6 Vermicomposteo

Es el proceso biológico que acelera la transformación y la estabilización de la pulpa del café, mediante la cría de lombrices de tierra; que con su natural metabolismo

transforman las materias orgánicas en sustancias fertilizantes y productoras de hongos. El Compost final está formado por las excretas producto de la digestión de las lombrices en forma inodora, granulosa, coloración casi negra, apariencia de uniformidad, ligereza y porosidad que son características de suelos ricos en materia orgánica.

#### 1.5.7 Usos de Digestores Enzimáticos

Existen en el mercado, productos comerciales conocidos como digestores enzimáticos, son sustancias que aceleran la descomposición de la materia vegetal, como rastrojos y pulpa de café, con los que obtienen abonos naturales rápidamente.

Los digestores enzimáticos tienen limitaciones, pues su actividad se reduce o se detiene a temperaturas altas en las primeras etapas del proceso de compostaje. Si el digestor líquido se agrega a la pulpa desde el principio, será necesario controlar las temperaturas de la masa mediante una aireación intensa, lo que aumenta los costos de operación.

#### 1.6 Antecedentes Históricos sobre la Técnica de Composteo

Antiguas civilizaciones tales como Roma Y Grecia practicaron el composteo, registros antiguos revelan que los

agricultores de aquella época apilaban deliberadamente los desechos animales y suelo de variadas formas de tal manera que se promoviera la descomposición del material y luego utilizar el producto como fertilizante.

El composteo continuó en la edad del oscurantismo y renacimiento. En el nuevo mundo tribus de nativos y asentamientos realizaron el composteo para proveerse de nutrientes para sus cultivos.

La practica se mantuvo básicamente invariable según se había concebido hasta poco antes del siglo veinte.

Fue Sir Albert Howard, un colonizador Británico de la India quien inventó el importante método de construcción de aboneras por medio del apilamiento en capas o estratos. En un área, de una granja, de 300 Hectáreas, del Instituto de Plantación Industrial: Indore, Howard, desarrolló a gran escala las operaciones de composteo basado en las técnicas tradicionales de la China y la India.

En los años 30, Howard retornó a Inglaterra a educar a sus seguidores sobre las técnicas de composteo. El método Indore aun sigue siendo el método más generalizado en base al cual los expertos construyen sus aboneras.

Cuando Howard desarrolló el método por primera vez, utilizó únicamente heces de animales, malezas, hojas, paja, caliza molida y tierra. Este fue utilizado en niveles alternativos hasta alcanzar los promontorios 1.5 metros de altura, o bien colocados en fosas de 60 a 90 cms de profundidad.

Las proporciones de mezclas eran de tres a cuatro partes en volumen de materia vegetal a una de heces animales.

Posteriormente se le incorpora al método ciertas variantes como la de colocar capas de diferentes alturas de materiales ricos en Nitrógeno como orina, heces humanas y materiales orgánicos con un alto contenido de carbono.

Las pilas eran volteadas usualmente después de seis semanas y nuevamente después de doce. Dos volteos eran la práctica general, pero en algunos casos eran más, sobre todo cuando se tenían problemas con moscas y malos olores que desprendía la pila. Con tan pocos volteos era escasa la aireación que recibía el material, al cabo de cierto tiempo el proceso se volvía anaeróbico.

Desafortunadamente, las implicaciones de la inclusión de los desechos animales es crítico en el desarrollo de los



procesos de composteo, lo cual ha limitado muchas oportunidades de producción de abonos orgánicos en zonas donde no hay acceso a ellos.

Desde que Howard popularizó el composteo, se han refinado las técnicas por los investigadores y se han desarrollado productos nuevos para hacer más fácil el proceso.

Actualmente los sistemas de Compost ofrecen un atractivo público gracias a la extendida necesidad de hacer una mejor disposición de los desechos agroindustriales.

En Colombia en 1952 se efectuaron ensayos con varios abonos y fertilizantes, observándose que la aplicación de pulpa de café fue el mejor tratamiento ya que aumenta la producción de café. En 1956 López y Calle llevaron a cabo un interesante ensayo con plántula de café en macetas, el cual señaló claramente algunos de los beneficiosos efectos de la aplicación al suelo de pulpa de café. En el Centro Nacional de Investigaciones de Café de Chinchina, Colombia en 1958 se realizó el experimento en el cual se empleo pulpa de café descompuesta, superfosfato y fosfato de potasio, observando el gran efecto de la pulpa descompuesta, que utilizada como abono orgánico aumentó sorprendentemente la producción de café.

Luego en 1983 se empleó el compost para evaluar su efecto sobre el control de la mancha de hierro, el cual fue positivo con menor incidencia de ésta sobre las hojas.

En Guatemala en el ICAITI entre los años 1978/1979 se ha experimentado sobre la utilización de la pulpa de café como abono orgánico, obteniendo excelentes resultados con el empleo de las mezclas de pulpa de café descompuesta con un 85% de suelo y 50% de subsuelo.

En EL Salvador se iniciaron algunos ensayos con pulpa de café en el año de 1959 por ISIC y se estudió su efecto como abono en almacigueras de café en comparación con diversos fertilizantes químicos; en otro ensayo se trata de averiguar el efecto de la pulpa aplicada a los cafetos anualmente, desde el momento del trasplante, así mismo se ha ensayado con plántulas de café crecidas en macetas, con el fin de determinar el efecto de la pulpa de café en varios suelos de la zona cafetalera del país.

PROCAFE está realizando estudios de la elaboración del abono orgánico a partir de pulpa de café, utilizando diferentes tipos de aboneras y mezclas de materiales.

### 1.7 Métodos de Tratamiento para la Descomposición Aeróbica de Pulpa de Café.

Existen muchos métodos en la actualidad para obtener abono orgánico, diferenciándose en la forma de disponer el material, el método de aireación y el tiempo necesario de descomposición para obtenerlo. Todos se derivan del famoso método INDORE.

En el cual es necesario que la pila compostera se caliente adecuadamente, con aire mezclado con nitrógeno, presencia de bacterias, tamaño de partículas adecuado y abundante materia orgánica.

La pulpa de café se puede emplear como abono orgánico, ya sea sola o en combinación con otros sustratos que enriquecen más la calidad del composteo (abono).

En el presente estudio se ha empleado la pulpa de café mezclado con otros sustratos los cuales son:

- a) Estiércol bovino
- b) Hojarasca, obtenida directamente del cafetal
- c) Tierra

A continuación se detallan las características principales de estos sustratos:

## a) Estiércol Bovino

Entre las características principales del estiércol bovino se pueden mencionar las siguientes:

- a.1) Puede contener hasta un 20% de bacterias
- a.2) Las proteínas están presentes y son necesarias para la descomposición de la mezcla.

Cuadro No. 2

COMPOSICION QUÍMICA DEL ESTIÉRCOL BOVINO CON UNA CAMADA DE PAJA.

CONSTITUYENTE DEL ESTIÉRCOL	NITRÓGENO %	FÓSFORO %	POTASIO %
HECES	0.4	0.2	0.10
ORINA	1.0	--	1.35
CAMADA	0.5	0.2	1.0
TOTAL MEZCLA	0.57	0.15	0.53

Fuente (21)

En general las excretas de vacuno contienen una mínima cantidad de elementos fertilizantes y su valor reside en la aportación de bacterias, en promedio el abono fresco de establo responde a la formula 0.50-0.25-0.50 o lo que es lo mismo: 0.50% N, 0.57% de  $P_2O_5$  y 0.6% de  $K_2O$ . Si el estiércol es almacenado su riqueza en nitrógeno aumenta como resultado de la descomposición de la materia orgánica.

Para el mejor aprovechamiento de las propiedades del estiércol bovino, en algunas localidades, se utilizan sistemas de almacenamiento cerrados con el fin de evitar las pérdidas de nitrógeno y demás macroelementos por lixiviación o volatización.

Por lo general las pérdidas de nitrógeno son debidas al alto contenido de Nitrógeno libre el cual es relativamente alto respecto al nitrógeno fijado como puede observarse en el cuadro No. 3.

CUADRO No. 3

FORMAS EN QUE EL NITRÓGENO ESTA PRESENTE  
EN EL ESTIÉRCOL DE GANADO BOVINO

FORMA DE NITRÓGENO	%
NH <sub>3</sub> LIBRE	36
NH <sub>3</sub> FIJADO	11
NITRATO	0.0
NITROGENO ORGÁNICO	53.0
TOTAL	100.00

Fuente (26)

## b) Hojarasca:

Otro de los componentes utilizados en la preparación del compost lo constituyen los rastrojos, hojarasca y ramas de poda obtenidos del interior de la finca de café.

Este material se utiliza como fuente de materia orgánica y de carbono además de que aportan los carbohidratos para el proceso de descomposición (Ver cuadro No.4).

CUADRO No.4

COMPOSICIÓN QUÍMICA APROXIMADA DE LOS RESTOS VEGETALES  
(LEGUMINOSAS PERENNES Y ESPECIES CADUCIFOLIAS)  
PORCENTAJE MATERIA SECA

RESTO VEGETAL	RESINAS, CERAS GRASAS	PROTEINA	CELULOSA	HEMICELULOSA, CARBOHIDRATOS SOLUBLES	LIGNINA
HOJAS	3 - 5	40 - 20	10 - 25	25 - 30	10 - 15

Fuente (26)

## c) Tierra:

Otro elemento del compost es la tierra, que puede ser de las excavaciones realizadas en la construcción de las zanjas.

Las características y condiciones de la tierra son las que corresponden al tipo de suelos que pertenecen al grupo de los regosoles, con textura franco limosos y sus características químicas encontrados en la bibliografía son:

CUADRO No.5  
COMPOSICIÓN QUÍMICA APROXIMADA DEL SUELO  
GRUPO REGOSOL

pH	% C	% N
5.06-4.73	3.26-1.03	0.20-0.073

Fuente (6)

El % de carbono indicado en el cuadro No.5 corresponde a una clasificación de un nivel medio de contenido de materia orgánica lo cual lo hace propicio para el suministro de elementos nutritivos, liberación de nitrógeno, fósforo, azufre, fomentando el crecimiento de organismos superiores y los inferiores y fuente energética para ellos debido a sus compuestos de carbono lo cual crea condiciones favorables para el desarrollo del proceso de descomposición y mineralización de la materia orgánica.

Existen diferentes métodos para realizar el proceso de composteo, entre ellos se encuentra los siguientes tipos de aboneras:

### 1.7.1 Método de Pilas o Montículos

Los sistemas son usados al aire libre, en el suelo, sin ninguna estructura que lo contenga. Se pueden formar montículos que requieran volteos periódicos para exponer todas las partículas de la masa a condiciones similares. Son usadas generalmente en operaciones de composteo a gran escala (Figura 7).

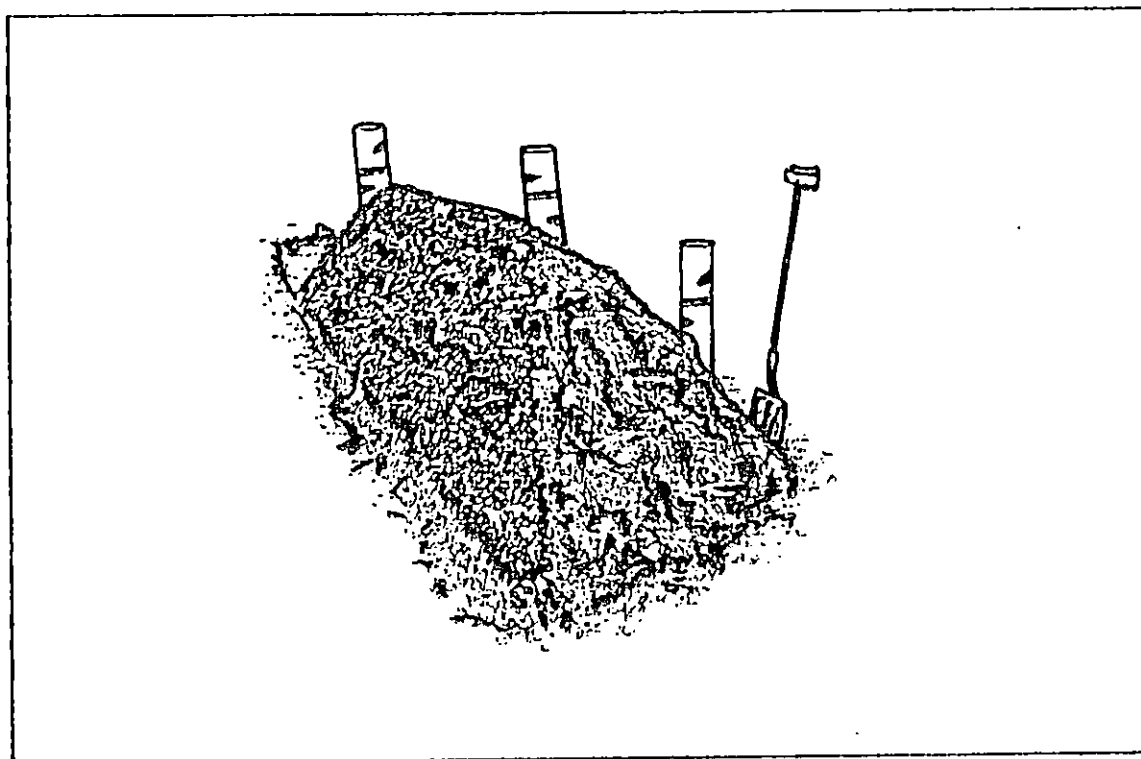


Figura No. 7. Pila Compostera de Tipo Montículo.



La altura recomendada es de 1.52 a 1.83 mts. para residuos frescos, pues a medida que el material pierde volumen durante la descomposición, cualquier altura deseada puede mantenerse reduciendo o expandiendo el ancho de la misma cuando se realiza el volteo.

Se les coloca respiraderos que pueden ser de varas de bambú, para permitir la circulación del oxígeno y la salida de vapor del montículo, o bien tubos de PVC para la ventilación. El ancho de la pila no excederá los 2.44 a 3 mts en la base, para un volteo más fácil. En climas secos, la sección transversal se hace usualmente en forma trapezoidal, y el ancho de la parte superior queda sujeto al ancho de la base y al ángulo de reposo del material. En climas lluviosos, la sección transversal debe ser en forma semicircular para permitir el deslizamiento del agua. En este caso la máxima altura permisible fijará su máxima anchura.

#### 1.7.2 Composteo en Fosas o Zanjas

Las fosas para composteo son cavadas en el suelo y pueden ser total o parcialmente bajo tierra. La ventaja es su seguridad contra el ataque de perros, gallinas, varias especies de moscas, vientos y lluvia (figura 8).

Si el proceso de composteo no se lleva a cabo en forma

eficiente, se vuelve anaeróbico, se debe proveer algún tipo de drenaje para disminuir esta posibilidad, para lo cual se colocan varas de bambú como respiraderos.

La ventilación inapropiada y la posibilidad de condiciones anaeróbicas, son las desventajas del composteo en zanjas.

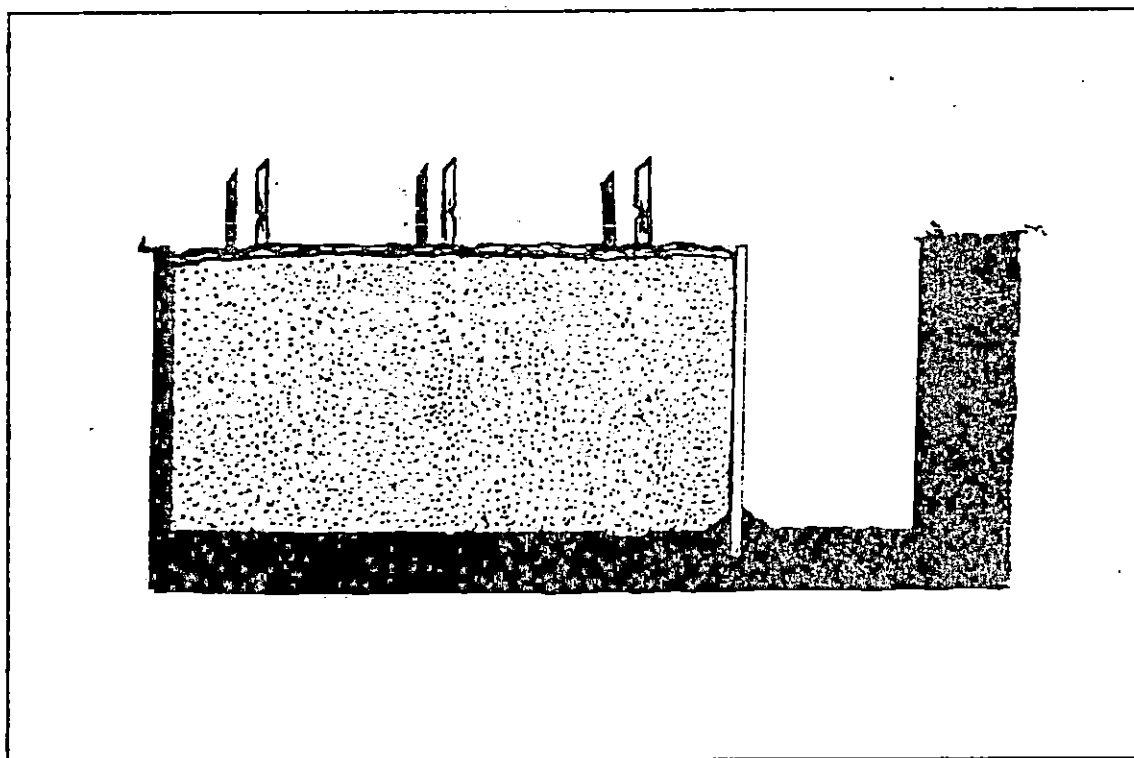


Figura No. 8. Pila Compostera de Tipo Fosa o Zanja

## 2.0 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

La metodología experimental consta de dos partes:

- a) La metodología estadística que consiste en la planificación del experimento, eligiendo los factores experimentales; las variables dependientes, las variables respuesta a medir durante su desarrollo, el análisis estadístico de los datos y la prueba estadística.
  
- b) La metodología de campo que consiste en montar el experimento como fue diseñado, y llevar adelante todas las actividades para su normal y correcto desarrollo, así como: la toma de datos, obtención de las muestras para su análisis químico y físico y la aplicación de los factores. A continuación se desarrollan cada una de estas etapas.

### 2.1 Metodología Estadística

La metodología estadística consiste de las siguientes etapas:

1. Hipótesis
2. Descripción de los factores de diseño

3. Factores en estudio
4. Estructura de los tratamientos
5. Diseño estadístico
6. Variables respuestas
7. Análisis Estadístico
8. Prueba Estadística

#### 2.1.1. Hipótesis

Para Bloques:

$H_0$  = Los bloques tendrán un efecto estadístico igual sobre las variables respuestas.

$H_1$  = Los bloques tendrán un efecto estadísticamente diferentes sobre las variables respuestas.

Para Tratamiento

$H_0$  = Los tratamientos tendrán un efecto estadísticamente igual sobre las variables respuestas.

$H_1$  = Los tratamientos tendrán un efecto estadísticamente diferentes sobre las variables respuestas.

Para los Factores:

$H_0 =$  Los factores y sus combinaciones tendrán un efecto estadísticamente igual sobre las variables respuestas.

$H_1 =$  Los factores y sus combinaciones tendrán un efecto estadísticamente diferente sobre las variables respuestas.

### 2.1.2 Descripción de los Factores de Diseño

Durante el proceso de fermentación por la vía aerobia, existen factores que influyen en mayor grado y otros lo hacen en un grado menor. Los que más influyen se han considerado independientes y se llamarán factores experimentales, y los que menos influyen se han considerado variables dependientes. Los factores experimentales introducen variación en las variables dependientes de las unidades experimentales. Un tercer tipo son aquellos que están determinados por las condiciones ambientales.

La clasificación de estos factores y variables para el proceso que se investigó se resumen en el cuadro 6.

Cuadro No. 6

CLASIFICACIÓN DE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO  
FERMENTATIVO AEROBIO DE LA MATERIA ORGÁNICA.

TIPO DE FACTOR O VARIABLE	FACTOR O VARIABLE
Factores Experimentales	Tipo de Abonera Fuente de Nitrógeno Aireación
Variables Dependientes	Temperatura pH % Humedad % Cenizas % Materia Orgánica % Carbono Orgánico Total % N,P,K, y Microelementos Relación C/N
Variables Respuestas	Temperatura pH % Humedad % Cenizas % N,P,K Relación C/N
Factores no Controlables	Temperatura Ambiental Precipitación Pluvial.

### 2.1.3 Factores en Estudio

Para seleccionar los factores se utilizaron los criterios siguientes:

- a) Son variables que al manipularlas en niveles diferentes, potencialmente pueden acelerar el proceso y,
- b) Son factibles de manejar con recursos disponibles como la mano de obra. A continuación se describen los factores.

### 2.1.3.1 Aireación (V)

La producción de abono orgánico a partir de materiales orgánicos como la pulpa, la hojarasca y el estiércol, es un proceso fermentativo aerobio (3,5,10). La descomposición de estos materiales se lleva a cabo por la acción de microorganismos naturalmente contenidos en ellos, en presencia de aire. Debido a la actividad microbiana algunos componentes químicos son metabolizados por ellos, resultando una acumulación de biomasa microbiana y los productos  $H_2O$  y  $CO_2$ . El problema principal del proceso es transferir con el menor costo posible oxígeno (presente en el aire) en una forma homogénea en toda la masa de material sólido (10).

Existen varios métodos para incrementar el oxígeno en aboneras de compost, el más sencillo y económico es el volteo periódico (18). Es por ello que en la presente investigación se evaluó este factor.

### 2.1.3.2 Fuente de Nitrógeno (F)

La adición de una fuente de nitrógeno en el Compost como la pulpa y el estiércol, se supone acelera el proceso de fermentación, ya que los microorganismos utilizan el nitrógeno para la producción de protoplasma y en la división

celular (18); si no está presente su reproducción es muy lenta y es posible que lo tomen del suelo. Por todo lo anterior es necesaria una determinada concentración de Nitrógeno para que la fermentación se realice en el menor tiempo posible.

#### 2.1.3.3 Tipos de Abonera (A)

El tipo de abonera óptimo debe proveer las mejores condiciones para el crecimiento de los microorganismos, una fermentación acelerada, y una buena aireación. La abonera debe ser económica, de materiales fáciles de obtener por el agricultor, de construcción sencilla y debe permitir manejar el compost fácilmente (3,18).

#### 2.1.4 Estructura de los Tratamientos

Los niveles o categorías para cada uno de los factores que se estudiaron son:

- a) Aireación. La aireación se aplicó por medio de volteos periódicos en dos niveles. Cada 8 días y cada 15 días. Se seleccionó realizar los volteos cada 15 días por ser el período que se practica más comúnmente en El Salvador (16), y se escogió volteos cada 8 días para determinar el efecto de una aireación más frecuente.



- b) Fuente de Nitrógeno. El factor fuente de nitrógeno tubo dos Niveles. En el primero se evaluó una mezcla de pulpa, hojarasca y tierra; en el segundo: Pulpa, estiércol, hojarasca y tierra.
- c) Tipos de abonera. los niveles del factor tipos de abonerás son dos. Abonera de Montículo y abonera de Zanja.

En el numeral 2.2.2 se dan mas detalles de la Construcción de estas abonerás.

En el cuadro 7 aparece la simbología para los factores y sus niveles.

Cuadro No. 7

NIVELES DE VARIACIÓN DE LOS FACTORES EN ESTUDIO.

Factor	Símbolo	Niveles	Símbolo
Aireación por Volteo	V	Volteo c/8 días	V <sub>1</sub>
		Volteo c/15 días	V <sub>2</sub>
Fuente de Nitrógeno	F	Pulpa	F <sub>1</sub>
		Pulpa Estiércol	F <sub>2</sub>
Tipo de Abonera	A	Montículo	a <sub>1</sub>
		Zanja	a <sub>2</sub>

El cuadro 8 muestra los tratamientos obtenidos de combinar los niveles de los factores.

Cuadro No. 8

FACTORES EXPERIMENTALES, NIVELES Y TRATAMIENTOS  
INVESTIGADOS EN LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO.

Nº Factor	Nº Nivel	Nº Tratamiento
1. <b>A</b>	1. $a_1$	T1. $a_1 f_1 V_1$
	2. $a_2$	T2. $a_1 f_1 V_2$
2. <b>F</b>	1 $f_1$	T3. $a_1 f_2 V_1$
	2 $f_2$	T4. $a_1 f_2 V_2$
3. <b>V</b>	1. $V_1$	T5. $a_2 f_1 V_1$
	2. $V_2$	T6. $a_2 f_1 V_2$
		T7. $a_2 f_2 V_1$
		T8. $a_2 f_2 V_2$

El Cuadro 9. describe el significado de los símbolos para cada tratamiento.

Cuadro No. 9

DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS EN ESTUDIO Y SU SIMBOLOGÍA, LA CUAL SE EMPLEARÁ PARA REFERIRSE A LOS TRATAMIENTOS.

Tratamientos	Especificación
$T1 = a_1 f_1 V_1$	Abonera tipo montículo, fuente de nitrógeno pulpa mezclada con hojarasca y tierra, con volteos cada 8 días.
$T2 = a_1 f_1 V_2$	Abonera tipo montículo, fuente de nitrógeno pulpa, con volteos cada 15 días.
$T3 = a_1 f_2 V_1$	Abonera tipo montículo; fuente de nitrógeno estiércol bovino y pulpa, volteos cada 8 días.
$T4 = a_1 f_2 V_2$	Abonera tipo montículo, fuente de nitrógeno estiércol y pulpa con volteos cada 15 días.
$T5 = a_2 f_1 V_1$	Abonera tipo zanja, fuente de nitrógeno pulpa con volteos cada 8 días.
$T6 = a_2 f_1 V_2$	Abonera tipo zanja, fuente de nitrógeno pulpa con volteos cada 15 días.
$T7 = a_2 f_2 V_1$	Abonera tipo zanja, fuente de nitrógeno estiércol bovino y pulpa, volteos cada 8 días.
$T8 = a_2 f_2 V_2$	Abonera tipo zanja, fuente de nitrógeno estiércol bovino y pulpa, volteos cada 15 días.

### 2.1.5 Diseño Estadístico

Para seleccionar el diseño estadístico se tomó en cuenta la precisión, la sencillez y el área experimental disponible para la investigación. La precisión se refiere a que el diseño seleccionado minimice las variaciones no controlables por el investigador y la sencillez se logra evaluando los factores y niveles que permitan obtener datos confiables.

El diseño estadístico que permite bloquear las diferencias en el suelo del área experimental es el diseño simple de bloques completos al azar, con él, es posible determinar el efecto de los bloques, los tratamientos y el error experimental en los valores que toma la variable respuesta.

En el experimento se investigaron tres factores, con dos niveles de variación cada uno, se obtuvieron 8 tratamientos diferentes; con 3 repeticiones. Cuando se investiga el efecto sobre las variables respuesta de varios factores, los niveles de estos y sus combinaciones. El diseño consiste en un "Diseño de Bloque al azar en arreglo factorial  $2^3$  con tres repeticiones.

#### 2.1.5.1 Número de Bloques

Se utilizarón 3 bloques, ya que se trabajaron 3 repeticiones, en cada uno se distribuyeron las unidades experimentales tal como se muestra en la figura 9.

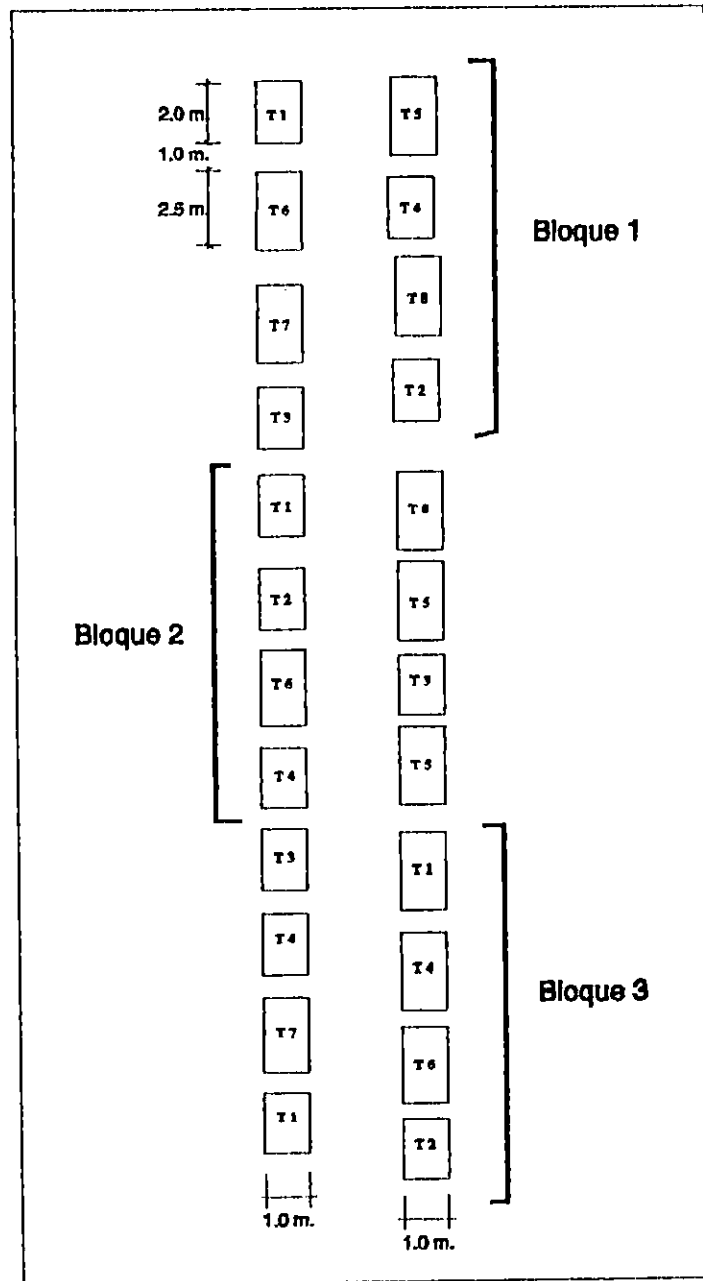


Figura No. 9. Plano de Campo de la Distribución de los Tratamientos en el área experimental. Características del Terreno:

Área 189 m<sup>2</sup>

Dimensiones : 42 de largo x 4.5 de mt. de ancho

Ubicación : Finca 1a. Av. Nte, PROCAFE  
Nva. San Salvador.

#### 2.1.5.2 Número de Tratamientos por Bloque

El número de tratamientos que se investigaron fue de 8, los cuales se distribuyeron al azar en cada bloque.

#### 2.1.5.3 Distribución de Tratamientos en Cada Bloque

Los bloques se colocan perpendiculares al gradiente de variación, que fue la compactación del terreno, y quedaron distribuidos como se muestra en la figura 9, la distribución de los tratamientos se hizo al azar para ello se utilizó un paquete de computadora llamado "Sistema de Análisis Estadístico (SAS)".

#### 2.1.5.4 Pruebas Estadísticas

Para la estimación y prueba de hipótesis se utilizaron las pruebas estadísticas siguientes:

- A. Análisis de Varianza
- B. t de student
- C. Tukey.

El Análisis de varianza se aplicó a todas las variables respuesta, para determinar si las fuentes de variación

(Bloques, tratamientos, factores e interacciones) ejercieron un efecto estadísticamente significativo sobre los valores de las variables. El cálculo se realizó con un paquete de computadora llamado INSTAT. (Ver anexo B1).

Las pruebas de t de student y Tukey se aplicaron cuando los tratamientos resultaron estadísticamente significativos en el análisis de Varianza. t de student se aplicó a la temperatura, Tukey a la humedad y al contenido de fósforo.

La prueba de t se utilizó para comparar el valor promedio de la variable respuesta temperatura de cada tratamiento con el valor promedio de la temperatura ambiente, el cual se utilizó como parámetro óptimo de Comparación. Se determina un valor de t calculado y compara contra otro valor de tablas llamado t de tablas con un nivel de significancia de 5%. Cuando el t calculado es menor que el t de tablas se acepta la hipótesis nula:

$H_0$  = los efectos que producirán los tratamientos serán iguales o similares a los establecidos u óptimos para la variable de estudio.

Si el t calculado es mayor que el t de tablas se acepta la hipótesis alterna. En el anexo B1 se encuentra un ejemplo de cálculo de la prueba de t.

La prueba de Tukey se utilizó para comparar los tratamientos utilizando las variables respuestas humedad y contenido del fósforo, para determinar el mejor de los tratamientos, es decir aquel que tiene los valores más altos de la variable. En esta prueba la Hipótesis nula que se planteó fue:

$H_0$  = Los tratamientos ejercen un efecto estadísticamente igual sobre las variables respuestas.

En el anexo A6 se encuentran dos ejemplos de cálculos de la prueba de Tukey.

#### 2.1.6. Variables Respuestas

Son variables no controlables por el experimentador, también son conocidas como variables dependientes y resultan de la aplicación de los tratamientos sobre las unidades experimentales.

En la fermentación aerobia del Compost, se determinó como variables dependientes las que se numeran en el cuadro 5.



### 2.1.6.1 Selección de Variables Respuesta

De las variables dependientes listadas en el cuadro 5, los más importantes fueron elegidos para su evaluación.

Los criterios para su elección, se basaron en investigaciones sobre producción de abono orgánico reportadas en la literatura (3,5,10,18); en investigación de campo con agricultores que utilizan la pulpa como abono y en entrevistas personales con investigadores. Otros criterios de importancia fueron el tiempo asignado a la etapa experimental que fue de 90 días, y la disponibilidad de equipo para el análisis de dichos factores.

Tomando en cuenta los criterios anteriores, fueron seleccionadas las variables dependientes:

1. Temperatura
2. pH
3. Humedad
4. Cenizas
5. Carbono Orgánico Total
6. % N,P,K, y Microelementos
7. Relación C/N

### 2.1.6.2 Rangos de Variación de las Variables

#### a) Humedad

Es importante que el compost esté húmedo, principalmente durante los primeros días. Un nivel bajo de humedad retarda la descomposición y evita que el material aumente de temperatura.

Los microorganismos necesitan una humedad adecuada para crecer y reproducirse. El exceso disminuye la concentración de oxígeno, inunda el compost y lixivia los elementos.

El rango de humedad que se recomienda (10) es de 30 a 60%. La medición de la humedad se hizo cada 8 días, durante el período de 90 días de la etapa experimental, tomando muestras de las 24 aboneras.

#### b) Temperatura

Durante el proceso de compostaje teóricamente, la temperatura describe la curva mostrada en la figura No. 10. El compost alcanza una temperatura pico, alrededor de 70 °C (15), el material esta perdiendo tanto calor como el producido por los microorganismos. Cuando se enfría, los materiales celulósicos son descompuestos

probablemente por hongos. En la etapa final o de maduración, se inicia una lucha entre los microorganismos, debido a la falta de alimento, son producidos antibióticos y animales del suelo, como gusanos, que se mantienen por unas semanas durante el periodo de maduración.

Es importante que el compost alcance valores entre 55 a 60 °C de temperatura, pues ésta junto con el pH, son importantes para la vida de las bacterias, y también para otros animales y plantas microscópicas (10,15).

La temperatura se midió todos los días a las 24 aboneras, a partir del inicio de la etapa experimental hasta los 30 días, posteriormente se dejó un día alterno entre mediciones hasta que finalizaron los 90 días de etapa experimental para lo cual se utilizaron tres termómetros de inmersión que miden hasta 110 °C.

Para seleccionar el mejor tratamiento en la prueba estadística se tomó como base la temperatura ambiente, ya que es un indicador de la estabilización del compost.

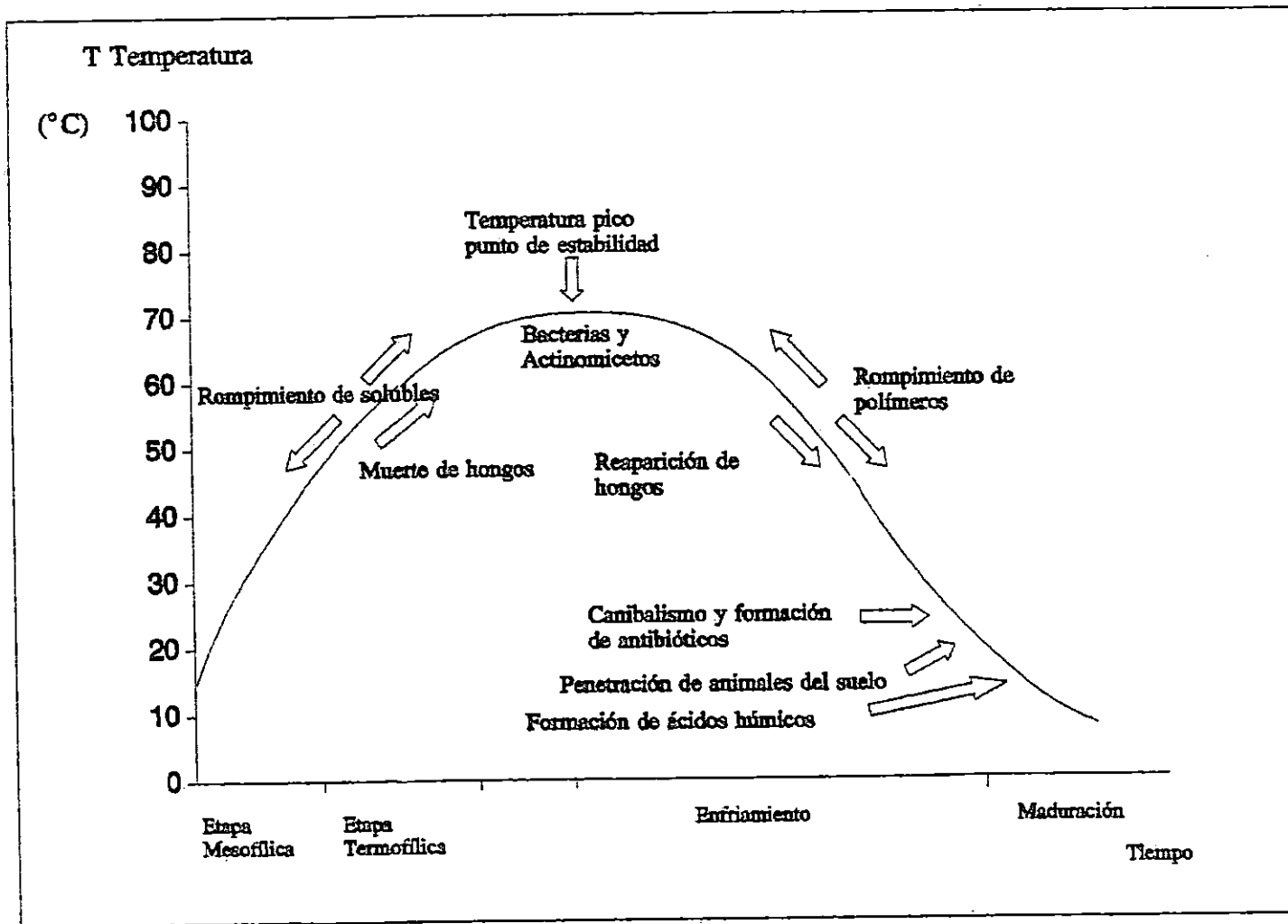


Fig. No. 10. Tendencia de la Temperatura con el Tiempo de la Fermentación Aerobia de Compost.

Fuente (15)

c) pH

Las bacterias que degradan el compost prefieren un rango de pH entre 7.0 y 7.5, los hongos entre 5.5 y 8.0. El compost debe estar dentro de este rango para descomponerse. En el producto final es ideal un pH neutro (pH=7.0), o uno ligeramente ácido (ligeramente abajo de 7.0); sin embargo puede ser tolerado un pH ligeramente alcalino (ligeramente arriba de 7.0) (6,18).

El pH se midió cada 8 días a las 24 aboneras, durante los 90 días de la etapa experimental.

d) Cenizas

El contenido de cenizas en la pulpa fresca es de 1.5%; cuando la pulpa ha sido fermentada y deshidratada el contenido de cenizas es de 8.8% (11). Este aumenta debido a el proceso de mineralización de la materia orgánica.

Se fijó como valor óptimo para el % de cenizas, el más alto que produjeran los tratamientos ya que este resultado es un indicador del grado de mineralización. El análisis de cenizas se realizó a las 24 aboneras cada 3 semanas.

e) **Sólidos Volátiles o Materia Orgánica**

La materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico como desechos vegetales y animales. Su importancia radica en la influencia que esta tiene en muchas características del suelo. El contenido de materia orgánica disminuye durante el proceso debido a su mineralización y humificación. Cuando se inicia la descomposición el contenido de materia orgánica se encuentra por el 80%. La materia orgánica se medirá a las 24 aboneras cada 3 semanas.

f) **Concentración de Macro y Micro Elementos**

Los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas se han dividido por su requerimiento en: Macro y Micro nutrientes; de los cuales se evaluaron los siguientes:

Macro Nutrientes		Micro Nutrientes	
Carbono	Magnesio	Manganeso	
Nitrógeno	Azufre	Cobre	Hierro
Fósforo	Calcio	Zinc	Boro
	Potasio		

En general se espera que se incremente la concentración de los elementos después de un proceso de descomposición.

Todos los análisis se realizarán a las 24 aboneras al inicio y al final de la etapa experimental.

g) Relación C/N

Los elementos principales que componen la materia orgánica son el carbono, que está presente en mayor cantidad, y el nitrógeno, además del oxígeno y el hidrógeno.

Cuando la relación C/N es superior a 30, significa que hay mucho carbono y poco nitrógeno para las actividades de los microorganismos, debiendo estos tomar el nitrógeno del suelo para comenzar su actividad. Cuando la relación C/N está entre 30 y 15, existe la cantidad necesaria de nitrógeno para la actividad microbiana, no utilizándolo del suelo, pero tampoco hay una liberación en forma soluble. Cuando C/N es inferior a 15, recién comienza la liberación de nitrógeno soluble al suelo. La descomposición continúa hasta un nivel estable donde C/N es aproximadamente 10, que es la correspondiente a la composición del humus (6, 18).

## 2.2. Metodología de Campo

La metodología de campo consiste de las etapas siguientes:

- a) Ubicación del experimento
- b) Instalación del experimento
- c) Conducción del experimento
- d) Finalización de Etapa Experimental

### 2.2.1 Ubicación del Experimento

La producción de abono orgánico se realizó a nivel de planta piloto, esto requería de una extensión grande de terreno, el cual fué proporcionado por PROCAFE, contando con un área de 189 M<sup>2</sup>, 42 metros de largo (de Este a Oeste) por 4.5 metros de ancho (de Sur a Norte), ubicado en la estación experimental de la Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café (PROCAFE), contiguo a Oficinas Centrales, en el final de la Primera Avenida Norte, Nueva San Salvador. El terreno tiene una topografía casi plana y una pendiente de 1% a 2% (de Sur a Norte) de fácil acceso por calle de tierra hacia el norte de las instalaciones, y se encuentra rodeado de cafetales. El terreno se encuentra a un altura de 955 M sobre el nivel del mar; la temperatura anual media es de 20.6 °C y la precipitación pluvial media de 1850 CC. (27) el suelo pertenece al grupo regosol serie soyapango, con una textura



franca arenosa (27). El abono orgánico se produjo en las condiciones climáticas y de suelo de un cafetal, favoreciendo la aplicación de estos métodos por el caficultor.

### 2.2.2. Instalación del Experimento

El montaje del experimento consistió de las fases siguientes:

1. Medición y limpieza del área experimental
2. Elección de la Unidad experimental
3. Estructura por capas de las unidades experimentales
4. Material experimental
5. Construcción de zanjas, trincheras y respiraderos
6. Construcción de los tratamientos

#### 2.2.2.1 Elección de la Unidad Experimental

Se entiende por unidad experimental el material o lugar sobre el cual se aplican los tratamientos en estudio, para el caso son las aboneras.

Para elegir el tamaño de la unidad experimental se tomó en cuenta el número de éstas que se debía manejar (24 aboneras) y que, dado su tamaño, permitiera la descomposición acelerada del compost hasta su estabilización, por lo que se escogió unidades experimentales con un volumen de 1 m<sup>3</sup>.

### 2.2.2.2 Estructura por Capas de las Unidades Experimentales

Los niveles del factor "fuente de nitrógeno", definieron la composición de las aboneras en dos tipos. El primer nivel estaba constituido por aboneras con pulpa; el segundo nivel por pulpa-estiércol. Los componentes en común para los dos tipos de abonera fueron: la hojarasca y la tierra. En el cuadro 10 se resume el tipo de materiales, que forman la abonera, con su espesor, peso y porcentaje.

Cuadro No. 10

ESTRUCTURA DE LOS NIVELES DEL FACTOR "FUENTE DE NITRÓGENO". ESPESOR, PESO Y PORCENTAJE EN PESO DE LAS CAPAS DE HOJARASCA, PULPA, ESTIÉRCOL Y TIERRA Y SU CONVERSIÓN A CARRETILLAS.

NIVEL	MATERIAL	ESPESOR(CM)	PESO(lbs)	% P/p	CARRETILLAS
af <sub>1</sub> v	Hojarasca	8	78.5	7.13	5
	Pulpa	15	282.0	25.61	6
	Tierra	1	95.0	8.63	1
	Hojarasca	8	78.5	7.13	5
	Pulpa	15	282.0	25.61	6
	Tierra	3	285.0	25.89	3
	TOTAL	50	1101.0	100.0	23
af <sub>2</sub> v	Hojarasca	8	78.5	7.22	5
	Pulpa	11	211.5	19.44	4.5
	Estiércol	4	64.0	5.88	2
	Tierra	1	95.0	8.73	1
	Hojarasca	8	78.5	7.22	5
	Pulpa	11	211.5	19.44	4.5
	Estiércol Bovino	4	64.0	5.88	2
	Tierra	3	285.0	26.19	3
TOTAL	50	1033.0	100.0	27	

### 2.2.2.3 Material Experimental

El material experimental está constituido por la materia prima para la construcción de las aboneras y las herramientas y equipos para la etapa experimental, así como los instrumentos de medición utilizados.

#### a) PULPA

La pulpa es una fuente de N,P,K, elementos secundarios y menores; celulosa, azúcares libres como fructuosa, galactosa, glucosa y sacarosa, además proteínas y elementos polifenólicos. En la investigación se ha considerado a la pulpa como fuente de nitrógeno y se evalúa su concentración.

La pulpa para el experimento se obtuvo de un beneficio cercano a PROCAFE, con el objetivo de reducir los costos del transporte. La pulpa utilizada fue de 2 días de despulpada y su composición química se encuentra en la revisión bibliográfica.

#### b) HOJARASCA

La hojarasca se ha agregado como fuente de carbono.

Esta fue obtenida del cafetal que rodea el área experimental; se recolectó en montones y luego se transportó en carretillas. Las hojas estaban enteras y poco degradadas. La composición porcentual de la hojarasca se encuentra en la revisión bibliográfica. En el cuadro 10. Se reporta el peso de hojarasca utilizada.

**c) ESTIERCOL BOVINO**

El estiércol se ha considerado como una fuente de Nitrógeno y se combinó con pulpa de café, obteniéndose dos niveles del factor "Fuente de Nitrógeno". Un nivel es solo pulpa y el otro nivel es la combinación de pulpa y estiércol.

El estiércol bovino utilizado no fué fresco, tenía una temperatura alta, olor característico. En el cuadro 10 se reporta la cantidad el estiércol que se empleó.

**d) TIERRA**

La tierra se utilizó como un medio para separar las capas de materiales y como cobertura inicial del compost. El objetivo de colocarla como cobertura fue evitar la presencia de moscas y su reproducción en el

material. La tierra también puede considerarse como un activador de la descomposición ya que incorpora al compost microorganismos propios del suelo.

Para el experimento se utilizó la tierra que se sacó de las zanjas, la cual era del tipo regosol serie Soyapango, presentaba color negro y estaba parcialmente compactada por la naturaleza del terreno. Ver en el cuadro 10, el peso de la tierra que se empleó.

**e) MATERIALES, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS**

Los materiales, herramientas y los equipos se listan en cuadro 11. La cantidad de éstos materiales dependen del número y tamaño de las aboneras bajo experimento.

## CUADRO No. 11

MATERIALES, HERRAMIENTAS Y EQUIPO EMPLEADOS EN LA  
CONSTRUCCION DE LAS ABONERAS

MATERIALES	CANTIDADES
Pulpa	6 (TM)
Estiércol	0.768 (TM)
Hojarasca	1.884 (TM)
Tierra	4.56 (TM)
Bambú	25 (VARAS)
Sacos de Polietileno	170 (U)
Bolsas Plásticas 5 lbs/cu	300 (U)
Alambre Amarre	5 (Lbs)
Cinta Métrica (3 y 5 metros)	2 (U)
Palas Mango Largo	3 (U)
Azadones	2 (U)
Picos	2 (U)
Rastrillos	2 (U)
Machetes	2 (U)
Carretillas	3 (U)
Regaderas	3 (U)
Báscula (300 lbs)	1 (U)
Termómetro de Inmersión (-10 a 110 °C)	3 (U)

## 2.2.2.4 Construcción de Zanjas, Trincheras y Respiraderos

Para construir las zanjas, se distribuyeron los tratamientos como aparecen en la figura 9. Una vez ubicados los tratamientos de zanja, se procedió a abrir los hoyos con pico, pala y azadón.

Las trincheras son barandas o cercas que se hacen con mitades de varas de bambú que se fijan unas a otras con alambre de amarre, como se muestra en la figura 11. Las trincheras se colocan en las zanjas dividiéndola en dos partes, una de dos metros de largo y la otra de 0.5 metros. El área de 2.0 metros de largo se utiliza para colocar los materiales del tratamiento dejando 0.5 metros como espacio libre para la realización de los volteos; también permite la aireación del material durante la descomposición.

Los respiraderos son cañas de bambú, a los cuales se cortan los nudos con machete para permitir el paso del aire. Se colocan tres respiraderos para cada tratamiento, la altura de estos es de 0.75 metros, y se colocan al centro del tratamiento, separados una distancia de 30 cms uno del otro.

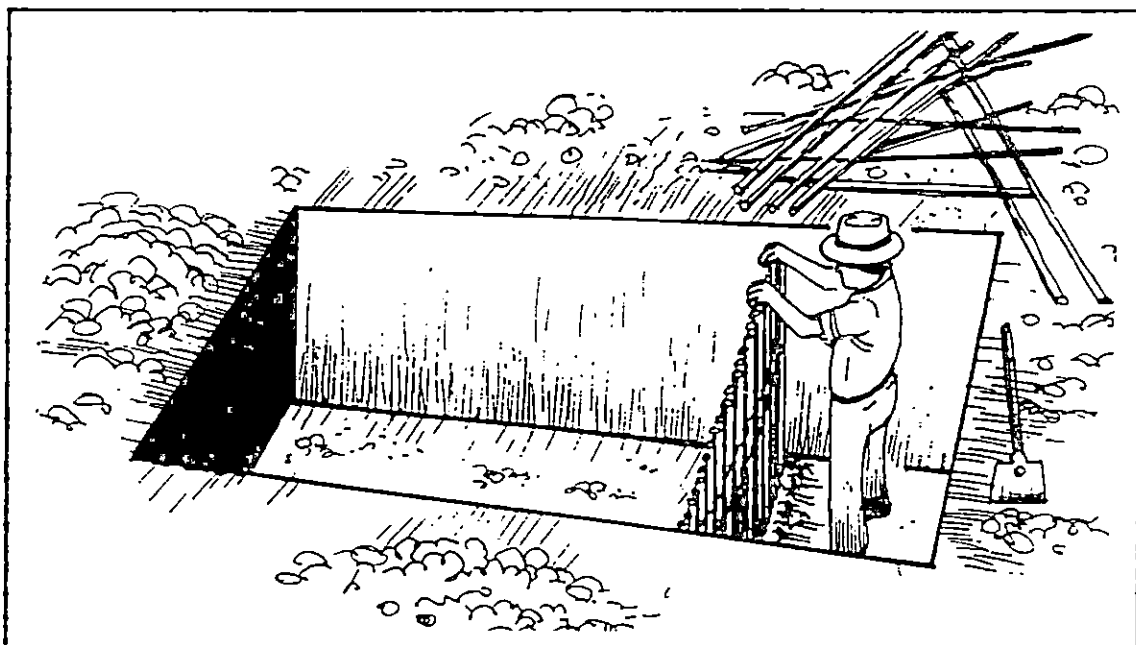
En la figura 12 se muestra la forma de cortar los nudos de las cañas. Los respiraderos tienen la función de evacuar los gases que se generan en la fermentación aerobia, tales como  $CO_2$  y vapor de agua, y permitir el ingreso de aire a la abonera.

#### 2.2.2.5 Construcción de las Aboneras

Cada abonera se construyó de acuerdo a las especi-

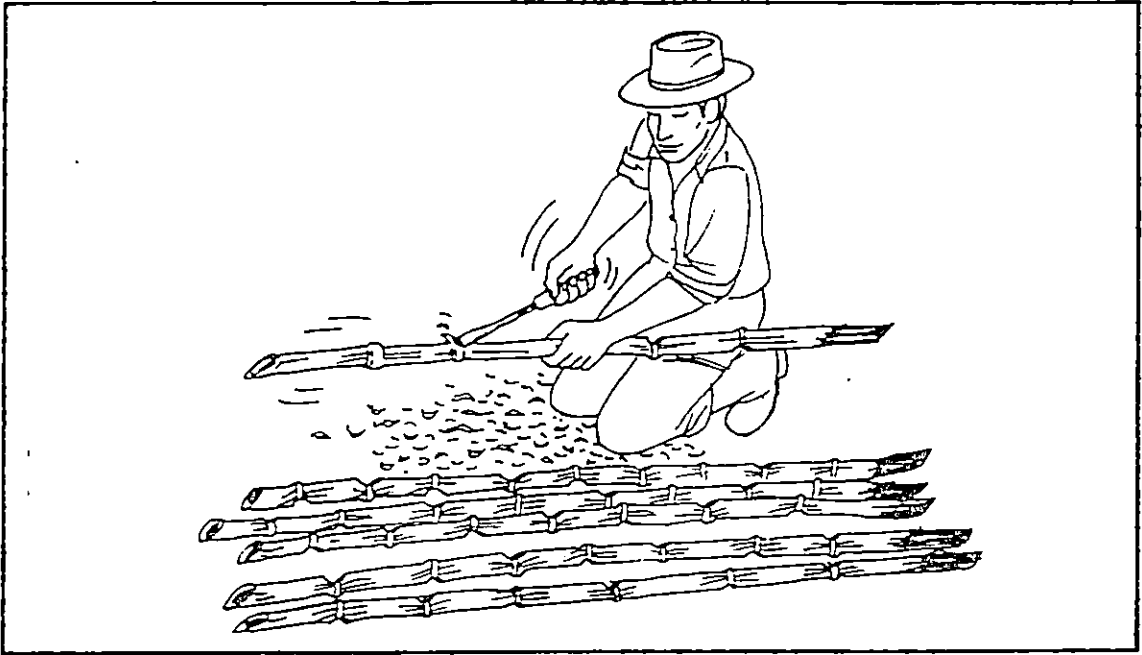
ficaciones del diseño experimental, se transportaron los materiales con carretillas, teniendo el cuidado de colocar las capas en el orden establecido (Ver Figuras 13 y 14); los respiraderos se ponen al iniciar la construcción ya que ubicarlos cuando se ha finalizado es muy difícil. Cada tratamiento se identificó con una viñeta de cartulina forrada de plástico. Cuando colocaron las capas se uniformizó la superficie de cada capa para evitar desniveles.

Los tratamientos de zanja presentaron menor dificultad en su construcción, ya que solo se depositan los materiales y se uniformiza la superficie.



Fuente (3)  
Figura No. 11. Construcción y Colocación de Trincheras de Bambú





Fuente (3)

Figura No. 12. Forma de Fabricar los Respiraderos de Bambú.

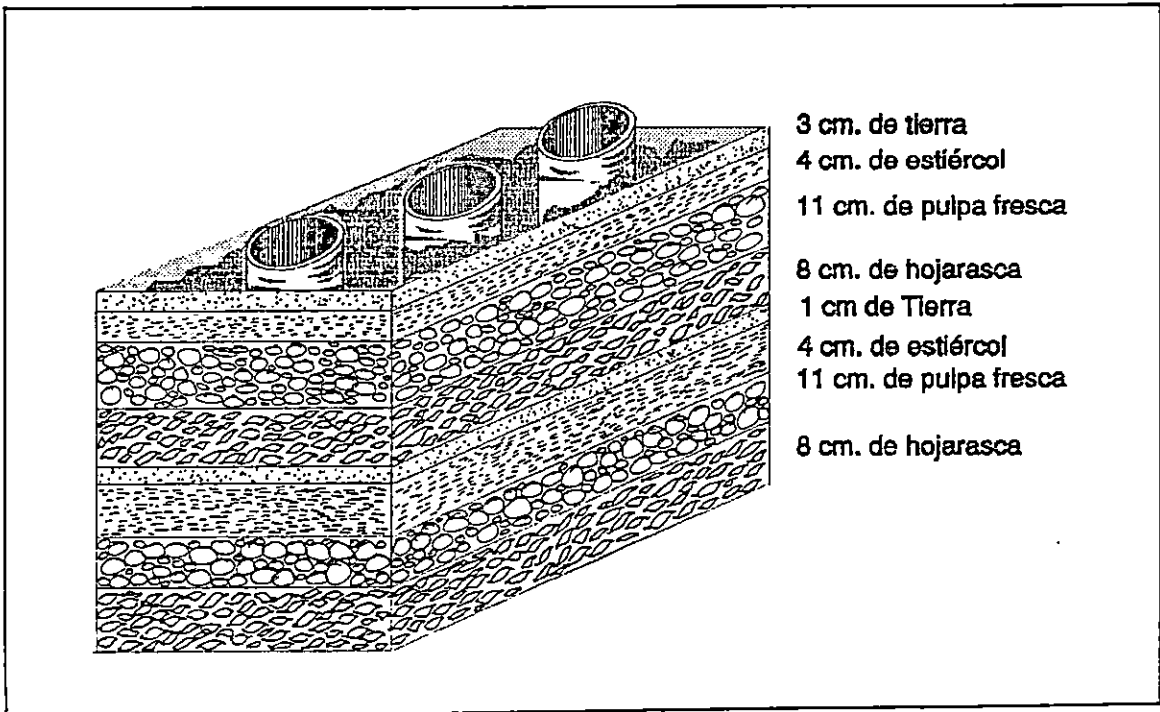
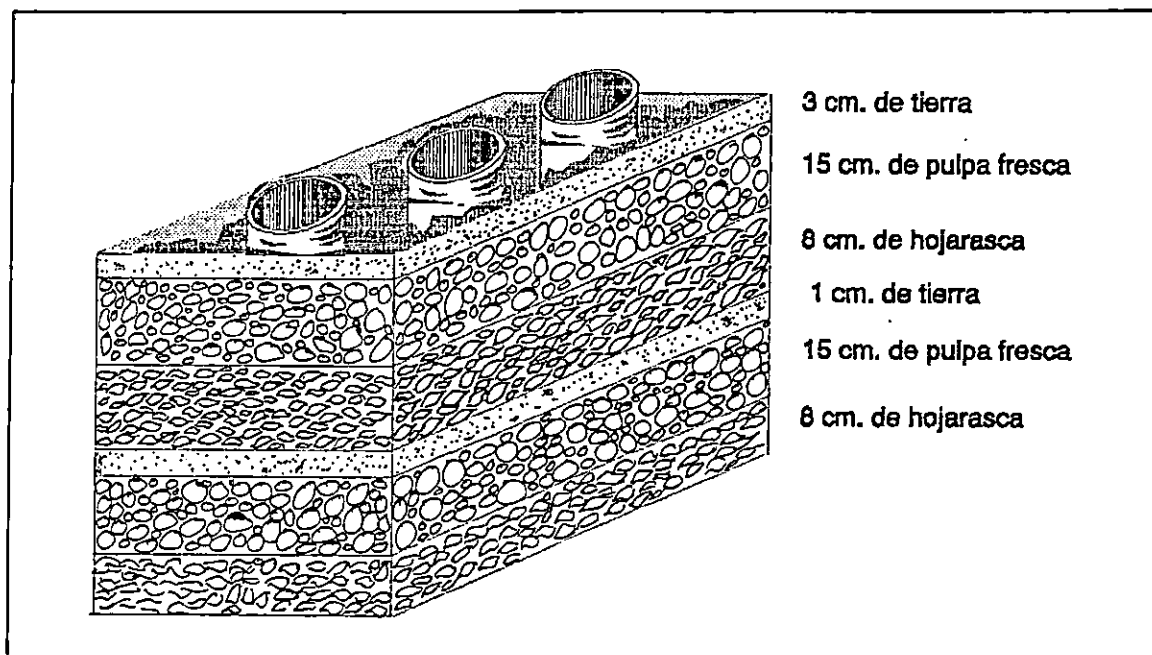


Figura 13. Abonera de Nitrógeno: Estiércol - Pulpa.



**Figura 14. Abonera Fuente de Nitrógeno: Pulpa**

Las aboneras de montículo presentaron mayor dificultad en su construcción, ya que no pueden hacerse exactamente rectangulares.

Se pesaron las capas de material, también se obtuvo la equivalencia en carretilladas, para facilitar la construcción.

Después de terminada la construcción y llenado de las aboneras se procedió a realizar los volteos cada 8 y 15 días. Los volteos se realizaron durante 12 semanas que duró la etapa experimental.

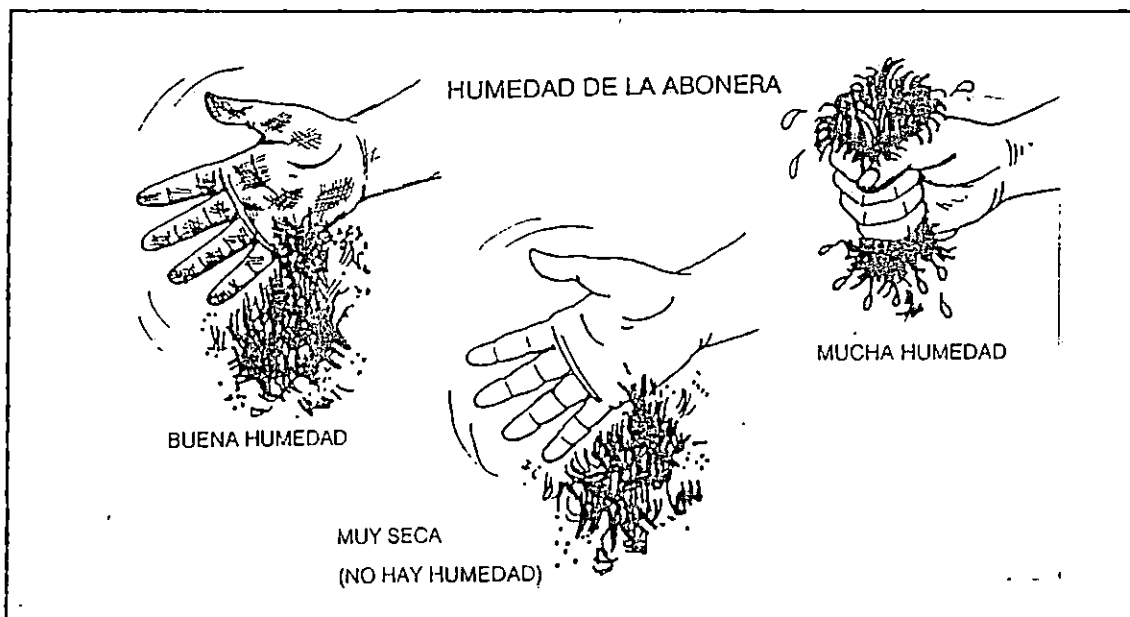
Las aboneras se desmontaron en la 13ª semana.

### 2.2.3 Conducción del Experimento

#### 2.2.3.1 Medición de Temperatura y Humedad

Se midió temperaturas diariamente durante los primeros 37 días de la etapa experimental, posteriormente se tomaron tres lecturas semanalmente, los días lunes, miércoles y viernes hasta finalizar los 90 días. Los datos de temperatura se encuentran tabulados y graficados en el capítulo de resultados.

La humedad se midió en el laboratorio todas las semanas, al igual que el PH. La humedad de las aboneras se midió tomando el compost con la mano y presionandolo; si al soltar el compost la mano queda humedecida, la humedad se considera buena; si por el contrario queda seca, el material necesita agua, y había que agregarla. Si al presionar escurría agua del material, éste poseía demasiada humedad, y no es necesario agregar agua. El método planteado se ilustra en la figura 15.



Fuente (3)

**Figura No. 15. Método Sencillo para Determinar la Humedad de una Abonera.**

### 2.3.3.2 Obtención de Muestras

Se obtuvieron muestras de los tratamientos, introduciendo la mano con una bolsa plástica, se tomó porciones de compost de 6 lugares diferentes de la abonera. De las cuatro esquinas y del centro. Se colocaron dentro de una bolsa plástica y se mezcló, posteriormente se sacó una submuestra, que era de 1/2 libra cuando se realizó análisis de pH y humedad, de 1 libra cuando se realizó análisis de pH, humedad, macro y micro elementos. La toma de muestra se realizó durante los volteos.

Se colocó viñetas de identificación a las bolsas de muestras y se transportaron rápidamente al laboratorio.

### 2.2.3.3 Análisis Químicos y Físicos

Los análisis químicos y físicos se realizaron en los laboratorios de PROCAFE, y se listan en el cuadro No. 12. El laboratorio hizo comparaciones en una etapa de familiarización de los métodos de análisis químicos para suelos y para foliares; obteniendo resultados más próximos a los reportados en la literatura con los métodos de análisis para foliares.

En el inicio de la etapa experimental se realizaron los análisis del cuadro 12, a tres muestras así: una de pulpa fresca, otra de pulpa-hojarasca y tierra y la tercera de pulpa-estiércol-hojarasca y tierra. A partir de la primera semana, hasta la semana 12, se determinó el porcentaje de cenizas cada tres semanas, pH y humedad cada semana, a 24 muestras correspondientes al mismo número de aboneras. En la semana 13 se realizaron nuevamente todos los análisis del cuadro 12 a 24 muestras correspondientes al mismo número de aboneras.

Cuadro No. 12.

**ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS QUE SE REALIZARON A LAS MUESTRAS DE COMPOST.**

TIPO DE ANÁLISIS	METODO	UNIDADES
<b>ANÁLISIS FÍSICOS</b>		
Humedad al llegar	Humedad en hojas	%
Materia Orgánica	Oxidación térmica	% (b.s)
Cenizas	100 - M.O.	% (b.s)
Carbono Orgánico Total	M.O./1.8	% (b.s.)
Relación C/N	% C/ % N	Adimensional
<b>ANÁLISIS QUÍMICO</b>		
pH	pH en Agua	Adimensional
Nitrógeno Total	Kjeldahl	% (b.s)
Fosforo	A.A	% (b.s)
Potasio	Fotometría de llama	% (b.s)
Calcio	A.A.	% (b.s)
Magnesio	A.A.	% (b.s)
Azufre	Turbidimétrico UV,V	% (b.s)
Boro	Colorímetro, UV,V	ppm (b.s)
Hierro	Espectrofotómetro A.A	ppm (b.s)
Cobre	Espectrofotómetro A.A	ppm (b.s)
Zinc	Espectrofotómetro A.A	ppm (b.s)
Manganeso	Espectrofotómetro A.A	ppm (b.s)

AA. = Absorción Atómica

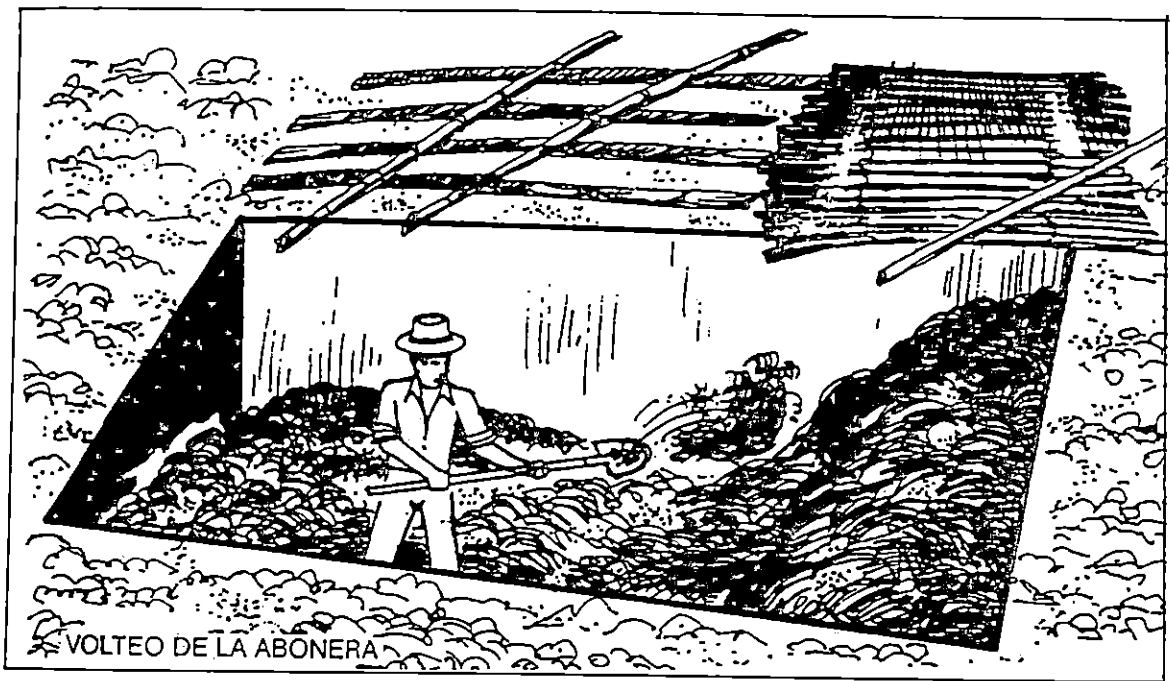
U.V = Ultra Violeta

V = Visible

#### 2.2.3.4. Volteos

La frecuencia de volteos y el número de aboneras a las que fueron aplicados se muestra en el cuadro 13. El volteo aplicado a un montículo consistió en remover el material superficial hacia los lados, desalojar el material del

interior, y llenar este espacio con el material de los lados, de manera que lo que estaba interno quede superficial y viceversa. El volteo a una zanja consistió en quitar la trinchera, colocar el material superficial en el espacio vacío, y colocar sobre este el material que antes quedaba interno, y finalmente colocar de nuevo la trinchera (Ver figura 16).



Fuente (3)

Figura No. 16. Procedimiento para Volteo en Tratamientos de Zanja.

Cuadro No. 13

FRECUENCIA DE VOLTEOS APLICADOS A LOS TRATAMIENTOS Y NÚMERO TOTAL DE VOLTEOS ABONERAS CON VOLTEO.

SEMANA	REGIMEN DE VOLTEOS (DIAS)		No. DE TRATAMIENTOS
	8	15	
	No. DE VOLTEOS		
1	1		12
2	1	1	24
3	1		12
4	1	1	24
5	1		12
6	1	1	24
7	1		12
8	1	1	24
9	1		12
10	1	1	24
11	1		12
12	1	1	24
TOTAL	12	6	

#### 2.2.3.5 Protección de las Aboneras

Durante la etapa experimental fueron removidas pequeñas cantidades de compost por gallinas y perros que deambulaban por el cafetal, la remoción podría provocar la pérdida de temperatura. Para evitar estos inconvenientes se protegió las aboneras con ramas secas de cafeto, alrededor de ellos, lo que dió muy buenos resultados.



### 3.0 ANALISIS ESTADISTICO DEL PROCESO DE DEGRADACION

Para el análisis estadístico de los datos de campo obtenidos en la investigación para cada una de las variables respuesta, se hizo uso del paquete estadístico INSTAT. Programa estadístico diseñado por la Universidad de READING Inglaterra, para experimentos agropecuarios. El cual fué proporcionado por la unidad de Biometría de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Para la comprobación de las hipótesis planteadas para las diferentes fuentes de variación del diseño estadístico elegido, se estableció el nivel de significancia del 5%. Ya que el experimento se realizó a nivel de campo. Lugar donde se hace muy difícil controlar algunos factores ambientales, lo que hace que se pierda un poco de precisión en los datos. Luego para determinar si existía o no diferencia significativa entre los componentes de la fuente de variación del Análisis de Varianza (ANOVA), se comparó el valor de  $F$ -calculada ( $F_c$ ), contra el valor de probabilidad obtenido en el análisis de varianza. Y si este valor de probabilidad era menor que 0.05, se dijo que los componentes de la fuente de variación producían diferencias significativas al 5%, cumpliéndose así la hipótesis alterna ( $H_1$ ). Es decir que los componentes de la fuente de variación en el análisis producen efectos diferentes; y cuando el valor de la probabilidad

fuera mayor que 0.05; se dijo que los componentes de la fuente de variación no producen diferencias significativas; cumpliéndose así la hipótesis nula ( $H_0$ ). Es decir que los componentes de la fuente de variación produjeron iguales efectos.

Cuando existió diferencia significativa, ésta se representó por el símbolo de asterisco (\*), el cual se colocó en la parte superior derecha del valor de F-calculada. Y cuando no existió esta diferencia, no se colocó ninguna indicación.

Una vez obtenidos los cálculos del análisis de varianza para cada una de las variables respuesta analizadas, para cada semana, se procedió a aplicar pruebas estadísticas a aquellos análisis de varianza donde se obtuvo diferencia significativa para la fuente de variación de tratamientos, para determinar el mejor de ellos.

Dentro de estas pruebas estadísticas se utilizaron: "t" de Student y Tukey; la primera se aplicó únicamente para la variable respuesta temperatura, ya que existían valores fijos contra los cuales comparar; y la segunda se aplicó para el resto de variables respuesta medidas, cuando éstas fueron significativas para tratamientos; ya que en éstas variables si interesaba conocer los valores de medias más altos.

Luego de haber sido determinado el mejor de los tratamientos se procedió a observar los diferentes cuadros resúmenes de Análisis de Varianza (ANOVA); para determinar que factores del tratamiento influyeron en la producción de sus efectos; y mediante una simple comparación de valores de medias cual de los niveles del factor o factores habían sido los mejores.

### **3.1 Comportamiento de la Temperatura Durante el Proceso de Humificación.**

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza (ver cuadro 20), los bloques fueron estadísticamente significativos, de la semana 2 a la 13, excepto la semana 1; lo anterior indica que los bloques ejercieron un efecto sobre la variable respuesta temperatura.

Por otra parte los tratamientos aplicados fueron estadísticamente significativos en las semanas 1, 2, 5, 6, 7, 8, 12, y 13; excepto en las semanas 3, 4, 9, 10 y 11. Lo que indica que esta variable es muy importante porque permite medir la varianza producida por los tratamientos durante la mayoría de semanas de la etapa experimental.

Se aplicó la prueba de  $t$  a los datos de temperatura en las semanas en que los tratamientos fueron significativos en

el análisis de varianza. De acuerdo a los resultados de la prueba de t (Cuadro No. 19) en la quinta semana el tratamiento 3 (Montículo, Pulpa-estiércol, Volteo cada 8 días), tiene una temperatura estadísticamente igual a la temperatura ambiente (Parámetro de Comparación), lo que indica que logra estabilizar el compost en 35 días, con una temperatura de 26.92 °C. Los demás tratamientos estabilizan la temperatura en semanas posteriores.

En el Cuadro No. 19 se muestra un cuadro resumen de los tratamientos cuya temperatura se iguala a la Temperatura ambiente.

El factor tipo de abonera A, fue significativo en las semanas 1, 5, 6, 7 y 8; excepto en las semanas 2, 10, 11, 12 y 13; y fue significativo pero no influyó en el efecto de los tratamientos en las semanas 3, 4 y 9. Este factor fue el que ejerció mayor influencia en la temperatura del compost, por que de acuerdo al cuadro 14, el nivel que proporcionó los mejores resultados es A1 (Montículo), por alcanzar el valor más alto de temperatura durante la etapa termofílica del proceso (Semana 1), y durante la etapa de enfriamiento y maduración siempre presenta valores más bajos de temperatura que el nivel A2 (Zanja), concordando estos resultados con el mejor tratamiento que es tipo montículo T3.

CUADRO No. 14

DATOS PROMEDIO DE TEMPERATURA DE LOS NIVELES DEL FACTOR TIPO DE ABONERA (A), EN LAS SEMANAS QUE RESULTO SIGNIFICATIVO.

SEMANA	1		5		6		7		8	
NIVEL	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
T °C	49.98	47.04	27.9	29.94	26.31	27.51	25.72	27.07	26.64	27.79

El factor fuente de nitrógeno F, sigue en importancia al factor tipo de abonera, no fué significativo en las semanas 2,3,4,5,7,8,9 y 10. De acuerdo al cuadro 15 el nivel F1 (Pulpa), produce temperaturas inferiores en el compost, comparado con el nivel F2 (Estiércol-pulpa), en promedio el nivel F1 produce temperaturas más bajas, pero esto no concuerda con el mejor tratamiento T3. El nivel F2, en promedio produce las temperaturas más altas en los tratamientos, lo que indica que la presencia de estiércol incrementa la actividad microbiana, desprendiendo más calor y aumentando la temperatura, actuando como un activador biológico de la descomposición.

CUADRO No. 15

DATOS PROMEDIO DE TEMPERATURA DE LOS NIVELES DEL FACTOR FUENTE DE NITROGENO (F) EN LAS SEMANAS QUE RESULTO SIGNIFICATIVO

SEMANA	1		6		12		13	
NIVEL	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
T °C	47.33	49.69	26.57	27.25	25.01	25.57	25.41	26.13

El factor volteos (V), fue significativo sólo en la semana 1, lo que pone de manifiesto que la aireación es muy importante en las primeras semanas de la degradación; el mejor nivel fue el V1 (Volteos cada 8 días), que eleva la temperatura hasta 50.1°C; el nivel V2 (Volteos cada 15 días), eleva la temperatura hasta 46.92°C.

La interacción AxV (Abonera,Volteo), fue estadísticamente significativa en las semanas 2 y 5, estos factores ejercen su influencia en las semanas iniciales del proceso de humificación. De acuerdo al cuadro 16, en la semana 2 la mejor interacción es la A2V2, y en la semana 5 la A1V1.

Cuadro No. 16

DATOS PROMEDIO DE TEMPERATURA DE LA INTERACCION DE LOS FACTORES TIPO DE ABONERA Y VOLTEO DE LA SEMANA 2 Y 5.

INTERACCION	SEMANA 2	SEMANA 5
	T °C	T °C
A1V1	46.08	26.98
A1V2	46.71	28.83
A2V1	48.14	29.46
A2V2	44.23	29.02

La interacción AxF (Abonera-fuente), fue estadísticamente significativa en la semana 8 y 13, produciendo un efecto estadísticamente igual sobre las temperaturas en las demás semanas. Esta interacción ejerció su influencia en la etapa de enfriamiento y maduración del compost. De acuerdo al cuadro 17, las mejores combinaciones en las semanas 8 y 13

son : A1F2 (Montículo, estiércol-pulpa), y A2F1(Zanja, pulpa) respectivamente, con valores más bajos de temperatura.

**Cuadro No.17**

**DATOS PROMEDIO DE TEMPERATURA DE LA INTERACCION DE LOS FACTORES TIPO DE ABONERA-FUENTE DE NITROGENO EN LAS SEMANAS 8 Y 13**

INTERACCION	SEMANA 8	SEMANA 13
	T °C	T °C
A1F1	26.76	25.5
A1F2	26.53	25.72
A2F1	27.22	25.33
A2F2	28.37	26.55

La interacción FxV (Fuente-Volteo) no fué significativa, estadísticamente no ejerció ningún efecto sobre la temperatura.

La interacción AxVxF, fue estadísticamente significativa en la semana 8. De acuerdo al cuadro 18, el tratamiento 1 (Montículo, Pulpa, Volteo cada 8 días) tiene la más baja temperatura en esa semana.

Cuadro No. 18

**DATOS PROMEDIO DE TEMPERATURA DE LA COMBINACION DE LOS  
FACTORES EN LA SEMANA 8.**

INTERACCION	TEMPERATURA (°C)
A1F1V1	26.07
A1F1V2	27.44
A1F2V1	26.59
A1F2V2	26.48
A2F1V1	27.74
A2F1V2	26.7
A2F2V1	27.88
A2F2V2	28.85

Analizando el cuadro 21 y la figura 17, se observa que el proceso inicia a una temperatura de 35°C, elevandose en la primera semana hasta 52°C, descendiendo posteriormente hasta 25°C. El mayor cambio de temperatura se da en la primera semana, la generación de calor es intensa, lo que se traduce en aumento de temperatura y pérdida de humedad, como vapor de agua y gases como CO<sub>2</sub>, productos de la fermentación.

En el cuadro 19 se presenta un resumen de los mejores tratamientos por semana y su temperatura, comparada contra el valor de temperatura ambiente promedio.



Cuadro No. 19

**CUADRO RESUMEN DE LOS MEJORES TRATAMIENTOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA PRUEBA DE t PARA LA TEMPERATURA.**

SEMANA	MEJOR TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	T AMBIENTE PROM. °C
1	T3	51.82	24.44
2	T6	42.09	23.55
5	T3	26.92	24.88
6	T1	26.15	26.11
7	T1	24.77	23.77
8	T1	26.07	22.66
12	T6	25.05	25.11
13	T1	25.88	25.85

### 3.2 Comportamiento del pH en el Proceso de Humificación

De acuerdo al cuadro 23 de análisis de varianza para pH, las semanas 1,3,5,6,7,8,9,10 y 11, fueron estadísticamente significativas para bloques, esto demuestra que la elección del diseño simple fue el adecuado, porque permitió cuantificar el efecto de esta fuente de variación sobre los valores de pH. Por otra parte los tratamientos no fueron estadísticamente significativos en las 13 semanas, ejerciendo todos el mismo efecto, por lo que no se aplicó la prueba de t. De acuerdo a Foth (7), los suelos en las regiones cálidas son más alcalinos.

CUADRO No. 20

ANOVA GENERAL DE LA TEMPERATURA PARA 13 SEMANAS UTILIZANDO 8 TRATAMIENTOS DE COMPOSTEO PARA PRODUCIR ABONO ORGANICO.

F.V.	G.L	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	FC7	FC8	FC9	FC10	FC11	FC12	FC13	FT(5%)
BLOQUES	2	3.5	4.2*	5.9*	9.3*	11.4*	17.6*	5.8*	10*	11.1*	9.9*	10.6*	10.3*	14.2*	3.74
TRATAMIENTOS	7	6.1*	2.8*	2.5	2.6	3*	3.7*	3.2*	4.4*	2.3	1.5	1.4	2.9*	4.8*	2.76
A	1	13.3*	0	11.3*	13*	7*	14.8*	10.5*	13.5*	9.5*	1.7	0	0	3.2	4.6
F	1	8.7*	3.5	2	0.9	3.4	4.7*	2.7	2.2	1.1	1	5.4*	11.6*	15.1*	4.6
V	1	15.6*	3.2	0	2.8	2.1	1.2	0.3	0.9	2.2	3	0.1	0.9	0.8	4.6
AXF	1	3.7	4.4	0	0.3	2.4	1.2	1.4	4.8*	2	0.5	0	2.7	7.3*	4.6
AXV	1	0.9	6.2*	3	1	5.6*	3	3.3	1.1	0.2	0	0	0.3	0.8	4.6
FXV	1	0	1.8	0.4	0.2	0	0	0	0.2	0	0	2	0.3	3.2	4.6
AXFXV	1	0.5	0.4	0.5	0	0	0.7	3.7	7.8*	1.1	4.1	2	4.2	3.2	4.6
ERROR	14														
TOTAL	23														
C.V.%		4.1	4.8	8.5	7.7	4.1	2.8	3.9	2.8	3.4	3.2	1.9	2	1.8	

F.V. = FUENTE DE VARIACION  
 G.L. = GRADOS DE LIBERTAD  
 FC1 = F CALCULADO PARA SEMANA 1  
 C.V.% = COEFICIENTE DE VARIACION EN PORCENTAJE  
 FT = F DE TABLAS AL 5%

CUADRO No. 21

COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO DE DEGRADACION DE COMPOST, UTILIZANDO 8 TRATAMIENTOS PARA PRODUCIR ABONO ORGANICO (°C)

SEMANA	TRATAMIENTO								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T AMB.
0	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	26.66
1	50.54	48.60	51.82	48.95	47.42	42.75	50.62	47.38	24.44
2	47.08	45.92	45.08	47.50	46.66	42.09	49.82	46.38	23.55
3	33.82	36.19	36.08	38.17	41.79	37.63	41.65	41.05	25.62
4	29.96	29.44	30.48	29.63	33.70	31.76	35.88	32.53	25.05
5	27.03	28.62	26.92	29.03	28.66	28.18	30.25	29.85	24.88
6	25.59	26.70	26.15	26.81	27.26	26.74	27.96	28.07	26.11
7	24.77	26.48	25.66	25.96	27.18	25.77	27.48	27.85	23.77
8	26.07	27.44	26.59	26.48	27.74	26.70	27.88	28.85	22.66
9	25.74	26.85	26.02	26.29	26.89	26.92	27.44	28.22	25.33
10	25.74	27.03	26.55	26.44	26.66	26.52	26.53	27.85	25.56
11	25.33	25.80	26.33	25.69	25.63	25.58	26.11	26.05	26.88
12	24.89	25.50	25.55	25.55	25.05	24.61	25.55	26.16	25.11
13	25.00	26.00	25.88	25.55	25.33	25.33	26.55	26.55	25.85

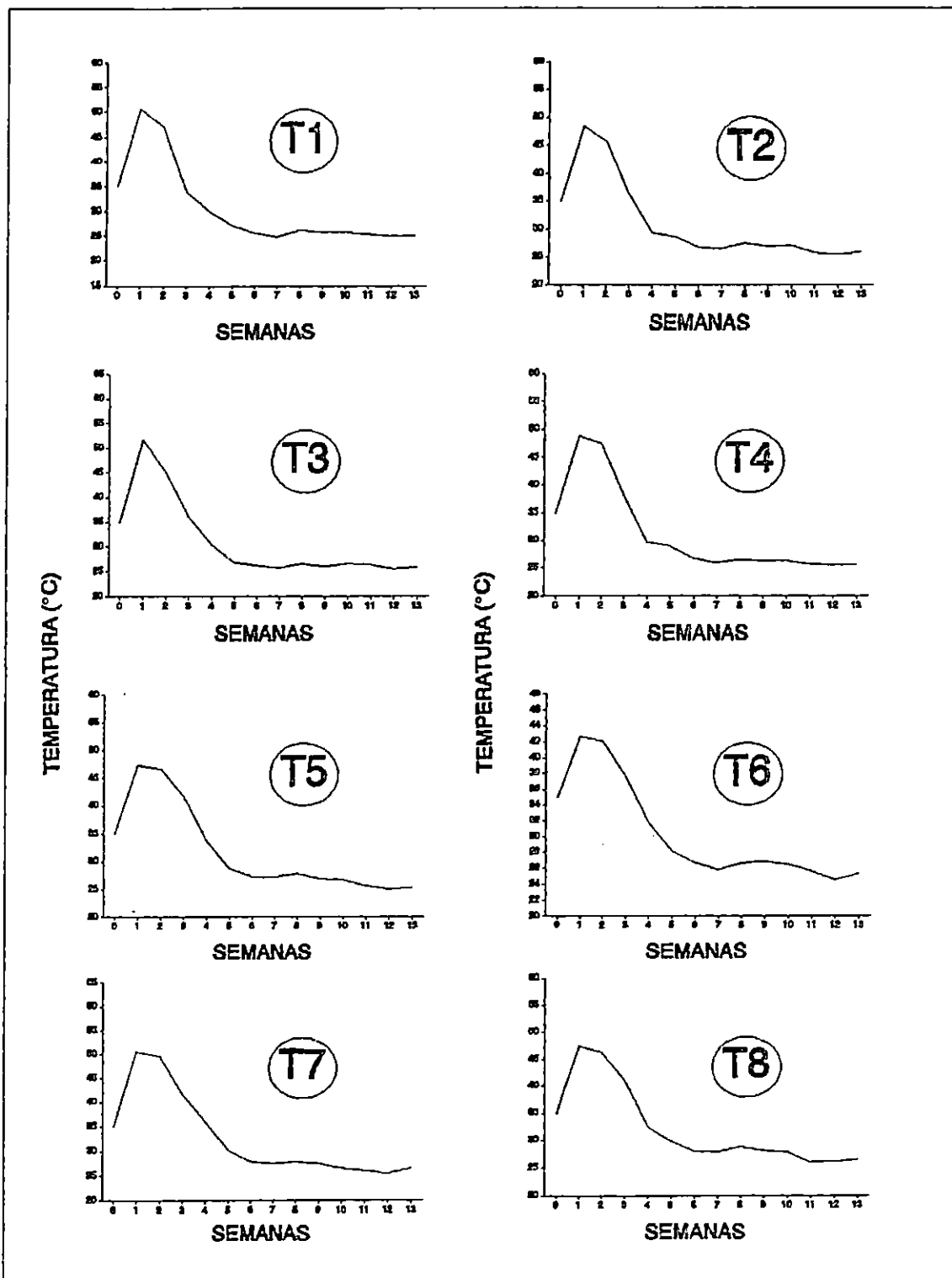


Figura No. 17. Comportamiento de la Temperatura en el Proceso de Degradación de Compost utilizando 8 tratamientos para producir abono orgánico. Donde T1 a T8 indican los tratamientos descritos en la Sección 2.1.4

Tomando en cuenta que un incremento en el pH del suelo va asociado con un aumento de las cantidades de calcio y magnesio, en general el incremento de pH promueve una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Para analizar el pH, se hizo una comparación de promedios de tratamientos, seleccionando como el mejor, aquel que tenga el valor de pH más cercano a 7.

De acuerdo al cuadro 24, en la cuarta semana el tratamiento 1, se acerca más a pH neutro, con un valor de 7.7. En la quinta semana el mejor tratamiento es el 6 con un pH de 6.97. En esta misma semana para temperatura el mejor tratamiento es el 3, teniendo un pH de 8, que puede ser considerado como aceptable en cuanto a temperatura y pH para ser adicionado a un suelo, aunque es necesario definir características como C/N, para llegar a esta decisión.

En el cuadro 22 se resumen los tratamientos que más se acercan a pH 7.

Cuadro No. 22

TRATAMIENTOS QUE MAS SE ACERCAN A pH 7 DURANTE LA ETAPA EXPERIMENTAL.

SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MEJOR TRATAMIENTO	T1,T3	T7	T8	T1	T6	T6	T6	T2	T5	T6	T5	T	T8
VALOR DE pH	7	8.6	8.3	8.77	6.97	6.9	6.97	7.05	7	6.87	7	6.97, 7.03	7

Comparando la figura 17 con la figura 18, puede observarse que existe una relación entre la temperatura y el pH, ya que al incrementarse la temperatura se incrementa el pH, y al descender aquella se estabiliza el pH.

El pH es una variable muy importante durante el proceso de humificación, porque este es un indicador al igual que la temperatura, de las etapas por las que éste transcurre.

De acuerdo a la figura 18, el proceso de degradación del compost se inicia a pH ácido, en la segunda semana se vuelve alcalino llegando a pH 9, para luego descender hasta llegar a pH 7, entre la quinta y treceava semana.

CUADRO No. 23

ANOVA GENERAL DE pH PARA 13 SEMANAS UTILIZANDO 8 TRATAMIENTOS DE COMPOSTEO PARA PRODUCIR ABONO ORGANICO

F.V.	G.L	FC1	FC2	FC3	FC4
BLOQUES	2	10.1*	3.2	6.8*	2
TRATAMIENTOS	7	0.2	0.3	2.3	1.2
ERROR	14				
TOTAL	23				
C.V.%		15.9	5.6	4.3	4.8

F.V. = FUENTE DE VARIACION  
 G.L. = GRADOS DE LIBERTAD  
 FC1 = F CALCULADO PARA SEMANA 1  
 CV% = COEFICIENTE DE VARIACION EN PORCENTAJE

CUADRO No. 24

COMPORTAMIENTO DEL pH DURANTE EL PROCESO DE DEGRADACION DE COMPOST, UTILIZANDO 8 TRATAMIENTOS PARA PRODUCIR ABONO ORGANICO

SEMANA	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO	PROMEDIO
0	4.40	4.40	5.10	5.10	4.40	4.40	5.10	5.10
1	7.00	6.77	0.00	6.70	7.33	7.13	6.77	6.53
2	8.87	8.97	8.97	9.10	8.97	8.80	8.60	8.70
3	8.67	8.87	8.23	8.63	9.07	8.33	8.43	8.13
4	7.77	8.40	8.10	8.33	8.23	7.80	7.83	8.13
5	7.50	7.67	8.00	8.10	7.80	6.97	7.97	7.73
6	7.53	7.73	7.87	8.07	7.60	6.90	7.87	7.73
7	7.20	7.53	7.73	7.83	7.57	6.97	7.73	7.63
8	6.93	7.05	7.50	7.57	7.07	6.50	7.30	7.20
9	6.73	7.10	7.30	7.47	7.00	6.30	7.17	7.10
10	7.30	7.60	7.80	7.73	7.57	6.87	7.60	7.94
11	6.70	7.03	7.33	7.37	7.00	6.40	7.17	7.03
12	6.63	6.97	7.23	7.27	7.07	6.57	7.10	7.03
13	6.63	6.90	7.17	7.10	6.97	6.53	7.03	7.00



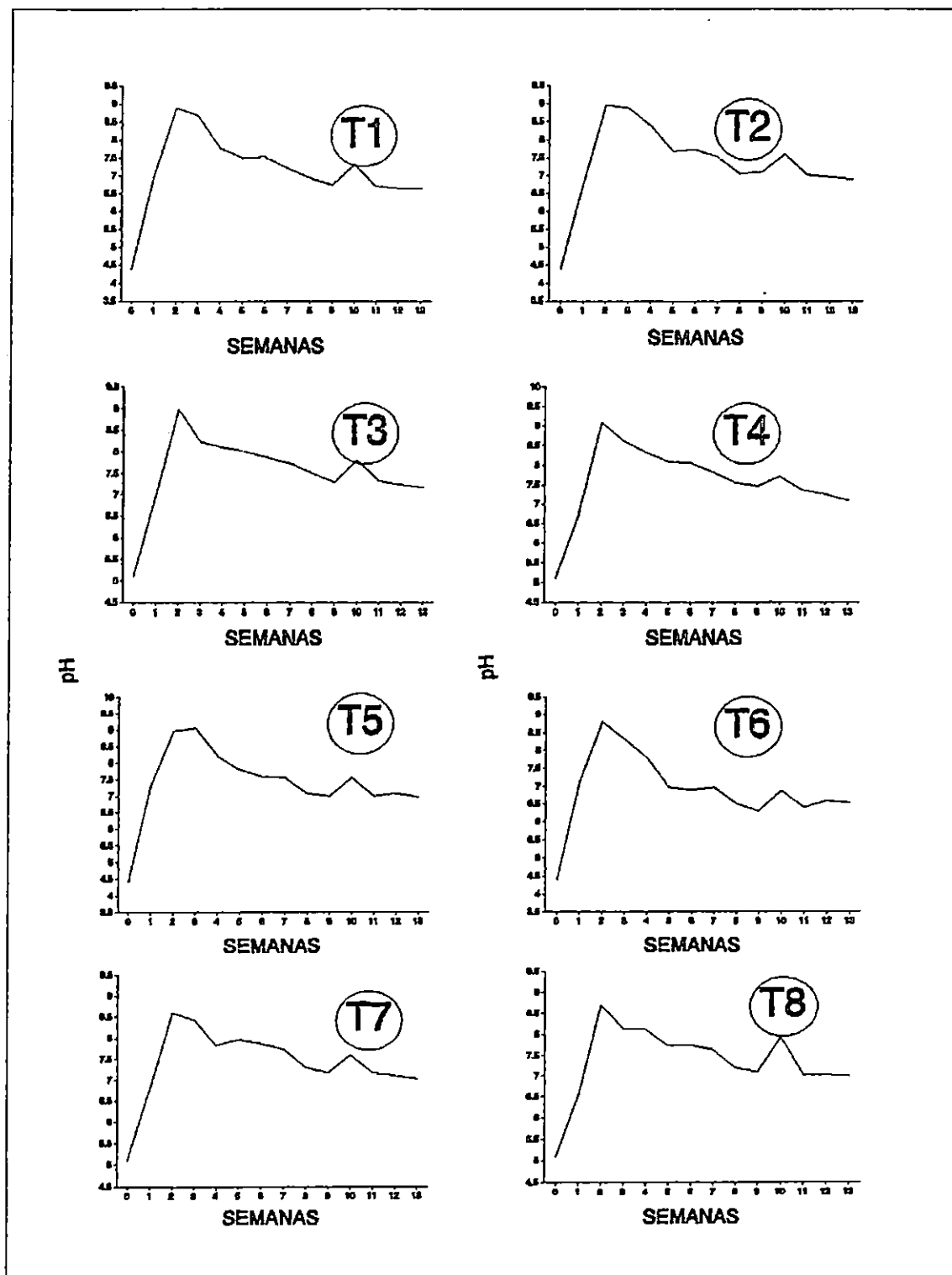


Figura No. 18. Comportamiento del pH en el Proceso de Degradación de Compost Utilizando 8 Tratamientos para Producir Abono Orgánico. Donde T1 a T8 indican los tratamientos descritos en la Sección 2.1.4

### 3.3 Contenido de Humedad (%)

De acuerdo al cuadro 25 de análisis de varianza, los bloques no ejercieron un efecto estadísticamente significativo sobre la variable humedad, durante la etapa experimental. Los tratamientos ejercieron un efecto estadísticamente significativo con un 95% de probabilidad únicamente en la semana 13, la prueba utilizada fue la prueba de Tukey, (Anexo B1) ya que para la prueba de t es necesario contar con un valor óptimo promedio de Humedad y su desviación estandar. De acuerdo a la prueba de Tukey el mejor tratamiento es T6 (zanja, pulpa, volteo c/15 días) debido a que estadísticamente tiene el valor más alto de humedad (32.68%) (ver cuadro 26).

El cuadro 26 y la figura 19 muestra que los valores iniciales de humedad para tratamiento con pulpa (F1) (T1, T2, T5 y T6), mezcla pulpa-estiércol (F2) (T3, T4, T7 y T8) fueron de 49.65 y 42.44% respectivamente.

CUADRO No. 25

ANVA GENERAL DE LA HUMEDAD PARA 13 SEMANAS UTILIZANDO 8 TRATAMIENTOS DE COMPOSTEO PARA PRODUCIR ABONO ORGANICO

F.V.	G.L	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	FC7	FC8	FC9	FC10	FC11	FC12	FC13	FT(5%)
BLOQUES	2	0.3	2.1	1	0.2	0.4	0.5	1.4	1.5	0.2	1.3	2.7	1.5	2.3	3.74
TRATAMIENTOS	7	0.7	1.2	0.9	1.6	0.8	1	1.7	1.4	1.3	1.6	1.3	2.3	5.7*	2.76
A	1	0.5	0	0	1.8	0.6	0.9	5.1*	3.9	3.1	7.5*	3.7	14.9*	34.5*	4.6
F	1	0.3	0	3.6	2.6	0.4	1.1	0	0	0.1	0	1	0.2	1.3	4.6
V	1	0	0.9	0.2	1	0.3	2	3.7	5.7*	3.2	2.4	0.8	0	2.2	4.6
AXF	1	1.9	2.5	0	0	1.3	1	0.5	0	1.4	0.6	0.4	0	0.3	4.6
AXV	1	0	0.5	1.5	3.7	0.7	0.5	0.3	0.3	0	0	0.5	0.2	0	4.6
FXV	1	1.6	4.1	0	0.1	0.4	0.1	0	0	0	0.6	0	0.3	0	4.6
AXFXV	1	0.2	0.6	0.7	1.9	1.6	1.2	2	0	1.5	0	2.9	0.5	1.6	4.6
ERROR	14														
TOTAL	23														
C.V.%		20.3	23.4	22.5	18.6	26.9	21.4	21.4	24.4	26.4	22.6	35.2	25.5	17.8	

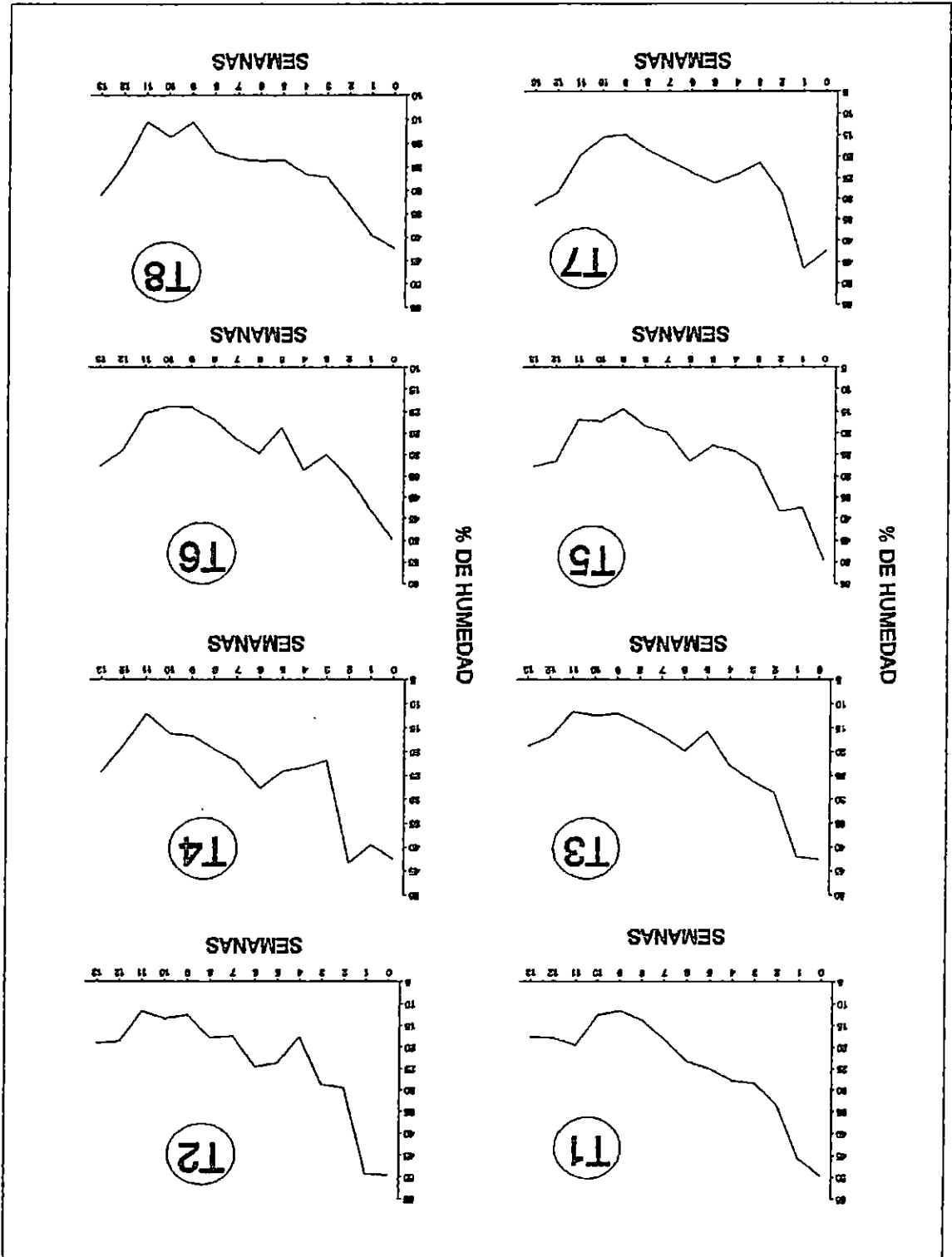
F.V. = FUENTE DE VARIACION  
 G.L. = GRADOS DE LIBERTAD  
 FC1 = F CALCULADO PARA SEMANA 1  
 C.V.% = COEFICIENTE DE VARIACION EN PORCENTAJE  
 FT(5%)= F DE TABLAS AL 5%

CUADRO No. 26

COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD (%) DURANTE EL PROCESO DE DEGRADACION DE COMPOST, UTILIZANDO 8 TRATAMIENTOS PARA PRODUCIR ABONO ORGANICO

SEI	TRATAMIENTOS							
	T1 PROM	T2 PROM.	T3 PROM.	T4 PROM.	T5 PROM.	T6 PROM.	T7 PROM.	T8 PROM.
0	49.65	49.65	42.44	42.44	49.65	49.65	42.44	42.44
1	45.80	49.44	41.89	39.58	37.28	42.85	46.42	39.72
2	33.40	29.57	28.82	43.25	38.25	35.26	28.57	33.50
3	28.36	28.82	26.18	21.89	27.80	30.07	21.32	27.08
4	27.85	17.67	23.02	23.28	24.37	33.56	24.16	26.53
5	25.03	23.73	15.77	24.00	23.06	23.80	26.09	23.53
6	23.23	24.61	19.83	27.66	26.56	29.78	23.70	23.72
7	18.05	17.47	16.73	22.14	19.84	26.51	21.03	23.32
8	13.71	18.88	14.15	19.61	18.42	21.97	18.52	21.82
9	11.45	12.48	11.95	16.77	14.26	18.95	14.93	15.63
10	12.60	13.47	12.45	16.10	17.38	18.76	15.60	18.71
11	19.51	11.71	11.63	12.14	17.02	20.19	19.71	15.58
12	17.90	18.74	16.96	18.65	26.77	28.88	28.37	24.48
13	17.64	19.04	18.86	24.11	27.81	32.68	31.51	30.99

Figura No. 19. Comportamiento de la Humedad en el Proceso de Degradación de Compost Utilizando 8 Tratamientos para Producir Abono Orgánico. Donde T1 a T8 indican los Tratamientos Descritos en la Sección 2.1.4.



En la segunda semana disminuyó hasta niveles entre 30 y 40%. Después de la tercera semana la humedad bajó de 30% y se mantuvo así hasta la doceava semana en donde se incrementó nuevamente, hasta niveles del 30%. De acuerdo a ICAITI (10) el rango de humedad que debe mantenerse es entre 30 y 60%. La humedad no se mantuvo en los valores óptimos, aunque se adicionó agua a los tratamientos durante los volteos. El método empírico no es muy adecuado para controlar la humedad. En la literatura no se encuentran datos sobre las cantidades de agua a adicionar, por lo que estos factores incidieron en que no se manejara adecuadamente la humedad. Tomando en cuenta que para la temperatura el mejor tratamiento fue T3, en la semana 5, su contenido de humedad fue de 15.77.

### **3.4 Contenido de Cenizas**

De acuerdo al cuadro 28 de análisis de varianza, el efecto de los bloques no fué significativo sobre el contenido de cenizas durante la etapa experimental. Por otra parte, los tratamientos ejercieron un efecto estadísticamente igual sobre el contenido de cenizas. Para analizar los datos se compararon las medias de porcentaje de cenizas para cada semana, se colocaron los mejores tratamientos en el cuadro 27.

CUADRO No. 27

TRATAMIENTOS CON MAS ALTO CONTENIDO DE CENIZAS DURANTE EL PROCESO DE MINERALIZACION.

SEMANA	0	4	7	10	13
MEJOR TRATAMIENTO	T1,T2,T5,T6	T2	T5	T5	T5
%CENIZAS	61.25	82.44	84.54	84.88	85.87

Retomando el mejor tratamiento para la variable temperatura, este fue T3 en la quinta semana, el contenido de cenizas para este tratamiento en la séptima semana fue de 82.04%, encontrándose entre los cuatro tratamientos que tienen más alto contenido de cenizas (Ver cuadro 29).

De acuerdo al cuadro 29 y la figura 20, los tratamientos T3,T4,T7 y T8 produjeron la más alta conversión de materia orgánica a cenizas, partiendo de 10.91% y finalizando con valores de 82%, estos tratamientos contenían pulpa y estiércol como fuente de nitrógeno; comparados con los tratamientos T1,T2,T5 y T6, que partieron de 61.25% de cenizas y llegaron hasta valores de 85% de cenizas, produciendo la menor conversión de materia orgánica.

CUADRO No. 28

ANOVA GENERAL PARA LAS SEMANAS 4,7,10 Y 13 UTILIZANDO 8 TRATAMIENTOS DE COMPOSTEO PARA PRODUCIR ABONO ORGANICO

F.V.	G.L	FC4	FC7	FC10	FC13	F TABLAS(5%)
BLOQUES	2	0.4	1.2	0	0.1	3.74
TRATAMI	7	0.9	1.8	1.8	1.6	2.76
A	1	0	0.4	4.8*	3.9	4.6
F	1	4.9*	2.6	4.2	1	4.6
V	1	0	0.3	1.4	0.6	4.6
AXF	1	0.2	0.3	0.4	1.2	4.6
AXV	1	0.2	0.5	0.2	1.3	4.6
FXV	1	1	0.2	1.2	1.2	4.6
AXFXV	1	0	8.6*	0.7	2.2	4.6
ERROR	14					
TOTAL	23					
C.V.%		5.7	3.9	4.3	4.6	

F.V= FUENTE DE VARIACION

G.L.= GRADOS DE LIBERTAD

FC1= F CALCULADO PARA SEMANA 1

C.V.%= COEFICIENTE DE VARIACION EN PORCENTAJE

CUADRO No. 29

COMPORTAMIENTO DE LAS CENIZAS DURANTE EL PROCESO DE DEGRADACION COMPOST UTILIZANDO 8 TRATAMIENTOS PARA PRODUCIR ABONO ORGANICO

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Sem.	Prom.	Prom.	Prom.	Prom.	Prom.	Prom.	Prom.	Prom.
0	61.25	61.25	10.91	10.91	61.25	61.25	10.91	10.91
4	80.94	84.22	78.40	77.10	87.76	82.42	79.81	77.67
7	80.17	83.14	82.04	78.59	84.54	81.84	77.43	83.38
10	80.49	80.89	81.19	76.10	84.88	84.33	81.55	80.21
13	77.16	84.02	81.17	80.18	85.87	84.75	82.02	82.08

T1= TRATAMIENTO 1

PROM. = PROMEDIO DEL TRATAMIENTO 1



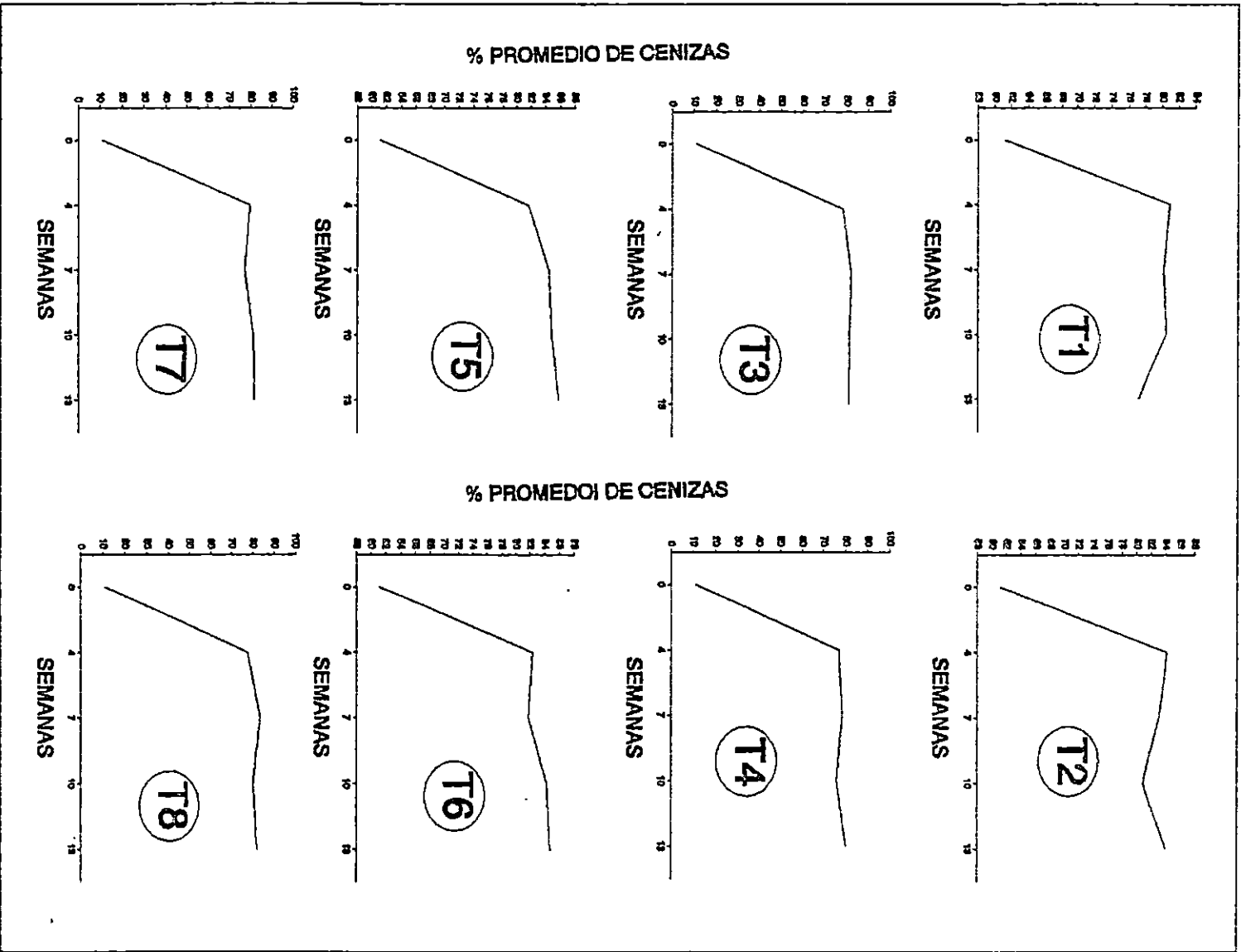
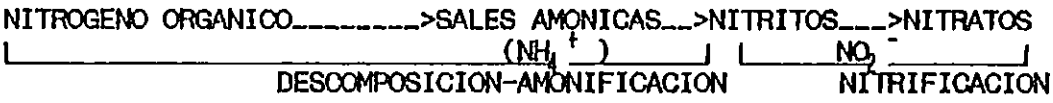


Figura No. 20. Comportamiento de las Cenizas en el Proceso de Degradación de Compost Utilizando 8 Tratamientos para Producir Abono Orgánico. Donde T1 a T8 indican los Tratamientos Descritos en la Sección 2.1.4.

### 3.5 Contenido de Nitrógeno (%)

Como puede observarse en el cuadro 30 la tendencia general de respuesta en el contenido de nitrógeno de diferentes tratamientos, es a disminuir respecto al contenido de este elemento en la mezcla inicial la cual es de 1.10% para la mezcla solo pulpa y de 1.25% para la mezcla de pulpa con estiércol bovino. La tendencia a disminuir es debido a la liberación del nitrógeno en forma de amoníaco. Esto se percibió con gran intensidad durante las primeras tres semanas de iniciado el proceso, generado principalmente de la pulpa fresca ya que esta produce un fuerte olor irritante característico del amoníaco. Esta descomposición de la materia orgánica y la consecuente producción de nitrógeno obedece a un proceso bioquímico complejo y va acompañada de la formación de gran cantidad de anhídrido carbónico, tal transformación es debida a la acción de bacterias y los productos amónicos resultantes son oxidados por grupos determinados de bacterias (nitrissomonas y nitrobacter) pasando a nitrato a través, de una forma de nitrito.

La mayor parte del nitrógeno utilizado por las plantas superiores es absorbido en forma amónica y de nitratos. Las transformaciones pueden ser representadas por el siguiente esquema:



Los procesos enzimáticos son afectados por la humedad, temperatura, aireación y por el calcio asimilable. En general las vigorosas reacciones de transformación coinciden con la elevación de la temperatura junto con el incremento del pH (ver figura 17 y 18), por lo tanto se obtuvo la esperada caída en el contenido de nitrógeno por pérdidas en forma amoniacal, como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 30

CONTENIDO PROMEDIO DE NITROGENO (%) DE LA SEMANA 0 Y SEMANA 13.

SEMANA	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	1.10	1.10	1.25	1.25	1.10	1.10	1.25	1.25
13	0.56	0.70	0.79	0.74	0.62	0.57	0.62	0.67

De acuerdo con resultados de análisis estadísticos no existen significancia entre los diferentes tratamientos. Lo cual demuestra un similar comportamiento de respuesta al contenido de nitrógeno de los factores y niveles ensayados (ver cuadro 31 de análisis de ANOVA para nitrógeno), sin embargo, se evidencia un dominio de los valores para la mezcla, pulpa-estiércol sobre los tratamientos con sólo pulpa.

Cuadro No. 31

## ANALISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO NITROGENO

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C	F.T 5%
BLOQUES	2	0.11	0.055	1.57 <sup>N.S.</sup>	3.74
TRATAMIENTOS	7	0.14	0.02	0.57 <sup>N.S.</sup>	2.76
A	1	0.03	0.03	0.857 <sup>N.S.</sup>	4.6
F	1	0.05	0.05	1.428 <sup>N.S.</sup>	4.6
V	1	0.0	0.0	0.0	4.6
AxF	1	0.01	0.01	0.285 <sup>N.S.</sup>	4.6
AxV	1	0.01	0.01	0.285 <sup>N.S.</sup>	4.6
FxV	1	0.0	0.0	0.0	4.6
AxFxV	1	0.04	0.04	1.142 <sup>N.S.</sup>	4.6
ERROR	14	0.5	0.035		
TOTAL	23				

F.V.= Fuente de Variación  
 G.L.= Grados de Libertad  
 F.C.= F calculada  
 N.S.= No significativo

S.C.= Suma de Cuadrados  
 C.M.= Cuadrado Medio  
 F.T.= F de Tabla al 5%

## 3.6 Análisis de la Relación C/N

La relación C/N está entre los factores de mayor interés en la descomposición de la materia orgánica. Si el contenido de nitrógeno en la materia orgánica en descomposición es bajo, los microorganismos lo tomarán del suelo, privando a las plantas de dicho elemento.

En el análisis del abono la relación C/N es un indicador del grado de maduración de este, ya que las relaciones mayores que 15, presentan un grado de madurez más bajo o fresco, y las relaciones menores que 15 son clasificadas como maduras, siendo este más valioso, por que al ser aplicado al suelo no causará efectos negativos en los requerimientos nutritivos de las plantas.

Cuando las relaciones son mayores de 30, la inmovilización excede a la mineralización del nitrógeno, en el rango de 15 a 30 la inmovilización y la mineralización son casi iguales; para proporciones menores que 15, la mineralización excede a la inmovilización como el caso del humus del suelo. De acuerdo con la bibliografía y con la evidencia estadística que se observa en el cuadro 32, no existe una diferencia significativa del efecto de bloques o entre tratamientos, por lo que estos se comportaron de igual manera a la manipulación de los factores, resultando de igual calidad el abono obtenido al final de los 90 días. Por lo que comparando las medias de los tratamientos (Cuadro 33) se puede afirmar que los compost frescos se obtuvieron en los tratamientos que presentan C/N mayor que 15, entre los cuales están en orden ascendente los tratamientos T7, T3 y T1; resultando maduros los abonos de los tratamientos T5, T2, T6, T8 y T4.

**CUADRO No. 32**  
**ANALISIS DE VARIANZA PARA C/N**

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.5%
BLOQUES	2	73.02	36.51	0.92 <sup>N.S.</sup>	3.74
TRATAMIENTOS	7	510.41	72.92	1.83 <sup>N.S.</sup>	2.76

**CUADRO No. 33**  
**VALORES PROMEDIO DE C/N**

SEMANAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	19.57	19.57	19.43	19.43	19.57	19.57	19.43	19.43
13	26.29	14.02	19.45	15.89	12.75	14.65	16.84	15.75

### 3.7 Contenido de Fósforo (%)

Las plantas absorben el fósforo en forma de ácido fosfórico, el cual es utilizado como una fuente de energía muy importante en todos los procesos bioquímicos. El fósforo es relativamente estable en los suelos. No presenta compuestos inorgánicos como los nitrogenados que pueden ser volatilizados y lixiviados. Su estabilidad resulta de una baja solubilidad, por lo que a veces causa deficiencias en la disponibilidad para las plantas (6).

El contenido de fósforo se analizó en la semana cero y

en la semana 13. De acuerdo al cuadro 34 puede observarse que el contenido de fósforo no tuvo una variación significativa durante el proceso, ya que presenta niveles similares al inicio y al final, lo que concuerda con lo antes expuesto.

Cuadro No. 34

**CONTENIDO DE FOSFORO (%) DE 8 TRATAMIENTOS  
PARA PRODUCIR ABONO ORGANICO**

SEMANAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	0.106	0.106	0.176	0.176	0.176	0.106	0.176	0.176
13	0.104	0.102	0.144	0.15	0.11	0.103	0.148	0.149

T1 Tratamiento 1

En el cuadro 35 de ANOVA general para fósforo en la semana 13 se observa, que los bloques no fueron estadísticamente significativos, por lo que ejercieron el mismo efecto sobre los tratamientos. Sin embargo los tratamientos sí fueron altamente significativos, influyendo sobre el contenido del fósforo.

Aplicando la prueba estadística de Tukey a los datos de la semana 13 se obtienen los resultados que se muestran en el anexo B1. De acuerdo a estos resultados los mejores tratamientos son T4, T8, T7 y T3 porque presentan el mismo grado de significación estadística, por lo tanto los cuatro son los mejores. La característica común de los cuatro es que

contienen como fuente de Nitrógeno pulpa y estiércol, lo que incrementa el contenido de fósforo, de acuerdo a los resultados

El factor fuente de nitrógeno (F), fué el único que resultó estadísticamente significativo. El mejor nivel fue F2 (pulpa-estiércol) produciendo los contenidos más altos de fósforo en los tratamientos.

Cuadro No. 35

## ANALISIS DE VARIANZA PARA FOSFORO SEMANA 13

F.V.	G.L.	F.C.	F.T.5%
BLOQUES	2	0.1	3.74
TRATAMIENTOS	7	15.1*	2.76
A	1	0.4	4.6
F	1	101.6*	4.6
V	1	0	4.6
AxF	1	0	4.6
AxV	1	0.4	4.6
FxV	1	0.8	4.6
AxFxV	1	0	4.6
ERROR	14		
TOTAL	23		
C.V.%		8.2	

F.V. = FUENTE DE VARIACION

G.L. = GRADOS DE LIBERTAD

F.C. = F CALCULADO

C.V.% = COEFICIENTE DE VARIACION EN PORCENTAJE



### 3.8 Contenido de Potasio (%)

De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro No. 36) los bloques y los tratamientos no fueron estadísticamente significativos. Los valores iniciales de potasio en la semana 0, son de 0.95% para los tratamientos con pulpa, de 1.06 % para los que contienen pulpa-estiércol. Para su análisis, en la semana 13 se compararon los promedios de los tratamientos. De acuerdo al cuadro 37, se observa que los porcentajes han disminuido; esto concuerda con la información bibliográfica; tienden a disminuir por pérdidas debidas a la lixiviación. Es un compuesto vital para las plantas que se encuentra en forma de iones, su falta reduce el contenido de almidón y azúcares. El tratamiento T4, es el que presenta el valor más alto de potasio, con el valor de 0.546%.

Cuadro No. 36

#### ANALISIS DE VARIANZA PARA POTASIO

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T.5%
BLOQUES	2	0	0.0	0 <sup>H.S.</sup>	3.74
TRATAMIENTOS	7	0.04	0.005	1.0 <sup>H.S.</sup>	2.76
ERROR EXPERIMENTAL	14	0.08	0.005		
TOTAL	23				

Cuadro No. 37

**CONTENIDO DE POTASIO (%) DE 8 TRATAMIENTOS PARA  
PRODUCIR ABONO ORGANICO.**

SEMANAS	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
S 0	0.95	0.95	1.06	1.06	0.95	0.95	1.06	1.06
S 13	0.416	0.476	0.523	0.546	0.46	0.41	0.453	0.493

**3.9 Contenido Porcentual de Elementos Menores en los  
Tratamientos.**

Haciendo un análisis de los resultados a la semana cero y la semana 13, los cuales se han tabulado en el anexo A5.; se puede observar que las concentraciones de estos elementos varían muy poco dentro de rangos muy pequeños, como por ejemplo el magnesio que varía entre 0.24% y 0.236 %, esto significa que son elementos muy poco móviles. Entre los que varían en rangos mayores están el azufre, entre 0.346 % y 0.435 %.

**3.10 Características Físicas del Abono Orgánico Producido**

Las características que se evaluaron fueron densidad aparente y densidad empacada para 8 tratamientos. El método que se empleó fue el del cubo con volumen constante, al cual se le midió su volumen en  $\text{cm}^3$  y su peso en gramos. (1576  $\text{cm}^3$  y 356 gramos respectivamente).

Para evaluar la densidad aireada se dejó caer desde una altura determinada la muestra hasta llenar completamente el cubo, y se obtuvo su peso restandole el peso del cubo y obteniendo solo el peso del compost; por fórmula de densidad que es masa sobre volúmen, se obtuvo la densidad aireada para cada tratamiento. En forma similar se obtuvo la densidad empacada a la cual se le realizó una vibración de 5 minutos para que el material se compactará, durante ese tiempo se le adicionó compost hasta llenarlo nuevamente; se pesó y se destaró, evaluando su valor de densidad empacada que se observa en el cuadro 38.

El compost al final del proceso fermentativo era de un color oscuro y olor a tierra, esto debido a la presencia de sustancias húmicas.

Cuadro No. 38

DENSIDAD AIREADA Y EMPACADA DE 8 TRATAMIENTOS PARA PRODUCIR ABONO ORGANICO

TRATAMIENTO	DENSIDAD AIREADA gr/cm <sup>3</sup>	DENSIDAD EMPACADA gr/cm <sup>3</sup>
T1	0.31	0.32
T2	0.32	0.33
T3	0.38	0.42
T4	0.33	0.42
T5	0.28	0.32
T6	0.23	0.24
T7	0.25	0.28
T8	0.22	0.26

### 3.11 Análisis General de los Resultados

De acuerdo a los análisis estadísticos las variables que fueron influenciadas por los tratamientos fueron en primer lugar la temperatura ya que permitió determinar el efecto de la mayoría de las fuentes de variación, y en segundo lugar está la humedad y el contenido de fósforo.

Analizando la temperatura, el mejor de los tratamientos fué el de montículo, pulpa-estiercol, volteo cada 8 días (T3) ya que estabilizó la temperatura del compost en 5 semanas, siendo el menor tiempo de todos los tratamientos. El factor de mayor importancia para la temperatura fue el de tipo abonera (A), resultando ser el mejor nivel del factor de abonera de tipo Montículo.

El mejor nivel de factor fuente de Nitrógeno fue la pulpa de café y para el factor volteos el mejor nivel fue volteos cada 8 días, el cual produjo sus efectos en las primeras semanas de la degradación.

Para la humedad el mejor tratamiento fué, zanja, pulpa, volteos cada 15 días (T6) ya que de acuerdo a la prueba de Tukey tiene el más alto contenido de humedad.

Los mejores tratamientos para el contenido de fósforo fueron aquellos que contenían estiércol (T3, T4, T7, y T8), ya que produjeron los más altos contenidos de este elemento.

Para las otras variables respuestas no se pueden determinar los mejores tratamientos debido a que estadísticamente ejercieron el mismo efecto. Esto quiere decir que no se puede concluir a partir de los valores numéricos obtenidos para estas variables.

#### 4.0 ESTUDIO ECONÓMICO

##### 4.1 Análisis Económico

El análisis Económico presentado obedece al desarrollo del plan de Estudio Económico planteado a partir de la consideración de dos grandes aspectos: El análisis económico propiamente dicho y el análisis socio-económico. El análisis económico comprende el desarrollo del presupuesto parcial que es una técnica recomendada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo de México, (CIMMYT). Aplicado en investigaciones agropecuarios (21).

Esta técnica comprende la determinación de una serie de elementos de tipo económico los cuales se enumeran y detallan más adelante. Debido a que lo importante son la diferencias entre los tratamientos, más que los valores absolutos, esta técnica utiliza únicamente la evaluación de los costos que varíen, sin considerar todos los costos de producción ya que los costos que no varíen no afectan el cálculo de la tasa de retorno marginal y la consecuente conclusión en relación a los resultados obtenidos de los diferentes tratamientos.

En el cuadro No. 45 se presenta el costo total de producción de los tratamientos donde se incluyen las diferencias medias entre los costos de los factores y sus respectivos niveles, donde se puede observar que al aumentar el número de niveles. Así aumentan los costos de producción promedio.

El análisis socio-económico considera los aspectos que comprenden los beneficios tanto para el agricultor como para el medio ambiente y la sociedad en general, obtenidos tanto de la aplicación de la técnica del composteo y la utilización del abono orgánico como fertilizante, descontaminante y mejorador de la estructura del suelo.

La evaluación económica tiene por objetivos presentar el costo y beneficios de los sistemas construidos a partir del análisis de los rendimientos de cada uno de los tratamientos ensayados, los costos y los beneficios por metro cúbico de abonos, producidos, analizados a partir del planteamiento del presupuesto parcial, su análisis de dominancia marginal. Y el análisis de sensibilidad para el análisis marginal se consideraron precios alternativos del abono y de los elementos nutrientes del fertilizante 16-20-0 y sulfato de amonio.

El análisis de rendimiento en nutrientes del abono se ha realizado en base a la capacidad de respuesta, en el rendimiento de la producción de las variables experimentales.

El análisis marginal que se presenta en este trabajo es útil solo cuando se aplica a ensayos en fincas con las características de encontrarse en una zona cercana a una central de beneficiado de café, con niveles de las variables no controlables representativas de las prácticas de los agricultores. Y con características del suelo similares a los reportados en la localización para este ensayo.

Para el análisis de la evaluación económico se ha tomado en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Estimación de los rendimiento medios
- b) Estimación de los rendimiento ajustados
- c) Estimación de los costos que varían
- d) Estimación de los beneficios brutos
- e) Estimación de los beneficios netos
- f) Análisis de dominancia
- g) Estimación de la tasa mínima de retorno
- h) Análisis marginal
- i) Análisis de sensibilidad.



A continuación se detallan el significado de cada uno de ellos:

**a) Estimación de los Rendimiento Medios.**

Se examinan los resultados del ensayo en cuanto al rendimiento en la producción del compost en libras por metro cúbico, para cada tratamiento junto con sus repeticiones, obteniendo de ellos el rendimiento promedio a fin de elaborar el presupuesto parcial.

**b) Estimación del rendimiento Ajustado.**

Es el rendimiento medio reducido en cierto porcentaje con el fin de reflejar la diferencia entre el rendimiento experimental y el que el agricultor podría lograr con ese tratamiento debido al manejo, tamaño de abonera y/o diferencias respecto a la época de elaboración. En el presente trabajo, se ha considerado adecuado un ajuste del 5% ya que se estima que los tratamientos aplicados en los ensayos eran más precisos que los que aplicaría el agricultor.

**c) Estimación del Total de Costos que Varíen.**

Aquí se identifican los insumos que varían con cada tratamiento del ensayo; cambios en la mano de obra y

materia prima calculando los costos que varían por metro cúbico de productos obtenidos y se suman los totales de los costos que varíen para cada tratamiento.

**d) Estimación de los Beneficios Brutos del Abono.**

Es la estimación del precio del abono que recibe el agricultor, basado en el precio de venta del material, aunque el agricultor lo produzca para auto consumo o no produzca lo suficiente para venderlo. En el presente trabajo se ha hecho una primera estimación tomando como base el precio de 1.25 colones por libra de abono orgánico cotizado en el jardín botánico "La Laguna". Tomando como alternativa el precio de costo, ajustado por el factor de rentabilidad fijado por el Banco Central de Reserva y por otra parte, tomando como base en el campo del fertilizante formulado conocido como 16-20-0 y sulfato de amonio, y las cantidades requeridas, de los elementos nutricionales para las plantas, en una fase preliminar de fertilización.

**e) Estimación de los Beneficios Netos.**

Aquí se enumeran los costos que varían y se calculan los totales para cada tratamiento. Calculando los beneficios netos para cada tratamiento; restando el total de los costos que varían del Beneficio bruto.

f) **Análisis de Dominancia.**

Los tratamientos se ordenan en una escala ascendente de los totales de los costos que varíen, con los beneficios netos correspondientes. Se eliminan los tratamientos dominados.

g) **Estimación de la Tasa de retorno mínima Aceptable.**

Tanto las experiencias como la evidencia empírica han demostrado que en la mayoría de las situaciones, la tasa de retorno mínima aceptable para el agricultor se sitúa entre el 50 y 100%. En el presente trabajo se ha adoptado una tasa mínima aceptable cercana al 100% ya que se trata de recomendar una práctica nueva para el agricultor.

h) **Análisis Marginal.**

Es el procedimiento mediante el cual se calcula las tasas de retorno marginales entre los tratamientos no dominados (comenzando con el tratamiento de menor costo y procediendo paso a paso al que le sigue en escala ascendente y se comparan con las tasas de retorno mínima aceptable para el agricultor a fin de escoger los tratamientos aceptable y de ellos, el mejor. Los resultados del análisis marginal se presenta en una curva de beneficios netos Vrs. total de costos que varíen.

En el desembolso necesario para realizar la construcción y puesta en marcha del proceso se han considerado los siguientes costos que varían:

1. Mano de obra de construcción y volteos
2. Herramientas
3. Materia prima.

i) **Depreciación de herramientas.**

Es la disminución del valor de los implementos de acuerdo a la estimación de su vida útil y se ha considerado dentro de los costos que varíen para poder recuperar el capital cargando su costo al costo de la producción de un volumen unitario de abono orgánico. Para el presente trabajo se ha estimado una vida útil de dos años. (22)

#### **4.2 Análisis Socio-Económico.**

Este análisis comprende la consideración de los aspectos de tipo socio-económico y ecológico de la implementación de la tecnología de fabricación de compost por medio de la construcción de aboneras apilando desechos agro-industriales.

La evaluación de los diferentes aspectos responde a un igual porcentaje de participación en la nota social ya que todos tienen un alto nivel de importancia.

Los aspectos relacionados con los efectos directos tales como la generación en empleos en épocas de menor actividad agrícola, especialmente después de pasado el período de Beneficiado de café, coloca a la tecnología del composteo en una posición alta dentro de una escala de importancia practica para el agricultor.

La participación de la tecnología del composteo dentro de la esfera de la actividad económica, por medio del intercambio de bienes de valor económico como son: El abono, la mano de obra, costos de herramientas y materia prima genera un elemento de bienestar social ya que representa un medio de producción mediante el cual el agricultor puede obtener dinero para comprar los alimentos y obtener además utilidad económica en la explotación agrícola del material.

A continuación se presentan los cuadros de datos de rendimiento medios y ajustados tanto de productos como de nutrientes principales por tratamiento de los cuales son utilizados para determinación de lo costos, también se presentan los calculos de los tiempos invertidos en el volteo utilizados en la determinación de lo costos de mano de obra en función de las horas trabajadas por hombre.

Cuadro No. 39

**COSTOS DE CONSTRUCCION DE 24 ABONERAS: MANO DE OBRA Y  
MATERIA PRIMA**

RUBRO CONSIDERADO	No. DIAS	No. OBREROS	SALARIOS DIAS HOMBRE	COSTO TOTAL
<b>1. CONSTRUCCIONES</b>				
1.1 MEDICION	1	2	35.00	70.00
1.2 ESTANQUEO Y TRAZO	2	2	35.00	140.00
1.3 CONSTRUCCION ZANJA	4	1	35.00	140.00
1.4 HECHURA DE TRINCHERA Y COLOCACION DE	2	2	35.00	140.00
1.5 HECHURA DE RESPIRADERO	1	1	35.00	35.00
<b>2. ELABORACION DE COMPOST</b>				
2.1 ACARREO MATERIAL	6	2	35.00	420.00
2.2 DISTRIBUCION DE MATERIAL	6	1	35.00	210.00
MONTICULO = ¢ 875.00/12 = ¢ 72.92 (c/u)				¢1155.00
ZANJA = ¢ = ¢ 96.25 (c/u)				

	CANTIDAD	COSTO UNITARIO ¢	COSTO TOTAL ¢
<b>3. MATERIA PRIMA</b>			
3.1 PULPA FRESCA	5.0 TM	115.00 / TM CON TRANSPORTE	575.00
3.2 ESTIERCOL BOVINO	2.5 m <sup>3</sup>		110.0/m <sup>3</sup>
3.3 HOJARASCA			
3.4 TIERRA	2.0 TM	25.00/TM	50.00
3.5 BAMBU	3.5 m <sup>3</sup>	50.0 / m <sup>3</sup>	175.00
	25 VARAS	1.00 CT.	25.00
			<b>¢1,100.00</b>

Cuadro No.40

**COSTOS DE MANO DE OBRA DE CONSTRUCCION  
Y VOLTEOS POR TIPO DE ABONERA Y TRATAMIENTO  
( $\phi/m^3$ )**

	MONTICULO		ZANJA	
	C/8 días	c/15 días	c/ 8 días	c/15 días
Construcción y elaboración de apilamiento.	72.92	72.92	96.25	96.25
Trincheras y respiraderos.	-	-	+ 5.00 (trinch.)	5.00
Volteos	52.44	17.25	35.00	26.22
<b>Sub-Total</b>	<b>125.36</b>	<b>90.44</b>	<b>135.25</b>	<b>127.47</b>

\* 12 Volteos

\*\* 6 volteos

Cuadro No. 41

**COSTO DE MATERIA PRIMA  
COLONES POR ABONERA Y TRATAMIENTO  
( $\phi/m^3$ )**

	MONTICULO		ZANJA	
	P	PE	P	PE
Pulpa	$\phi$ 24.54	$\phi$ 18.63	$\phi$ 24.54	$\phi$ 18.63
Estiercol Bovino	-	$\phi$ 22,92	-	$\phi$ 22.92
<b>TOTAL</b>	<b><math>\phi</math> 24.54</b>	<b><math>\phi</math> 41.55</b>	<b><math>\phi</math> 24.54</b>	<b><math>\phi</math> 41.55</b>

Para la cuantificación del costo de la mano de obra invertida en la realización de los volteos se utilizaron datos de la tabla de tiempos en minutos, invertido en la actividad de remoción y disgregación de las partes del material que tiende a compactarse, así como la formación del montículo y/o relleno de la zanja.

El costo por metro cúbico se hizo en base al tiempo total invertido en la realización de los volteos para las doce aboneras tanto de montículo como de zanja y al salario diario devengado por el obrero.

A continuación se presentan el procedimiento de cálculo para el análisis de los costos de las alternativas de utilizar un obrero o dos en la realización de la obra.

Cuadro No. 42

## TIEMPO INVERTIDO EN VOLTEOS

TIPO ABONERA	# OBREROS	TIEMPO EN MINUTOS	
		DESALOJO	RELLENO
MONTICULO	2	10'	10'
	1	25'	25'
ZANJA	2	20'	20'
	1	30'	30'



## 1 OBRERO

$$- 12 \text{ ABONERAS} = \frac{50' \text{min.}}{1 \text{ ABON}} \times 12 \text{ ABONERAS} \frac{600' \text{min.}}{60' \text{min.}} = 10 \text{ HORAS} =$$

$$1 \text{ DIA} + 2 \text{ HORAS} = \phi 35 + \phi 8.7 = \frac{\phi 43.70}{12 \text{ Abon.}} = 3.64/\text{M}^3 \text{ DE ABON. MONTICULO}$$

$$- 12 \text{ ZANJAS} = \frac{60' \text{min.}}{1 \text{ ABON}} \times 12 \text{ ABONERA} = \frac{720'}{60'} = 12 \text{ HORAS} + 4 \text{ HORAS}$$

$$\phi 35 + \phi 17.5 = \phi 52.5/12 \text{ abon} = \phi 4.37/\text{m}^3 \text{ de Abonera zanja}$$

## 2 OBREROS

$$- 12 \text{ ABONERAS} = 20' \times 12 \text{ ABONERA} = \frac{240'}{60'} = 4 \text{ HORAS} = 1/2 \text{ DIA}; \phi 35/2 =$$

MONTICULO

$$\phi 17.50/12 \text{ ABONERAS} = \phi 1.45 \text{ m}^3 \text{ de abonera-monticulo}$$

$$- 12 \text{ ABONERAS} = 40' \times 12 \text{ ABONERAS} = \frac{480'}{60'} = 8 \text{ HORAS} = 1 \text{ DIA}$$

ZANJA

$$\phi 35 \times 2 = \phi 70.00/12 = \phi 5.83/\text{M}^3 \text{ DE ABONERA ZANJA}$$

Considerando un período de composteo de 90 días y con volteos c/8 días el costo de Mano de Obra De volteos es: 12 volteos  $\times$   $\phi$  4.37 =  $\phi$  52.44 zanja.  
12x  $\phi$  2.92 =  $\phi$  35.00 montículo

Con volteos c/15 días el costo es:

$$6 \times \phi 4.37 = \phi 26.22 \text{ zanja}$$

$$6 \times \phi 2.92 = \phi 17.52 \text{ Montículo}$$

Cuadro No.43

COSTO DE MANO DE OBRA DE REALIZACION  
DE VOLTEOS POR METRO CUBICO DE ABONERA  
( $\phi$  / $m^3$ )

TIPO DE ABONERA	COSTO DE MANO DE OBRA	VOLTEOS / $m^3$
	UTILIZANDO 1 OBRERO	UTILIZANDO 2 OBREROS
MONTICULO	$\phi$ 3.64	$\phi$ 2.92
ZANJA	$\phi$ 4.37	$\phi$ 5.83

Cuadro No. 44

COSTOS DE CONSTRUCCION Y ELABORACION  
DE ABONERAS ( $\phi$ / $m^3$ )

TIPO DE ABONERA	COSTO DE MANO DE OBRA
MONTICULO	72.92
ZANJA (EXCAVACIONES Y HECHURA DE TRINCHERA DE BAMBU)	96.25

Cuadro No.45

RESUMEN DE ANALISIS GLOBAL DE COSTOS  
DE ELABORACION DEL COMPOST POR TIPO DE ABONERA Y  
TRATAMIENTO ( $\phi$ / $m^3$ )

ABONERAS	MONTICULO		ZANJA	
	PE 8	P 15	PE 8	P 15
TRATAMIENTOS				
MATERIA PRIMA	41,55	25.14	48.90	30.14
MANO DE OBRA	125,36	90.44	131.25	122.47
IMPLEMENTOS	369.0		518.50	

TOTAL	PE 8 535.91	PE 15 501.00	P 8 519.50	P 15 484.58	PE 8 898.85	PE 15 889.87	P 8 880.0	P 15 871.11
promedio	518.46		502.04		894.26		875.56	
promedio	510.25				884.91			

**DATOS DE RENDIMIENTO PROMEDIO DE NITROGENO, FOSFORO Y  
POTASIO DE 8 TRATAMIENTOS PARA LA PRODUCCION DE ABONO  
ORGANICO**

RESPECTO A LA FRECUENCIA DE VOLTEO							
TRATAMIENTO	ABONERA	RENDIMIENTO MEDIO					
		VOLTEO	FUENTE	ABONO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	a <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	f <sub>1</sub>	483.51	0.56	0.24	0.50
2	a <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	f <sub>1</sub>	502.25	0.62	0.25	0.55
3	a <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	495.0	0.79	0.33	0.63
4	a <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	524.35	0.62	0.34	0.54
5	a <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>	484.77	0.70	0.23	0.57
6	a <sub>2</sub>	V <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>	509.28	0.57	0.23	0.49
7	a <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	f <sub>2</sub>	478.72	0.74	0.35	0.65
8	a <sub>2</sub>	V <sub>2</sub>	f <sub>2</sub>	512.70	0.67	0.34	0.59
Procedio	V <sub>1</sub>			496.28	0.65	0.29	0.56
Procedio	V <sub>2</sub>			491.37	0.67	0.29	0.58
EFECTO DE FUENTE DE NITROGENO							
TRATAMIENTO	ABONERA	RENDIMIENTO MEDIO					
		VOLTEO	FUENTE	ABONO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	a <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	495.0	0.79	0.33	0.63
2	a <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	524.35	0.62	0.34	0.54
3	a <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	f <sub>2</sub>	478.73	0.74	0.35	0.65
4	a <sub>2</sub>	V <sub>2</sub>	f <sub>2</sub>	512.70	0.67	0.34	0.59
5	a <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	f <sub>1</sub>	483.51	0.56	0.24	0.50
6	a <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	f <sub>1</sub>	502.25	0.62	0.25	0.55
7	a <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>	484.77	0.70	0.23	0.57
8	a <sub>2</sub>	V <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>	509.28	0.57	0.23	0.49
		Prom.	f <sub>1</sub>	485.0	0.61	0.34	0.53
		Prom.	f <sub>1</sub>	502.7	0.71	0.34	0.60
EFECTO DE TIPO DE ABONERA							
TRATAMIENTO	ABONERA	RENDIMIENTO MEDIO					
		VOLTEO	FUENTE	ABONO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	a <sub>1</sub>		V <sub>1</sub>	f <sub>1</sub>	483.51	0.56	0.24
2	a <sub>2</sub>		V <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>	484.77	0.70	0.23
3	a <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	V <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	495.0	0.79	0.33
4	a <sub>2</sub>		V <sub>2</sub>	f <sub>2</sub>	478.73	0.74	0.35
5	a <sub>1</sub>		V <sub>1</sub>	f <sub>1</sub>	502.25	0.62	0.25
6	a <sub>2</sub>		V <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>	509.28	0.57	0.23
7	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	524.35	0.62	0.34
8	a <sub>2</sub>		V <sub>2</sub>	f <sub>2</sub>	512.70	0.67	0.34
	Prom.	a <sub>1</sub>			475.50	0.70	0.29
	Prom.	a <sub>1</sub>			512.1	0.62	0.29

Cuadro No. 47

RESUMEN DE RENDIMIENTO DE 8 TRATAMIENTOS PARA LA PRODUCCION DE ABONO ORGANICO

	Voltsos (días)	Repa- tieron	Peso caso inicial (lb)	Peso caso prod. (lb)	Peso Producto(lb) base seca promedio	Volumen final (m <sup>3</sup> )	Volumen promedio final	% Conversión del promedio
M O N T I C U L O	6	1	554.35	459.44	463.51	0.82	0.80	83.6
		2		465.14				
		3		465.94				
I C U L O	16	1	554.35	465.70	464.77	0.88	0.94	83.6
		2		486.80				
		3		441.80				
L U L O	8	1	628.25	493.40	485.00	0.85	0.95	79.0
		2		503.80				
		3		467.80				
P U L P A	15	1	628.25	468.60	478.79	0.88	0.95	76.4
		2		502.20				
		3		448.80				
Z A N J A	8	1	554.35	515.02	502.25	0.83	0.86	91.0
		2		470.52				
		3		521.22				
P U L P A	15	1	554.35	498.51	509.28	0.85	0.86	92.0
		2		513.31				
		3		516.01				
P U L P A	8	1	628.35	593.88	244.35	0.86	0.86	83.7
		2		532.88				
		3		500.28				
P U L P A	15	1	628.35	515.03	512.70	0.84	0.86	81.0
		2		480.43				
		3		542.63				

Cuadro No. 48

## PRESUPUESTO PARCIAL DE 8 TRATAMIENTOS PAA LA PRODUCCION DE ABONO ORGANICO

(Precio del Abono $\phi$ 1.25 lb)	MONTICULO				ZANJA			
	TRATAMIENTO				TRATAMIENTO			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Rendimiento medio (lb/m <sup>2</sup> )	516.01	494.44	521.05	503.93	584.02	592.18	595.85	603.17
Rendimiento ajustado (lb/m <sup>2</sup> )	490.50	469.71	495.00	476.73	554.81	562.58	566.08	573.02
Costo de mano de obra de volteos (c/m <sup>2</sup> )	4.37	2.92	4.37	2.92	2.92	4.37	2.92	4.37
Costo de materiales (c/m <sup>2</sup> )	24.54	24.54	41.55	41.55	24.54	24.54	41.55	41.55
Depreciación de las herramientas (c/m <sup>2</sup> )	209.50				259.25			
Total de costos que varían (c/m <sup>2</sup> )	238.41	238.98	255.42	253.97	288.48	287.99	303.72	305.0
Beneficios brutos (c/m <sup>2</sup> )	613.13	587.14	618.75	598.41	663.51	703.23	707.58	7716.28
Beneficios netos (c/m <sup>2</sup> )	374.72	350.18	363.33	344.44	407.05	416.05	403.86	411.28

## Cuadro No. 49

ANALISIS DE DOMINANCIA  
 PARA ABONERA: MONTICULO  
 PARA EL PRECIO COMERCIAL DEL ABONO ORGANICO

Tratamiento	Costo que varíen	Beneficios Netos
T2	236.96	350.18
T1	238.41	374.72
T4	253.97	344.44 D
T3	255.42	363.33 D

D: Tratamiento dominado

## Tasa de Retorno Marginal

$$(2,1) \frac{374.72 - 350.18}{238.41 - 236} \times 100 = \frac{24.54 \times 100}{1.45} = 1,692.41 \%$$

Precio de costo de Abono Orgánico: En base al tratamiento 2

$$\frac{\text{Total que varían} \quad \text{¢ } 236.96}{\text{Rendimiento Ajustado} \quad 469.71 \text{ lbs}} = \text{¢ } 0.50/\text{lb Abono}$$

Incrementando el precio de Costo por el factor de tasa de rentabilidad establecido por el Banco central de Reserva el precio de Costos ajustado es:

$$0.50 \times 1.25 = 0.65 (\text{¢ } /\text{lb})$$

## Cuadro No. 50

ANALISIS DE DOMINANCIA PARA ABONERA: ZANJA  
 PARA EL PRECIO COMERCIAL DEL ABONO ORGANICO

Tratamiento	Costo que varíen	Beneficios Netos
T5	286.46	407.05
T6	287.99	415.24
T7	303.72	403.86 D
T8	305.00	411.28 D

D: Tratamiento dominado

Cuadro No. 51

**PRESUPUESTO PARCIAL DE 8 TRATAMIENTOS EN BASE AL  
PRECIO AJUSTADO DE ABONO ORGANICO**

	MONTICULO				ZANJA			
	TRATAMIENTO				TRATAMIENTO			
(Precio del Abono a 0.65 lb)	1	2	3	4	5	6	7	8
Rendimiento medio (lb/m <sup>3</sup> )	515.01	484.44	521.05	503.83	584.02	592.18	585.85	603.17
Rendimiento ajustado (lb/m <sup>3</sup> )	490.50	469.71	488.00	478.73	584.81	602.58	586.08	573.02
Costo de mano de obra de volcos (c/m <sup>3</sup> )	4.37	2.92	4.37	2.92	2.92	4.37	2.92	4.37
Costo de materiales (c/m <sup>3</sup> )	24.54	24.54	41.55	41.55	24.54	24.54	41.85	41.55
Depreciación de las herramientas (c/m <sup>3</sup> )	209.50				269.25			
Total de costos que varían (c/m <sup>3</sup> )	236.41	236.88	255.42	253.97	266.46	297.99	303.72	305.0
Beneficios brutos (c/m <sup>3</sup> )	316.62	305.31	321.75	311.16	360.33	365.68	367.84	372.48
Beneficios netos (c/m <sup>3</sup> )	80.41	69.35	69.35	57.20	74.17	77.69	64.22	67.48

Cuadro No. 52

**ANALISIS DE DOMINANCIA  
PARA ABONERA: MONTICULO  
PARA EL PRECIO AJUSTADO DEL ABONO ORGANICO**

Tratamiento	Costo que varíe	Beneficios netos
T2	236.96	68.35
T1	238.41	80.41
T3	253.97	57.20D
T4	255.42	66.33D

D: Tratamiento dominado

**Tasa de Retorno Marginal**

$$(2,1) \quad \frac{80.41 - 68.35}{238.41 - 236.96} \times 100 = \frac{12.06 \times 100}{1.45} = 831.72\%$$

Cuadro No. 53

**ANALISIS DE DOMINANCIA  
PARA ABONERA: ZANJA  
PARA EL PRECIO AJUSTADO DEL ABONO ORGANICO**

Tratamiento	Costo que varíe	Beneficios netos
T5	286.46	74.17
T6	287.99	77.69
T7	303.72	64.22D
T8	305.00	67.46D

D: Tratamiento dominado



Cuadro No. 54

**RESUMEN DE RENDIMIENTOS AJUSTADOS  
(Lb/m<sup>3</sup> de Compost)**

Tratamientos	Rendimiento medio	Rendimiento ajustado (5%)
T1	515.01	490.5
T2	494.44	469.71
T3	521.05	495.0
T4	503.93	478.73
T5	584.01	554.81
T6	592.19	562.58
T7	595.85	566.06
T8	603.18	573.02

Cuadro No. 55

**PRESUPUESTO PARCIAL PARA ABONERA: MONTICULO  
BASE: CONTENIDO DE NUTRIENTES**

	TRATAMIENTOS				
		T1	T2	T3	T4
Rendimiento medio (lb/m <sup>3</sup> )	N	2.88	3.48	4.11	3.72
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.36	2.26	3.34	3.48
Rendimiento ajustado (lb/m <sup>3</sup> )	N	2.73	3.29	3.91	3.54
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.42	2.15	3.17	3.29
Costo de mano de obra de volteos (¢/m <sup>3</sup> )		4.37	2.92	4.37	2.92
Costo de materiales (¢/m <sup>3</sup> )		24.54	24.54	41.55	41.55
Depreciación de las herramientas (¢/m <sup>3</sup> )		209.50			
Total de costos que varían (¢/m <sup>3</sup> )		238.41	236.98	255.42	253.97
Beneficios brutos (¢/m <sup>3</sup> )		53.78	55.83	73.48	71.53
Beneficios netos (¢/m <sup>3</sup> )		-184.65	-181.33	-181.98	-182.45

Cuadro No. 56

**ANALISIS DE DOMINANCIA PARA ABONERA MONTICULO  
PARA EL RENDIMIENTO DE NUTRIENTES**

Tratamiento	Costo que varían (¢/m <sup>3</sup> )	Beneficios netos (¢/m <sup>3</sup> )
T1	236.96	-184.65
T2	238.41	-181.33
T3	253.97	-181.96
T4	255.42	-182.45

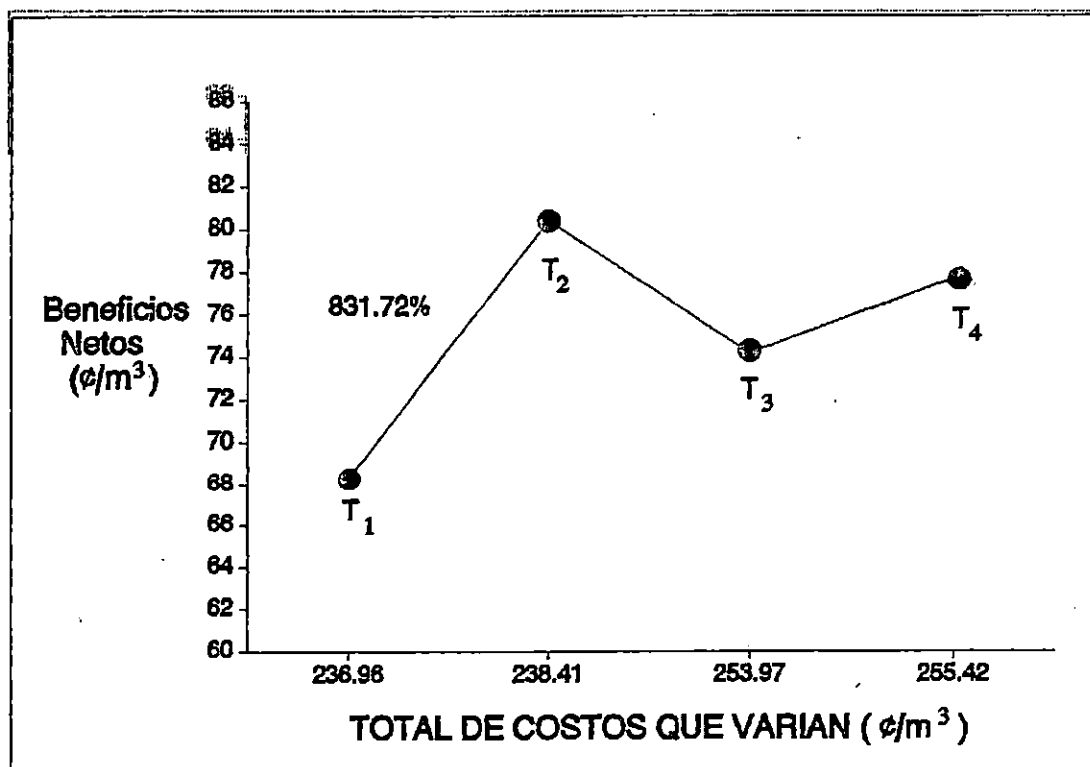


Figura No. 21. Curva de los Beneficios Netos del Ensayo (Precio Unitario ¢0.65/Lb)

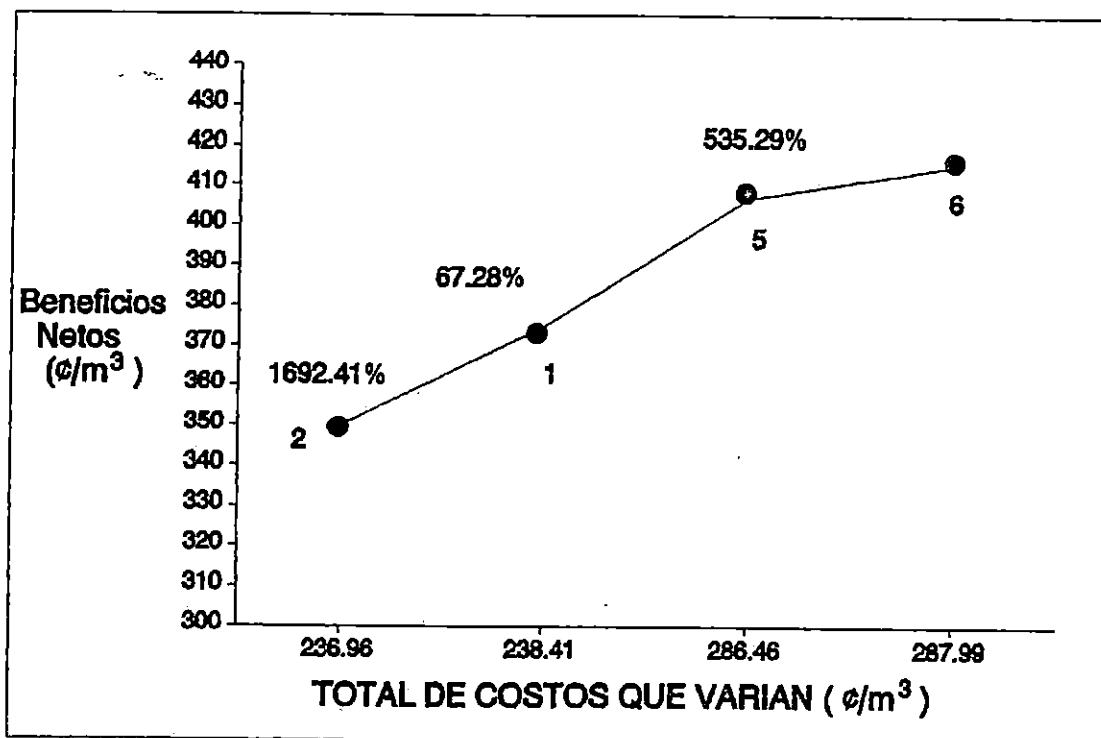


Figura No. 22. Curva de Beneficios Netos (Precio Unitario: € 1.25/Lb)

Cuadro No. 57

PRESUPUESTO PARCIAL PARA ABONERA: ZANJA  
BASE: CONTENIDO DE NUTRIENTES

	TRATAMIENTOS				
		T5	T6	T7	T8
Rendimiento medio (lb/m <sup>3</sup> )	N	3.62	3.37	3.89	4.04
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.67	2.70	4.09	4.14
Rendimiento ajustado (lb/m <sup>3</sup> )	N	3.43	3.21	3.51	3.84
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.54	2.56	3.88	3.93
Costo de mano de obra de volteos (€/m <sup>3</sup> )		2.92	4.37	2.92	4.37
Costo de materiales (€/m <sup>3</sup> )		24.54	24.54	41.55	41.55
Depreciación de las herramientas (€/m <sup>3</sup> )		259.25			
Total de costos que varían (€/m <sup>3</sup> )		286.46	287.99	303.72	305.0
Beneficios brutos (€/m <sup>3</sup> )		61.58	59.80	78.30	81.90
Beneficios netos (€/m <sup>3</sup> )		-224.9	-228.19	-225.42	-223.10

Cuadro No. 58

ANALISIS DE DOMINANCIA PARA ABOHERRA ZANJA PARA  
EL RENDIMIENTO DE NUTRIENTES

Tratamiento	Costo que varían	Beneficios netos (¢/m <sup>3</sup> )
1	286.46	-224.90
2	287.99	-228.19
3	303.72	-225.42
4	305.00	-223.10

Cuadro No. 59

RESUMEN DE RENDIMIENTO PROMEDIO DE NUTRIENTES A LOS 90 DIAS (g)

Tratamiento	Rendimiento promedio del producto (lb/m <sup>3</sup> )	% N	% P	% K	%Mat. Org.	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%K <sub>2</sub> O
T1	518.01	0.56	0.10	0.42	22.8	0.46	1.01
T2	494.44	0.70	0.10	0.48	16.0	0.46	1.1568
T3	521.05	0.79	0.14	0.52	17.3	0.64	1.23
T4	503.93	0.74	0.15	0.55	18.3	0.68	1.325
T5	584.01	0.62	0.10	0.46	14.0	0.53	1.1086
T6	592.19	0.57	0.10	0.41	15.3	0.45	0.98
T7	595.85	0.62	0.15	0.45	18.0	0.68	1.08
T8	603.18	0.67	0.15	0.49	18.0	0.68	1.17

Cuadro No. 60

**RENDIMIENTO MEDIO DE NUTRIENTES  
(lbs)**

MONTICULO					ZANJA			
TRATAMIENTO NUTRIENTE	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
N	2.88	3.46	4.11	3.72	3.62	3.37	3.69	4.04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.36	2.26	3.34	3.46	2.67	2.70	4.09	4.14
K <sub>2</sub> O	5.21	5.72	6.53	6.67	6.46	5.85	6.46	7.10

Cuadro No 61

**RENDIMIENTO AJUSTADO DE NUTRIENTES  
( lbs)**

MONTICULO					ZANJA			
TRATAMIENTO NUTRIENTE	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
N	2.73	3.29	3.91	3.54	3.43	3.21	3.51	3.84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.42	2.15	3.17	3.29	2.54	2.56	3.88	3.93
K <sub>2</sub> O	4.94	5.43	6.20	6.33	6.13	5.55	6.13	6.74

Cuadro No. 62  
**COSTO DE OPORTUNIDAD DE LOS PRINCIPALES  
 NUTRIENTES EN BASE AL FERTILIZANTE: 16-20-0" Y  
 SULFATO DE AMONIO"; ¢/lb NUTRIENTES**

N O T I C U L O					Z A R J A			
TRATAMIENTO NUTRIENTE	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
N	24.84	29.94	35.58	32.21	31.21	29.21	31.94	34.94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	28.92	25.69	37.88	39.31	30.35	30.59	48.38	46.98
K <sub>2</sub> O	53.78	55.63	73.48	71.52	61.56	59.80	78.30	81.90

$$2.73 \times \text{¢ } 9.40 = \text{¢ } 24.84$$

Nitrógeno ¢ 9.10/Lb N

Fósforo ¢11.95/Lb P

#### 4.2.1 Precio de Campo del Abono Orgánico y sus Nutrientes

Los requerimientos esenciales para el crecimiento de las plantas son: (23)

140 lbs de "N" / (Mz)

60 lbs de "p" / (Mz)

60 lbs de " K"/ (Mz)

- Estos requerimientos de potasio no son necesario agregar a los suelos de El Salvador por ser ricos en estos elementos.

La aplicación de los demás elementos se realizan por medio de la adición de:

- 3.5 sacos de fertilizante: 16-20-0 a un costo de  
 $\$ 205.00^1$  c/u .....  $\$ 717.50$
- Cada saco contiene: 220 lbs y 16 lbs técnicas de "N"
- Cada lb del fertilizante contiene: 0.073 lb de "N"
  - $770 \text{ lbs de fertilizante} \times 0.073 \frac{\text{lbs "N"}}{\text{lb fert.}} = 105.6 \text{ lb}$
- 84.0 lbs de "N" se aplican adicionando: 4 sacos de fertilizante: sulfato de amonio que contiene 21 lbs técnicas de "N" cada uno.
- El saco de este fertilizante cuesta:  $\$ 139.00$
- El costo total por fertilizante es:  $\$ 1,273.50$  por Mz.
- El costo por lb. de "N" es:  $\$ 1,273.5/140 \text{ lbs} = \$ 9.10/\text{lb de "N"}$
- Costo por libra de p es  $= \frac{\$ 717.50}{60 \text{ lbs}} = \$ 9.10 / \text{lb de "P"}$

Debido a la estrecha diferencia que existe entre los totales de los costos que varían entre los rendimientos, la tasa de retorno marginal resulta muy elevado. Debido a esto, la tasa de retorno marginal en este caso, no es de mucha utilidad para comparar los tratamientos y únicamente ha

---

<sup>1</sup> Almacén de Agroservicio de Santa Tecla.

servido para establecer diferencias significativas en cuanto al valor del mercado del abono orgánico respecto a dos formas diferentes de establecer su valor económico, lo cual es una aproximación para que investigaciones futuras se establezca su verdadero aporte en cuanto a beneficio de campo y económico.

Una de las ventajas de la elaboración del presupuesto parcial es que este método ofrece la opción de escoger económicamente el mejor tratamiento en base al total de costos que varíen más bajo; en caso de que no existan diferencias de rendimiento altamente significativos, de lo contrario la elaboración del presupuesto parcial es imprescindible.

Para el caso del presente trabajo debido a las altas tasas de retorno marginal, la evaluación económica de los tratamientos en base al análisis de dominancia realizado dio la opción de elegir los siguientes tratamientos como aceptables y recomendables.

1<sup>o</sup> MP 15: Abonera montículo con volteos c/15 días

2<sup>o</sup> MP 8: abonera montículo con volteos c/8 días.

Lo cual demuestra que el método de producción de abono



orgánico en montículo con volteos cada quince días, utilizando pulpa de café es factible de ser adoptado de acuerdo con la evidencia económica y estadística. Esto en base al resultado del análisis económico respecto al precio de campo del abono.

Este precio, como se explicó anteriormente fué fijado en base a consultas con personas que lo comercializan y éste resulta atractivo para su venta, más no como incentivo para la difusión de el uso del abono orgánico por lo que la determinación del precio de costo del abono en base al mejor tratamiento resulta ser un índice de precio de comercialización un poco más adecuado.

Para el caso del análisis con respecto al precio de campo de los nutrientes, los resultados del presupuesto parcial demuestran que la misma recomendación sigue siendo válida y la base más adecuada de comparación es la de los totales de los costos que varíen ya que aquí no procede el análisis marginal debido a que los beneficios netos resultan negativos, causadas por las bajas cantidades de rendimiento en la producción de los nutrientes considerados.

A fin de proporcionar un medio para caracterizar lo más rápidamente posible las respuestas a los tres factores

ensayados en este estudio así como sus interacciones, en el cuadro No. 46 se presenta el cuadro de datos experimentales de rendimiento medio de el abono y los macro elementos producidos, resumiendo en el promedio como influyeron en la producción los efectos de variación de la frecuencia de volteo, la adición o no del estiércol bovino y del tipo de abonera y observar cual forma o nivel de manipulación es el mejor.

Esta caracterización provee un reducido número de posibles alternativas de elección debido a la estrecha variación de los resultados entre ellos y el análisis estadístico ayudará a tomar una mejor decisión.

#### **4.2.2 Determinación del Rendimiento y Costo de Fertilización con Abono Orgánico.**

De acuerdo a los rendimiento de elementos nutricionales para los cultivos masivos en El Salvador como son el maíz y maicillo y al sistema de fertilización recomendados en la evaluación agronómica, realizada en diferentes ensayos por los técnicos, las actividades de los macroelementos principales son areados al suelo en un sistema de fertilización desarrollado en tres etapas, aplicando en la

primera: 3.5 sacos, de 220 lbs, de fertilizante formula: 16-20-0. Debido a que la característica de los suelos en El Salvador es la de contener suficiente potasio para cubrir los requerimientos de este elemento no se hace necesario agregarlo, con esta primera aplicación se adiciona las 60 lbs técnicas de fósforo requeridas y en la segunda y tercera aplicación se complementan las 140 lbs de Nitrógeno requeridas, en la segunda se aplican 2.5 sacos de fertilizante sulfato de amonio (21 lbs- técnicas de N) y en la tercera uno y medio sacos de este mismo fertilizante. A continuación se presentan los costos para este sistema inorgánico de fertilización: (24)

a) Fertilización inorgánica por manzana

a.1) 3.5 sacos (16-20-0)

a.2) 2.5 sacos sulfato de Amonio (21 lbs. de "N")

a.3) 15 sacos de Sulfato de Amonio (21 lbs de "N")

Costo de la libra de 16-20-0	¢ 0.95
Costo de la libra de sulfato de amonio	¢ 0.65
Costo de 1a. fertilización =	¢ 731.50
Costo 2a. fertilización =	¢ 357.50
Costo 3a. fertilización =	¢ 214.50
	-----
Total	¢1,303.50/Mz

b) Abono Orgánico:

El mejor de los tratamientos económica y estadísticamente produjo un rendimiento promedio de nitrógeno a los 90 días del 0.70%. Luego para proporcionar las 140 lbs requeridas necesitamos: 20,000 lbs. de Abono Orgánico; lo cual corresponde a aproximadamente a 91. sacos de 220 lbs a un costo de ¢ 110.00 c/u, lo cual da un monto total de ¢ 10,000 por manzana.

Obviamente la fertilización orgánica resulta ser de altísimo costo a corto plazo comparado con los costos de la fertilización inorgánica con sus efectos de absorción a corto plazo, sin embargo se ha determinado, por medio de estadios edafológicos (25) que la fertilización inorgánica tiende a causar deterioro del suelo debido a su uso continuo creando acumulación de sales y provocando infertilidad del suelo; creando barreras físicas, químicas y antibióticas, y los esfuerzos por recuperar la fertilidad del suelo hoy en día, demanda la producción de abono orgánico como una necesidad.

## 5.0 CONCLUSIONES

- 1.- El mejor tipo de abonera para estabilizar la temperatura del compost es de montículo, ya que permite a este alcanzar la temperatura ambiente en menos días que la abonera de zanja, de acuerdo con el análisis estadístico de este factor. La abonera de zanja es la óptima para mantener concentraciones altas de humedad, de acuerdo al análisis estadístico de la variable. El factor tipo de abonera produjo iguales efectos en las variables pH, C/N, % cenizas, %N, %P y %K. De acuerdo a los resultados obtenidos para este factor, se puede concluir que el mejor tipo de abonera para producir abono orgánico es de montículo, ya que la variable de mayor importancia es la temperatura.
2. Los volteos cada 8 días permiten que el material alcance las temperaturas más altas en las primeras semanas, que es cuando se produce la mayor descomposición del material, de acuerdo al análisis de varianza para la temperatura; ello conduce a que en menos tiempo se alcance el equilibrio con la temperatura ambiente, lo que favorece una más rápida conversión de materia orgánica a material húmico, en menos días que los métodos tradicionales de volteo cada 15 días, lo que se

traduce en menos costos. Aunado al hecho que para las otras variables respuestas el factor volteos no produjo efectos significativos, se concluye que este factor solo ejerce su efecto sobre la variable temperatura, y en ese sentido resultado más favorable es efectuar volteos cada 8 días.

3. La pulpa como fuente de nitrógeno y materia orgánica permite que el compost tenga temperaturas más bajas que la mezcla pulpa estiércol, durante el proceso de descomposición y estabilización, lo cual conviene para que el proceso de conversión buscado se efectúe en menor tiempo sin detrimento de la calidad del producto. Por otra parte la mezcla pulpa-estiércol produce mayores concentraciones de fósforo, de acuerdo al análisis de varianza para el fósforo, no incidiendo en la concentración de nitrógeno, lo cual no era de esperarse, puesto que el estiércol aporta nitrógeno en la forma de amoníaco y como parte de la materia orgánica. El factor fuente de nitrógeno no produjo efectos significativos en las otras variables respuestas. Por tanto a este nivel de estudio experimental y de acuerdo a la referencia bibliográfica, se concluye que será mas conveniente usar pulpa por que es más importante estabilizar el compost en menos tiempo que obtener mayores concentraciones de

fósforo, porque el fósforo se encuentra en cantidades muy pequeñas en el abono orgánico.

4. La temperatura es la variable respuesta de mayor importancia, tanto porque acelera el proceso de descomposición, como porque la mayoría de fuentes de variación estudiadas ejercieron su efecto sobre ella. La temperatura del compost inicialmente se encuentra entre 35 y 40 °C, transcurrida una semana se eleva entre 50 y 60 °C, descendiendo de este valor máximo a partir de la segunda semana, y alcanzando la temperatura ambiente a partir de la quinta semana, con lo que se evidencia que en nuestras condiciones se alcanzó una producción de abono orgánico en un tiempo óptimo en relación a experiencias realizadas en otros países.
5. La variable humedad sufre la mayor disminución en las primeras semanas de descomposición, llegando hasta 30% debido a que las elevadas temperaturas producidas en el compost promueven su pérdida en forma de vapor de agua. La humedad recomendada en la literatura es del 50% para el compost. El proceso de descomposición se llevó a cabo con porcentajes bajos de humedad, concluyendo que es posible degradar el material en estas condiciones y en un tiempo relativamente corto. De acuerdo al análisis

estadístico la abonera de zanja mantiene concentraciones más altas de humedad que la abonera de montículo.

6. El pH del compost es inicialmente ácido, con valores entre 4 y 5, incrementándose hasta 9 en la segunda semana, descendiendo posteriormente hasta llegar a 7 a partir de la quinta, condición óptima para incorporarlo al suelo sin producirle cambios al pH. De acuerdo al análisis estadístico los bloques ejercieron un efecto significativo sobre el pH, por lo que el diseño estadístico de bloques completos al azar en arreglo factorial utilizado fue el correcto, por que permitió cuantificar el efecto de esta fuente de variación. Los tratamientos ejercieron el mismo efecto sobre el pH, por lo que no fue posible determinar el mejor tratamiento, para esta variable.

Concluyendo que el pH se comportó en forma similar a lo reportado en la literatura, con la única diferencia que en la presente investigación se estabilizó en forma natural, no es necesaria la adición de cal para este propósito y finalmente que el pH es un buen parámetro para determinar las etapas por las que transcurre el proceso de descomposición.



7. La relación C/N sufre decrementos partiendo de 19 y llegando hasta valores de 12. En general la variable tiende a disminuir y de acuerdo a la literatura el valor óptimo se encuentra entre 10 y 15. Estadísticamente los tratamientos ejercieron el mismo efecto sobre la variable. Por lo que se puede concluir que el abono orgánico obtenido es de muy buena calidad.
  
8. En cuanto al contenido de nutrientes, estadísticamente se puede concluir que el contenido de fósforo es influenciado por la incorporación de estiércol bovino, ya que su presencia produce las concentraciones más altas de este elemento. El contenido de nitrógeno no produjo los resultados esperados, ya que sufrió un decremento, el cual de acuerdo a la literatura se produce por la volatilización del nitrógeno en forma de amoníaco gaseoso, lo que afectó la calidad del abono obtenido para esta variable.  
  
El potasio al igual que el nitrógeno disminuyó; y de acuerdo a los análisis estadísticos se puede concluir que tanto el nitrógeno como el potasio no fueron influenciados por los tratamientos aplicados.
  
9. La tendencia general de todos los tratamientos es incrementar el contenido de cenizas. Estadísticamente

los tratamientos ejercieron el mismo efecto sobre el contenido de cenizas; con lo cual se concluye que cualquiera de los tratamientos dará buenos resultados en este contenido, lo cual contribuye a la calidad del abono, indicando el grado de mineralización de este.

10. La temperatura fué influenciada por los tratamientos aplicados de acuerdo al análisis de varianza. El mejor tratamiento de acuerdo a la prueba t de student es el de montículo, pulpa-estiércol, hojarasca y tierra con volteos cada 8 días (T3), el cual permite que el compost alcance la temperatura ambiente en 35 días (5 semanas), tiempo relativamente corto comparado con otros métodos como el uso de digestores enzimáticos (650 días) o el método tradicional de agregar cal o cenizas y esperar un año para que se degrade. Concluyendo que este método supera a los métodos tradicionales de producir abono orgánico, en cuanto al período de tiempo en que este se produce.
  
11. Para la variable respuesta humedad el mejor tratamiento es el de zanja, pulpa, hojarasca y tierra con volteos cada 15 días (T6), ya que de acuerdo a la prueba Tukey se puede concluir que este tratamiento favorece valores altos de humedad en el compost.

12. Para el contenido de Fósforo se puede concluir que de acuerdo a la prueba Tukey los mejores tratamientos son los que contienen estiércol (T3, T4, T7, y T8) ya que todos ellos tienen el mismo nivel de significancia.
  
13. De acuerdo al análisis económico se concluye que el mejor de los métodos para la producción de abono orgánico es el tratamiento de tipo montículo, volteos cada 15 días, pulpa, hojarasca y tierra (T2) ya que presentan los mejores costos y beneficios netos remunerativos. Económicamente se encuentra en segundo lugar el tratamiento que se diferencia del anterior en volteos más frecuentes cada 8 días (T1) ya que el resultado del análisis marginal muestra una tasa de retorno atractiva para la inversión debido a que el aumento en los costos requeridos produce un incremento en los beneficios netos.
  
14. Realizando la comparación entre los mejores tratamientos con sus ventajas y desventajas del punto de vista de la calidad del abono y de su costo económico se llega a las conclusiones siguientes:

- a) Tratamiento: Montículo pulpa-hojarasca-tierra, volteos cada 8 días (T3)

Sus Ventajas: estabiliza su temperatura en un menor tiempo; para el contenido de fósforo, nitrógeno y potasio tienen los contenidos más altos; económicamente ocupa el segundo lugar en cuanto a los costos que varían más bajos y es de ₡ 253.97.

Desventajas: Presenta el más bajo contenido de humedad, tiene un pH básico de 8, en la quinta semana; su relación C/N es 19.45, alejado del valor óptimo, que está entre 10 y 15.

- b) Tratamiento: Zanja-pulpa- volteo cada 15 días (T6).

Ventajas: Contenido de humedad alto; segundo lugar en estabilizar la temperatura, que se efectúa en la 6a semana; pH de 6.9 muy cercano al neutro. Contenido de cenizas bastante alto de 81.84% en la 7a semana. Relación C/N dentro del rango óptimo que es de 14.75 y se ubica en el rango óptimo de 10-15.

Desventajas: Contenido de fósforo, nitrógeno y de potasio bajo. Costos que varían, es el más alto valor obtenido de los cuatro tratamientos comparados ₡ 288.16.

c) Tratamiento: Montículo-pulpa-estiércol cada 15 días (T4)

**Ventajas:** Se estabiliza la temperatura en la 6a semana. Ocupa el segundo lugar en contenido de humedad. Posee el más alto contenido de fósforo de los cuatro tratamientos comparados. Contenido de nitrógeno alto ocupando el segundo lugar y el de Potasio el primero.

**Desventaja:** Su pH es básico de 8.1 en la sexta semana en la cual estabiliza su temperatura. Contenido de cenizas bajo; relación C/N fuera del rango óptimo, pero muy cercano a este (15.89). Económicamente posee un costo que varia alto, de ₡ 255.42.

d) Tratamiento: Montículo-pulpa-volteo cada 15 días (T2)

**Ventajas:** Estabiliza la temperatura en la 6a semana. Presenta el costo que varía más bajo de los cuatro tratamientos y es de ₡ 236.96. Contenido de cenizas alto, relación C/N dentro del óptimo de 14.02.

**Desventaja:** Contenido de humedad bajo, pH básico de 7.7 contenido de nitrógeno, fósforo y potasio bajos.

En base a sus ventajas y desventajas podemos concluir que los tratamientos óptimos en orden de importancia son los siguientes:

Primera Opción: Montículo, pulpa-estiércol, volteo cada 8 días (T3)

Segunda Opción: Montículo, pulpa, volteo cada 15 días (T2).

15. De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente se puede concluir que los métodos planteados y la determinación de las variables que influyen en la producción de abono orgánico, son un gran aporte al medio ambiente de nuestro país porque permite aprovechar un desecho contaminante y convertirlo en un producto útil para la Caficultura Nacional ya que los métodos investigados son sencillos, de bajo costo y no requieren la compra de materiales como abonos u otros insumos para su producción; para la sociedad salvadoreña, ya que éstos métodos requieren el uso de mano de obra en un período del año en el que los cortas de café ya han finalizado y puede ser una fuente potencial generadora de empleo en el área rural.

## 6.0 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la utilización de la pulpa de café lo más fresca posible, para el mejor aprovechamiento de su humedad al ser mezclada con los demás componentes.
2. Se recomienda la reducción del tamaño de la hojarasca, y que se incorpore humedeciendo el compost para facilitar su transformación.
3. Como mejor método se recomienda la construcción de aboneras con dimensiones mínimas de  $1 \text{ m}^3$ , de acuerdo con la evidencia estadística y económica presentada en este trabajo.
4. En cuanto a los requerimientos de aireación se pueden realizar volteos de al menos cada 15 días, siendo mejor hacerlos cada 8 días, para promover una mejor distribución de la población microbiana y así obtener un mejor y más rápido material degradado.
5. Se recomienda la utilización de estiércol bovino, como componente de la mezcla, si se dispone de una fuente o establo cercano, ya que esta representa un medio para el incremento de fósforo y de potasio, aunque estadística-

mente para este último elemento no se obtuvieron diferencias significativas respecto a la mezcla con solo pulpa.

6. Debido a que durante el manejo de los ensayos decayeron los niveles de contenido de humedad en las aboneras, del 29% al 17%, a partir de la segunda semana, por debajo de los niveles indicados por la literatura (40% - 60%), se recomienda el mantenimiento de este último a fin de promover una mejor y más rápida degradación del material.
7. Se recomienda que en ensayos posteriores se realice una evaluación agronómica del abono orgánico, a partir de la pulpa de café en compost, a fin de determinar técnicamente, los parámetros a utilizar en la fertilización orgánica a nivel de campo.
8. Se recomienda continuar realizando trabajos de graduación como el presente, con participación de la Empresa Privada y Sector Público relacionadas con el tema, ya que la participación de PROCAFE evidencia lo valioso de su respaldo para el logro de las metas del trabajo y su posterior divulgación al sector que podrá considerar y utilizar los resultados de este estudio.



## 7.0 GLOSARIO TECNICO

**Abonera:** Es la unidad experimental, la cual está formada por subproductos agrícolas como pulpa de café, hojarasca, estiércol y tierra, para la obtención de material húmico para ser considerado como abono orgánico.

**Abono Orgánico:** Producto final del proceso de degradación de la mezcla de los sustratos utilizados pulpa, tierra, hoja y estiércol.

**Proceso Aerobio:** Proceso que se da en presencia del oxígeno

**Beneficiado de Café :** Conjunto de operaciones de proceso para la obtención del café oro.

**Bloque:** Es un conjunto de unidades experimentales lo más homogéneos posibles y cada tratamiento debe estar una sola vez en el bloque.

**Café Verde:** Es el fruto obtenido en el proceso de corte, de la planta de café.

- Café Uva:** Es el fruto maduro del café.
- Café Oro:** Es el café que se obtiene al procesar el fruto de café en el beneficiado.
- Compost:** Es la mezcla de desechos de tipo orgánico producto de la descomposición aerobia.
- Compostaje:** Es la descomposición de desechos orgánicos en un ambiente húmedo, tibio y aireado, y se lleva a cabo por la acción de gran número de microorganismos y fauna del suelo; dando humus como producto final.
- Despulpado:** Operación de separación de la pulpa del café por presión en los pulperos, en el proceso de beneficiado de café.
- Diseño Estadístico:** Arreglo a las variables en estudio para garantizar al experimentador la obtención de datos relevantes a su hipótesis en forma económica.
- Macroelementos:** Elementos que las plantas requieren en mayores cantidades para su crecimiento, como es nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio, magnesio, carbono.

**Microelementos:** Son elementos que se requieren en cantidades muy pequeñas para el crecimiento de las plantas, como el boro, cobre, hierro, zinc, manganeso.

**Pulpa:** Epicarpio del fruto de café.

**Pulperos:** Máquinas que separan el Epicarpio y parte del mesocarpio del cafeto; aprovechando la calidad lubricante del mucílago.

**Repetición:** Número de veces que un tratamiento aparece en el experimento.

**Sustrato:** Es un medio de sostén para la proliferación de microorganismos.

**Tratamiento:** Es todo aquello que introduce variación en las respuestas de las unidades experimentales.

**Unidad**

**Experimental:** Es el material o lugar sobre el cual se aplican los tratamientos en estudio. En nuestro caso es la abonera.

## 6.0 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la utilización de la pulpa de café lo más fresca posible, para el mejor aprovechamiento de su humedad al ser mezclada con los demás componentes.
2. Se recomienda la reducción del tamaño de la hojarasca, y que se incorpore humedeciendo el compost para facilitar su transformación.
3. Como mejor método se recomienda la construcción de aboneras con dimensiones mínimas de  $1 \text{ m}^3$ , de acuerdo con la evidencia estadística y económica presentada en este trabajo.
4. En cuanto a los requerimientos de aireación se pueden realizar volteos de al menos cada 15 días, siendo mejor hacerlos cada 8 días, para promover una mejor distribución de la población microbiana y así obtener un mejor y más rápido material degradado.
5. Se recomienda la utilización de estiércol bovino, como componente de la mezcla, si se dispone de una fuente o establo cercano, ya que esta representa un medio para el incremento de fósforo y de potasio, aunque estadística-

## 8.0 REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Almanaque Mundial 1994. Editorial América S.A. El Salvador. pág 578.
2. Asociación Salvadoreña de Beneficiadores y Exportadores de Café (ABECAFE). "Primer Censo Nacional del Café". Publicación No. 2: El Salvador, 1993.
3. Asociación de Amigos del país de Guatemala. "Como hacer abono orgánico". Centro regional de ayuda técnica II, AID, Guatemala, 1988.
4. Braham, J.E. "Pulpa de café". Composición, tecnología y utilización. Colombia, 1978.
5. Centro de investigaciones del café (CICAFE). Instituto del café de Costa Rica. "Elaboración de Bioabono a partir de pulpa de café". Costa Rica, 1992.
6. Fassbender, H.W. "Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina". Segunda edición. Costa Rica, 1987.
7. Foth, H. "Fundamento de la ciencia del suelo". Cuarta Edición Editorial Continental. México, 1990.

8. Haarer, A.E. "Producción moderna del café" Editorial Klaus, Tercera Edición. México. 1969
9. Huez, E.B. y Ayala A.S. "Bases para la optimización de un proceso de beneficiado de café: un enfoque de Ingeniería Química" Trabajo de Graduación para optar al grado de Ingeniero Químico. Universidad de El Salvador, 1985.
10. Instituto Centroamericano de Investigación Tecnológica e Industrial (ICAITI) "Aprovechamiento de la pulpa para forraje y/o abono agrícola" ANACAFE 6(210) Guatemala, 1981.
11. Larde, G. "Efecto del estiércol de bovinos sobre la fermentación de pulpa café fresca" Boletín técnico. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café (ISIC), El Salvador, 1981.
12. Marroquín, V.R. "Manual de Economía Agrícola Salvadoreña" . Ed. 2ª. Pag.80. El Salvador, 1992.
13. Menchú, J. 1976 "Manual del Beneficiado de café". Guatemala. 1976.
14. Monterrosa J.C. "La pulpa de café y algunas alternativas para su utilización." Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café (PROCAFE). El Salvador. 1993.

15. Mendoza, J.E. "Composteo de desechos agroindustriales para utilizarlos como fuente de humus". Trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniero Químico. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, El Salvador, 1991.
16. Monterrosa, J.C. Ing. Asesor técnico de Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café, PROCAFE. Entrevista personal, El Salvador, 1993.
17. Nuila, J.A. "Manual de diseño experimental con aplicación a la agroindustria y ganadería" Universidad de El Salvador, 1990.
18. Parra, H. "Metodos prácticos para acelerar la descomposición del compost. Centro Nacional de Investigaciones del Café (CICAFE). Colombia, 1964.
19. Reyes, J. "Modelo de Utilización integral de la basura doméstica Urbana". Trabajo de Graduación para optar al título de Ingeniero Químico. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, El Salvador, 1988.
20. Suárez, F. "Valor de la pulpa de café como abono". Boletín informativo No. 5, Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café (ISIC). El Salvador, 1960.

21. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CYMMIT), "Formulación de recomendaciones a partir de datos agrónomicos", Manual Metodológico de Evaluación Económica, Edición revisada, México, D.F. México, 1988.
22. John R. Canadá, "Ingeniería Económica", Compañía Continental, S.A. de C.V., Sexta Impresión, Mayo, México, 1985.
23. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA), "Guía Técnica de CENTA para granos básicos". El Salvador, 1987.
24. Aguirre, Carlos. "Comunicación Personal"; Facultad de Ciencias Agronómicas, Depto. de Efadología, Universidad de El Salvador, El Salvador, Octubre, 1994.
25. Cubías José Eduardo. "Abono Orgánico" para recuperar la Fertilidad del Suelo", Suplemento Campo, La Prensa Gráfica, El Salvador, 21 de Septiembre, 1993.
26. Atkinson, H.J. "Manual and Compost", Departamento de Agricultura, Toronto, Canadá, 1962.
27. Comunicación Personal. Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café (PROCAFE). El Salvador, 1994.



**ANEXO A**  
**DATOS EXPERIMENTALES**

CUADRO A1

VALORES PROMEDIOS DE TEMPERATURA POR SEMANA PARA 8 TRATAMIENTOS CON TRES REPETICIONES PARA LA PRODUCCION DE ABONO ORGANICO

SEM	ABONERA	MP8			MP15			MP8			MP15		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1		50.76	49.75	51.09	45.90	47.90	52.00	49.39	52.56	53.50	48.00	49.86	49.00
2		47.90	44.00	49.33	43.38	48.19	46.19	42.38	44.09	48.76	45.28	47.81	49.43
3		33.19	30.76	37.52	35.76	40.47	32.33	33.38	37.33	37.52	34.86	36.66	43.00
4		29.05	27.89	32.94	28.77	31.11	28.44	27.94	31.89	31.61	27.61	29.05	32.22
5		26.89	25.33	28.88	27.66	28.88	29.33	25.44	27.55	27.77	28.66	28.22	30.22
6		25.00	24.78	26.99	25.77	26.89	27.44	24.89	26.77	26.78	26.11	26.89	27.44
7		24.00	24.22	26.11	26.33	25.77	27.33	24.44	27.00	25.55	25.78	25.55	26.55
8		25.33	25.66	27.22	27.44	26.55	28.33	25.55	27.66	26.55	26.11	26.77	25.55
9		24.33	25.22	27.66	26.33	25.88	28.33	24.72	27.66	25.66	25.44	26.44	27.00
10		24.22	25.55	27.44	26.55	25.66	28.89	25.55	27.77	26.33	25.22	27.11	37.00
11		24.66	25.25	26.08	25.50	25.33	26.58	25.33	27.00	26.66	25.33	25.66	26.08
12		24.33	24.66	25.67	25.00	25.00	26.50	25.16	26.00	25.50	25.17	25.66	25.83
13		24.33	24.66	26.00	25.00	26.33	26.66	25.66	26.33	25.66	25.00	25.66	26.00

SEM	ABONERA	MP8			MP15			MP8			MP15		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1		46.12	48.07	48.07	40.98	46.26	41.00	49.30	54.78	47.78	46.36	49.02	47.76
2		45.00	46.95	48.05	39.52	45.09	41.66	46.09	53.71	49.04	46.14	44.95	48.04
3		38.33	43.33	43.71	35.71	34.42	42.76	34.14	43.57	47.23	38.52	40.04	44.62
4		31.83	32.44	36.83	28.11	28.22	38.94	30.11	37.72	39.83	30.61	32.05	34.94
5		27.22	29.00	29.77	25.55	28.11	30.89	27.11	32.22	31.44	28.89	28.89	31.78
6		25.88	27.66	28.22	24.44	26.89	28.89	26.00	29.00	28.89	27.77	27.22	29.22
7		26.00	28.55	27.00	23.66	25.77	27.88	26.00	28.89	27.55	27.33	27.11	29.11
8		26.22	28.33	28.66	25.11	26.77	28.22	26.77	28.77	28.11	27.89	28.33	30.33
9		25.11	27.66	27.89	25.44	26.55	28.77	26.22	28.33	27.77	27.77	27.55	29.33
10		25.00	27.11	27.89	25.22	27.00	27.33	25.77	26.88	26.94	27.78	27.44	28.33
11		24.41	25.91	26.58	24.66	26.25	25.83	25.50	26.41	26.41	26.17	26.08	25.91
12		24.33	25.17	25.67	23.83	24.17	25.83	24.50	26.33	25.83	26.16	25.67	26.67
13		24.66	25.33	26.00	24.33	25.33	26.33	25.66	26.66	27.33	26.66	26.00	27.00

CUADRO A2

VALORES PROMEDIOS DE pH POR SEMANA PARA 8 TRATAMIENTOS CON TRES REPETICIONES PARA LA PRODUCCION DE ABONO ORGANICO

SEM	ABONERA	T1			T2			T3			T4		
	REPPLICAS	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0		4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
1		8.5	6.6	5.8	8.1	8.1	6.1	8.3	7.7	5.2	8.5	6.4	5.2
2		8.4	9.2	9.0	8.7	9.3	8.9	8.2	9.5	9.2	9.3	9.3	8.7
3		8.6	8.2	9.2	8.5	9.0	9.1	7.9	8.6	8.2	8.1	8.3	9.5
4		7.0	8.1	8.2	8.6	8.7	7.9	8.0	8.3	8.0	8.1	8.1	8.8
5		6.6	7.7	8.2	7.9	8.1	7.0	7.8	8.2	8.0	7.6	8.1	8.6
6		6.6	7.9	8.1	7.9	8.3	7.0	7.8	8.1	7.7	7.4	8.3	8.5
7		6.3	7.5	7.8	7.9	7.8	6.9	7.7	7.9	7.6	7.1	8.2	8.2
8		6.1	7.2	7.5	7.2	7.6	6.4	7.3	7.8	7.4	6.9	7.9	7.9
9		6.0	7.0	7.2	7.3	7.5	6.5	7.1	7.5	7.3	6.8	7.7	7.9
10		6.6	7.4	7.9	7.8	8.0	7.0	7.6	8.0	7.8	7.2	8.0	8.0
11		6.0	6.9	7.2	7.3	7.5	6.3	7.2	7.5	7.3	6.8	7.8	7.5
12		5.8	6.8	7.3	7.4	7.2	6.3	7.1	7.3	7.3	6.6	7.6	7.6
13		6.0	6.8	7.1	7.2	7.2	6.3	7.1	7.2	7.2	6.8	7.6	6.9
SEM	ABONERA	T5			T6			T7			T8		
0		4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
1		8.0	5.8	8.2	8.5	8.6	4.3	7.1	7.6	5.6	8.4	5.7	5.5
2		8.0	9.6	9.3	8.1	9.3	9.0	9.0	8.0	8.8	8.7	9.2	8.2
3		8.9	9.0	9.3	8.4	8.1	8.5	7.8	8.8	8.7	7.4	8.5	8.5
4		7.5	8.5	8.7	7.9	7.7	7.8	7.6	8.2	7.7	8.1	9.0	8.3
5		6.7	8.4	8.3	6.7	7.0	7.2	7.5	8.2	8.2	7.2	7.9	8.1
6		6.6	8.2	8.0	6.5	7.0	7.2	7.4	8.1	8.1	7.4	7.7	8.1
7		6.5	8.2	8.0	6.7	6.7	7.5	7.3	7.9	8.0	7.3	7.6	8.0
8		6.1	7.8	7.3	6.4	6.5	6.6	6.9	7.5	7.5	6.8	7.3	7.5
9		6.0	7.6	7.4	6.1	6.3	6.5	6.8	7.4	7.3	6.8	7.1	7.4
10		6.5	8.1	8.1	6.7	6.8	7.1	7.2	7.7	7.9	7.9	7.5	8.4
11		6.0	7.7	7.3	6.2	6.4	6.6	6.8	7.4	7.3	6.7	7.0	7.4
12		5.1	7.7	7.4	5.5	6.6	6.6	7.0	7.3	7.0	6.7	7.2	7.2
13		5.0	7.5	7.3	6.4	6.5	6.6	6.7	7.1	7.3	5.8	7.0	7.2

T1 = TRATAMIENTO 1

SEM = SEMANA

CUADRO A3

VALORES DE % DE HUMEDAD POR SEMANA PARA 8 TRATAMIENTOS CON TRES REPETICIONES PARA LA PRODUCCION DE ABONO ORGANICO

SEMANA	T	T1			T2			T3			T4		
	REPLICAS	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0		49.65	49.65	49.65	49.65	49.65	49.65	42.44	42.44	42.44	42.44	42.44	42.44
1		42.30	39.61	55.40	38.06	57.67	52.58	46.50	35.14	44.02	32.11	48.27	38.35
2		27.09	32.06	41.04	24.41	36.86	27.44	35.28	28.96	22.21	31.26	52.06	46.43
3		28.67	31.33	25.08	24.01	40.72	21.72	28.21	15.87	33.45	21.69	24.49	19.48
4		24.74	29.38	29.43	3.97	25.83	23.21	26.55	20.17	22.35	21.96	17.35	30.53
5		28.74	23.93	22.42	21.76	35.49	13.95	17.44	11.97	17.89	19.72	23.66	28.63
6		22.65	25.73	21.32	25.84	32.08	15.90	25.57	11.86	22.08	24.07	24.25	34.66
7		17.38	17.95	18.82	16.80	23.64	11.98	22.68	10.51	16.99	21.42	20.16	24.83
8		16.15	13.58	11.40	21.38	23.72	11.55	16.40	7.34	18.72	18.75	19.35	20.74
9		12.01	10.70	11.64	7.65	20.13	9.67	15.58	7.23	13.04	14.39	17.90	18.02
10		13.80	13.47	10.54	11.95	20.60	7.87	13.34	8.62	15.40	16.97	15.89	15.45
11		37.63	12.89	8.01	12.99	15.53	6.60	11.50	11.55	11.84	11.98	13.73	10.70
12		12.63	22.44	18.63	12.23	32.84	11.04	20.81	18.85	11.22	18.22	18.70	19.03
13		18.28	22.31	12.34	22.14	24.25	10.74	19.93	22.03	14.62	24.17	22.03	26.14
SEMANA	T	T5			T6			T7			T8		
	REPLICAS	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0		49.65	49.65	49.65	49.65	49.65	49.65	42.44	42.44	42.44	42.44	42.44	42.44
1		41.59	35.45	34.79	52.07	29.73	46.74	51.62	42.63	45.00	29.12	49.33	40.72
2		33.88	38.80	42.07	28.69	32.90	44.18	19.55	29.39	36.77	34.11	45.98	20.40
3		26.78	29.95	26.66	34.50	35.00	20.70	21.54	21.54	20.88	24.58	29.77	26.89
4		25.23	24.54	23.35	39.13	35.84	25.71	25.35	26.81	20.32	25.84	20.65	33.10
5		19.51	24.13	25.55	20.68	28.98	21.76	35.01	21.46	21.79	30.36	19.82	20.41
6		29.57	24.90	25.21	30.95	33.21	25.18	25.40	19.18	26.51	27.71	20.08	23.37
7		20.86	20.89	17.76	27.96	27.23	24.34	23.29	14.65	25.14	31.21	18.34	20.41
8		19.05	18.77	17.43	22.10	28.25	15.57	22.83	13.48	19.28	27.36	19.90	18.20
9		14.29	13.90	14.58	18.00	23.15	15.70	19.60	10.73	14.46	16.60	17.05	13.24
10		19.95	16.94	15.26	20.11	22.42	13.76	19.30	12.72	14.77	20.73	15.34	20.05
11		20.75	14.78	15.54	20.50	22.70	17.38	21.46	19.42	18.24	18.45	12.78	15.51
12		28.30	25.37	26.62	26.30	34.46	25.88	32.46	21.74	30.92	26.46	27.77	19.22
13		30.68	27.47	25.28	31.56	38.12	28.35	36.18	23.45	34.89	34.92	29.64	28.42

T = TRATAMIENTOS

CUADRO A4.

VALORES DE % DE CENIZA DE LAS 24 ABONERAS, MEDIDOS DURANTE LA ETAPA EXPERIMENTAL

SEMANA	ABONERA	T1			T2			T3			T4		
	REPLICAS	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0		61,25	61,25	61,25	61,25	61,25	61,25	10,91	10,91	10,91	10,91	10,91	10,91
4		77,64	83,34	81,83	85,36	81,05	86,25	80,89	71,38	82,92	74,88	83,05	73,36
7		78,24	83,42	78,85	83,73	79,73	85,97	84,08	78,44	83,60	77,24	75,64	82,88
10		81,17	84,42	75,88	79,43	78,30	84,93	81,68	79,48	82,42	77,14	71,72	79,45
13		77,64	84,70	89,14	82,53	82,67	86,67	81,67	78,90	82,95	79,16	79,67	81,52
SEMANA	ABONERA	T5			T6			T7			T8		
	REPLICAS	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0		61,25	61,25	61,25	61,25	61,25	61,25	10,91	10,91	10,91	10,81	10,91	10,91
4		84,95	80,11	80,22	83,06	76,67	87,53	77,38	77,50	84,54	78,32	81,34	73,36
7		85,94	84,74	82,95	82,04	77,45	86,04	74,25	78,76	79,29	80,25	86,66	83,03
10		83,29	89,08	82,27	84,97	82,44	85,58	82,70	80,75	81,21	78,03	84,99	77,61
13		85,30	85,77	86,54	87,02	80,10	87,12	81,60	82,02	82,45	78,36	84,86	83,00

CUADRO A5

CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA, CENIZAS, MACRO Y MICROELEMENTOS, C/N, DE OCHO TRATAMIENTOS PARA LA PRODUCCION DE ABONO ORGANICO

	% Mat. Orgánica		% Cenizas		% C		% N		C/N		% P		% K		% Ca		% Mg		% S		ppm Fe		ppm Mn		ppm B		ppm Cu		ppm Zn	
	S1	S13	S0	S13	S0	S13	S0	S13	S0	S13	S0	S13	S0	S13	S0	S13	S0	S13	S0	S13	S0	S13	S0	S13	S0	S13	S0	S13	S0	S13
T <sub>1</sub> MFO	39.75	22.84	61.25	77.16	21.53	13.41	1.10	0.55	19.57	26.29	0.106	0.103	0.95	0.416	0.68	0.743	0.24	0.235	0.344	0.391	11,200	13675.28	238.6	318.23	25.31	37.9	86.10	80.76	45.6	47.3
T <sub>2</sub> MFO	39.75	16.03	61.25	84.02	21.53	8.27	1.10	0.70	19.57	14.02	0.106	0.101	0.95	0.476	0.68	0.66	0.24	0.231	0.344	0.413	11,200	12615.03	238.6	284.3	25.31	39.9	86.10	70.3	45.6	40.26
T <sub>3</sub> MFO	43.3	18.82	56.70	81.17	24.06	16.78	1.25	0.79	19.43	19.45	0.176	0.264	1.0	0.523	0.86	0.76	0.23	0.245	0.345	0.373	8,100	9141.6	180.6	304.73	24.70	44.06	86.7	70.63	24.8	48.23
T <sub>4</sub> MFO	43.3	19.81	56.70	80.18	21.53	11.01	1.25	0.736	19.43	15.89	0.176	0.15	1.06	0.48	0.86	0.83	0.23	0.248	0.345	0.35	8,100	12955.23	180.6	313.8	24.70	42.33	86.7	74.3	24.8	49.63
T <sub>1</sub> ZFO	39.75	14.13	61.25	85.87	21.53	7.65	1.10	0.62	19.57	12.75	0.106	0.238	0.95	0.46	0.68	0.76	0.24	0.248	0.344	0.378	11,200	15340.23	283.6	327.36	25.31	43.46	86.10	75.63	45.6	46.73
T <sub>2</sub> ZFO	39.75	15.25	61.25	84.74	21.53	8.48	1.10	0.57	19.57	14.65	0.106	0.103	0.95	0.41	0.68	0.73	0.24	0.243	0.344	0.377	11,200	14388.96	283.6	328.36	25.31	40.63	86.10	40.63	45.6	57.06
T <sub>3</sub> ZFO	43.3	17.97	56.70	82.02	24.06	9.886	1.25	0.62	19.43	16.84	0.176	0.148	1.06	0.453	0.86	0.796	0.23	0.256	0.345	0.434	8,100	13709.7	180.6	324.9	24.70	42.6	86.70	50.46	24.80	58.30
T <sub>4</sub> ZFO	43.3	17.92	56.70	82.08	24.06	9.95	1.25	0.66	19.43	16.71	0.176	0.2856	1.06	0.493	0.86	0.806	0.23	0.257	0.345	0.37	8,100	13952.5	180.6	332.63	24.70	41.46	86.70	41.46	24.80	47.0

S0 = Semara oro  
S13 = Semara trece

**ANEXO B**  
**CALCULO Y ANALISIS ESTADISTICOS**  
**DE LA EXPERIMENTACION**  
**REALIZADA**

### B.1. Cálculo de ANOVA de la variable respuesta

#### Temperatura Utilizando el paquete INSTAT.

Las hipótesis que se probaron para bloques y tratamientos son las siguientes:

Para bloques:

Ho. = Los bloques tendran un efecto estadísticamente igual sobre las variables respuestas.

Para tratamientos

Ho. = Los tratamientos tendrán un efecto estadísticamente igual sobre las variables respuestas.

Para el presente ejemplo de cálculo de ANOVA se utilizarón los datos de temperatura de la semana 1 que se muestran en el cuadro B1



CUADRO B.1

DATOS DE TEMPERATURA DE 8 TRATAMIENTOS Y TRES  
REPETICIONES TOMADOS EN LA SEMANA 1 (°C)

TRATAMIENTOS	BLOQUES		
	I	II	III
T1	50.76	49.75	51.09
T2	45.90	47.90	52
T3	49.39	52.56	53.5
T4	48.0	49.86	49
T5	46.12	48.07	48.07
T6	40.98	46.26	41.0
T7	49.3	54.78	47.78
T8	46.36	48.02	47.76

El programa de INSTAT que calcula el efecto de los bloques y tratamientos es el siguiente:

CREAR @ T1; Column 10 24; LABEL 6 2 (CREA EL ARCHIVO)

TITULO: ANOVA de temperatura Semana 1

Spool @ C: T1 (Asigna a la unidad C como medio de almacenamiento).

DATA 1: 1 1	50.76	DATA 13: 5 1	46.12
DATA 2: 1 2	49.75	DATA 14: 5 2	48.07
DATA 3: 1 3	51.09	DATA 15: 5 3	48.07
DATA 4: 2 1	45.90	DATA 16: 6 1	40.98
DATA 5: 2 2	47.90	DATA 17: 6 2	46.26
DATA 6: 2 3	52	DATA 18: 6 3	41
DATA 7: 3 1	49.39	DATA 19: 7 1	49.3
DATA 8: 3 2	52.56	DATA 20: 7 2	54.78
DATA 9: 3 3	53.5	DATA 21: 7 3	47.78
DATA 10: 4 1	48	DATA 22: 8 1	46.36
DATA 11: 4 2	49.86	DATA 23: 8 2	48.02
DATA 12: 4 3	49	DATA 24: 8 3	47.76

FACTOR X1 8 (DEFINE A LA COLUMNA 1 Y 2 COMO FUENTE DE  
 FACTOR X2 3 VARIACION)  
 NAME X1 "BLOQUE"  
 NAME X2 "TRATAMIENTO" (NOMBRA LAS COLUMNAS)  
 NAME X3 "TEMPERATURA"  
 TERMS X1 X2 X3  
 Y V A X 3 (DEFINE A LA COLUMNA 3 COMO LA VARIABLE  
 DEPENDIENTE)  
 ANOVA X1 X2 (CALCULA ANVA DE COLUMNA 1 Y 2)

ANOVA TABLE FOR TEMPERAT					
Source	Of	SS	MS	F	Prob.
Bloques	2	26.835	13.418	3.5	0.060
Tratamie	7	166.1	23.728	6.1	0.002
Error	14	54.246	3.8747		
Coefficient of Variation 4.1%					

El nivel de significación para ANOVA fué de 5% se asume este valor cuando las investigaciones se realizan en el campo.

Los datos producidos por INSTAT se interpretan así:

1. Si la probabilidad (Prob. en la tabla) es mayor que 0.05 se acepta  $H_0$ .
2. Si la probabilidad es menor que 0.05 se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$

#### CONCLUSIONES DE ANOVA

De acuerdo a lo anterior, para bloques acepta  $H_0$  y para tratamientos se acepta  $H_1$ . Los bloques no produjeron efecto sobre la temperatura en la semana 1, los tratamientos sí.

Cuando los tratamientos son significativos ( $H_1$  verdadera) se aplica la prueba de  $t$  para seleccionar el mejor tratamiento y se calcula por medio de ANOVA el efecto de los factores y sus interacciones.

## B.2 EJEMPLO DE CALCULO DE LA PRUEBA $t$ .

Para determinar  $t$  calculado se utiliza la ecuación

$$t_c = \frac{VMV - VMO}{SO} \quad (1)$$

VMV = Valor medio de la variable en estudio  
 VMO = Valor medio óptimo  
 SO = Desviación estándar del valor medio óptimo.

Para determinar  $t$  de tablas ( $tt$ ) se utilizó la tabla de puntos porcentual de la distribución  $t$ .

Para leer los datos de  $tt$  se entra en la tabla con  $v$  grados de libertad del error (son 14) y con la probabilidad (0.05). El valor de  $tt$  para esta prueba es de 1.761.

Los criterios que debe cumplir el mejor tratamiento son:

1.  $t_c < tt$
2.  $VMV - VMO = 0$

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo. Los

datos promedio de temperatura para la semana 1 están tabulados en el cuadro B.2

### CUADRO B.2

#### DATOS PROMEDIO DE TEMPERATURA DE LA SEMANA 1 PARA CALCULAR LA PRUEBA DE t

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA (°C)	T AMBIENTE (°C)	SO
T1	50.54	24.44	2.59
T2	48.6	24.44	2.59
T3	51.82	24.44	2.59
T4	48.95	24.44	2.59
T5	47.42	24.44	2.59
T6	42.75	24.44	2.59
T7	50.62	24.44	2.59
T8	47.38	24.44	2.59

Aplicando la ec (1) al tratamiento 1 (T1) se obtiene:

$$t_c = \frac{50.54 - 24.44}{2.59} = 9.28$$

$$t_c = 9.28$$

De acuerdo al resultado anterior:  $t_c > t_t$  ( $9.28 > 1.761$ ), por lo tanto se acepta la hipótesis alterna  $H_1$  y se interpreta el resultado diciendo que el valor de temperatura del tratamiento 1 es estadísticamente diferente al valor de temperatura promedio del ambiente.

El cuadro B.3 muestra los valores de  $t_c$ ,  $t_t$  y la hipótesis que resulta verdadera.

CUADRO B.3

CUADRO RESUMEN DE LOS VALORES DE  $t$  CALCULADO,  $t$  de TABLAS Y LA HIPOTESIS QUE RESULTA VERDADERA DE LA COMPARACION DE LOS VALORES DE  $t$

TRATAMIENTOS	$t_c$	$t_t$	Hipótesis Verdadera
T1	10.077	1.761	H1
T2	9.28	1.761	H1
T3	10.57	1.761	H1
T4	9.46	1.761	H1
T5	8.87	1.761	H1
T6	7.06	1.761	H1
T7	10.10	1.761	H1
T8	8.85	1.761	H1

CONCLUSION:

En todos los tratamientos se acepta la hipótesis alterna. De acuerdo a Parra (14) en las primeras etapas de degradación se producen las temperaturas más altas, lo que contribuye a acelerar la descomposición y eliminar microorganismos patógenos. Tomando en cuenta lo anterior el criterio técnico que se aplicó en la semana 1 fué: "El mejor tratamiento es el que presenta mayor diferencia entre  $t_c$  y  $t_t$ ". El mejor tratamiento en la semana 1 fue: T3 (montículo, estiércol-pulpa, volteo cada 8 días).

Para la semana 2,5,6,7,8,12 y 13 el criterio técnico para determinar el mejor tratamiento fue: "el mejor tratamiento es el que cumple  $t_c < t_t$  y  $t_c$  es el menor valor de todos los tratamientos".

### B.3 Ejemplo de calculo de ANOVA de la temperatura Para - determinar el Efecto de los Factores y sus Interacciones.

De acuerdo a los resultados de ANOVA para bloques y tratamientos, si estos últimos fueron estadísticamente significativos se determinó el efecto de los factores y sus interacciones.

Los datos para este ejemplo fueron los utilizados para el cálculo del efecto de bloques y tratamientos. (Cuadro B.1)

Las hipótesis que se probaron fueron las siguientes:

Ho. = Los factores experimentales y sus combinaciones tendrán un efecto estadísticamente igual sobre las variables respuestas.

H1 = Los factores experimentales y sus combinaciones tendrán un efecto estadísticamente diferente sobre las variables respuestas.

El programa de INSTAT para determinar el efecto de los factores y sus interacciones es el siguiente:

```
CREAR @TT1; COLUMN 10 24; LABEL 6 2 SEM.1  
SPOOL @c" TT1
```

```

" ENTER "T"
Data 1: 50.76 49.75 51.09 45 47.9 52 49.39 52.56 53.5 48
49.86 49
data 13: 46.12 48.07 40.98 46.26 41 49.3 54.78 47.78 46.36
48.02 47.76
: ENT "A"
data 1: 12 (1)2)
: ENT "V"
data 1: 3 (1)2)4
: ENT 'F'
data 1: 6 (1)2)2
: ENT L1
data 1: A1 A2
: ENT L2
data 1: V1 V2
: ENT L3
data 1: F1 F2
: FAC 'A' L1
: FAC 'V' L2
: FAC "F" L3
: DIS X1 - X4; LAB
: INT 'A' 'V' X5
: INT 'A' 'F' X6
: INT 'A' X7 X8
: YVA 'T'
: ANOVA X2-X8

```

Row	T	A	V	F
1	50.76	A1	V1	F1
2	49.75	A1	V1	F1
3	51.09	A1	V1	F1
4	45.90	A1	V2	F1
5	47.90	A1	V2	F1
6	52.00	A1	V2	F1
7	49.39	A1	V1	F2
8	52.56	A1	V1	F2
9	53.50	A1	V1	F2
10	48.00	A1	V2	F2
11	49.86	A1	V2	F2
12	49.00	A1	V2	F2
13	46.12	A2	V1	F1
14	48.07	A2	V1	F1
15	48.07	A2	V1	F1
16	40.98	A2	V2	F1
17	46.26	A2	V2	F1
18	41.00	A2	V2	F1
19	49.30	A2	V1	F2
20	54.78	A2	V1	F2
21	47.78	A2	V1	F2
22	46.36	A2	V2	F2
23	48.02	A2	V2	F2
24	47.76	A2	V2	F2

**CUADRO B.4**  
**RESULTADOS QUE PRODUCE EL PAQUETE INSTAT**

Source	DF	SS	MS	F	Prob
A	1	51.656	51.656	13.3	0.006
V	1	60.579	60.579	8.70	0.003
F	14	33.63	33.63	15.60	0.020
AV	1	3.6426	3.6426	3.7	0.409
AF	1	14.40	14.40	0.9	0.11
VF	1	0.095	0.095	0.0	0.893
AVF	14	2.0945	2.0945	0.5	0.529
Error		54..246	3.874		
TOTAL	23	247.18			

De acuerdo a los resultados de la tabla de ANOVA (Cuadro B4) para los factores son significativos ( $H_1$  verdadera) aquellos cuya probabilidad (Prob. en el Cuadro B.4) es menor que 0.05. por lo tanto resultaron significativos los factores: A (tipo de abonera), V (volteos), y F (fuente de nitrógeno). Cuando los factores o sus interacciones fueron significativos se hizo una comparación de medidas de los niveles, y se seleccionó el mejor nivel de acuerdo a criterios técnicos.

Por ejemplo en la semana 1 se produjeron las temperaturas más altas, de acuerdo con Parra (14) a estas temperaturas se activa el metabolismo de los microorganismos y se destruyen gérmenes patógenos del abono orgánico, por lo tanto en la semana 1, técnicamente el mejor nivel de los factores es el que presenta la temperatura más alta. de acuerdo con los resultados de ANOVA para el factor A el mejor nivel es A1 (49.98 °C) para el factor V el nivel V1 (50.1 °C) y para el factor F el nivel F2 (49.69 °C).



#### B.4. Cálculo de la Prueba de Tukey para la Humedad

Esta prueba es utilizada para hacer todas las comparaciones múltiples que son posibles. En este caso se compararon 8 tratamientos, realizándose un total de 28 comparaciones.

Se aplicó la prueba a los datos de humedad obtenidos en la semana 13, ya que el ANOVA para la humedad mostró que F calculada fué significativa para tratamientos. Condición previa necesaria para que la prueba sea válida.

El procedimiento consiste en calcular el factor de corrección de Tukey, de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$W = qtS_x \quad (2)$$

qt = Valor que se lee en la "tabla de valores de qt para la prueba de Tukey. Para leer dicho valor se entra en la tabla con el número de tratamientos (son 8) y con el nivel de significancia (5%).

$$qt = 4.99$$

S<sub>x</sub> = Desviación media del error

$$S_x = \sqrt{(CME)/n} = \sqrt{[(20.412)/3]} = 2.6 \quad (3)$$

$$S_x = 2.6$$

En donde:

CME = Cuadrado medio del error

CME = 20.412

n = Número de repeticiones

n = 3

Por lo tanto:

$$w = 4.99 \times 2.6$$

$$w = 12.974$$

Para aplicar la prueba se procedió de la siguiente forma:

- a) Se ordenan las medidas de los tratamientos en orden creciente.
- b) Se calculan las diferencias entre medias y se tabulan en un cuadro de doble entrada.
- c) Se aplica la prueba de significancia. Cualquier valor mayor que 12.974 debe considerarse significativo.

En el cuadro de doble entrada B.5 se muestran las diferencias entre tratamientos.

**Cuadro B.5**

**CUADRO DE DOBLE ENTRADA DE LA PRUEBA DE TU KEY  
PARA LA HUMEDAD EN LA SEMANA 13.**

TRATAMIENTOS	T6	T7	T8	T5	T4	T2	T3	T1
<b>MEDIA</b>	32.68	31.51	30.99	27.81	24.11	19.04	18.86	17.64
T1	17.64	15.04*	13.87*	13.35*	10.17	6.47	1.4	0
T3	18.86	13.82*	12.65	12.13	8.95	5.25	0.18	0
T2	19.04	13.64*	12.47	11.95	8.77	5.07	0	
T4	24.11	8.57	7.4	6.88	3.7	0		
T5	27.81	4.87	3.7	3.18	0			
T8	30.99	1.69	0.52	0				
T7	31.51	1.17	0					
T6	32.68	0						

De acuerdo a la prueba de Tu key el tratamiento 6 (T6) es más significativo que los tratamientos T7 y T8, por lo tanto es el mejor, ya que presenta el más alto contenido de humedad.

### B.5 Cálculo de la Prueba de Turkey para el Contenido de Fósforo

El ANOVA de fósforo para la semana 13 mostró que F calculada para tratamientos resultó significativa por lo que se aplicó esta prueba para determinar el mejor de ellos.

Aplicando la ecuación (3):

$$S_x = \sqrt{(CME)/n} = \sqrt{[(0.00011)/3]} = 0.0061$$
$$S_x = 0.0061$$

Por lo tanto aplicando la ecuación (2):

$$W = 4.99 \times 0.0061$$
$$W = 0.0304$$

La prueba de significancia consiste en que cualquier diferencia entre tratamientos mayor que 0.0304 debe considerarse significativa.

El cuadro de doble entrada B.6 muestra la diferencia entre medias de tratamientos.

CUADRO B.6

CUADRO DE DOBLE ENTRADA DE LA PRUEBA DE TUKEY PARA  
EL CONTENIDO DE FOSFORO EN LA SEMANA 13

TRATAMIENTOS	T4	T8	T7	T3	T5	T1	T6	T2
MEDIA	0.1503	0.1487	0.1480	0.144*	0.1097	0.1037	0.1033	0.1017
T2	0.1017	0.0486*	0.047*	0.048*	0.042*	0.008	0.002	0
T6	0.1033	0.047*	0.0454*	0.044*	0.04*	0.006	0.0	0
T1	0.1037	0.0466*	0.045*	0.044*	0.04*	0.006	0	
T5	0.1097	0.0406*	0.039*	0.038*	0.034*	0		
T3	0.144	0.0063	0.0047	0.004	0			
T7	0.148	0.0023	0.0	0				
T8	0.1487	0.0016	0					
T4	0.1503	0						

De acuerdo a la prueba de Tukey, los tratamientos T4, T8, T7 y T3 tienen el mismo nivel de significancia; por lo tanto son los mejores. El rasgo común de los cuatro es el contenido de pulpa-estiércol como fuente de nitrógeno.