

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

TRANSFORMACION DE LA PULPA DE CAFE EN COMPOST, UTILIZANDO LA
LOMBRIZ COQUETA ROJA (Eisenia fetida) Y
UN DEGRADADOR ENZIMATICO DE RASTROJOS.

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR:

CESAR AUGUSTO IXCOT GONZALEZ

En el acto de su investidura como
INGENIERO AGRONOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, MAYO DE 1995.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. JAFETH ERNESTO CABRERA FRANCO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. Efraín Medina Guerra
VOCAL PRIMERO	Ing. Agr. Juan José Castillo Mont
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. Carlos Motta de Paz
VOCAL CUARTO	Prof. Gabriel Amado Rosales Vásquez
VOCAL QUINTO	Br. Saúl Augusto Guerra Gutiérrez
SECRETARIO	Ing. Agr. Marco Romillo Estrada Muy

Guatemala, mayo de 1995.

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

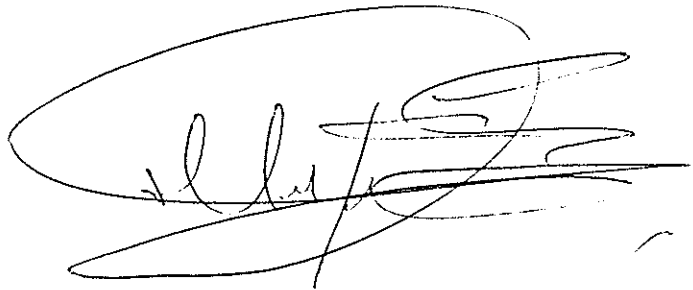
Señores miembros:

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

**TRANSFORMACION DE LA PULPA DE CAFE EN COMPOST, UTILIZANDO LA
LOMBRIZ COQUETA ROJA (*Eisenia fetida*) Y UN
DEGRADADOR ENZIMATICO DE RASTROJOS.**

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

Atentamente,

A large, stylized handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the bottom.

César Augusto Ixcot González

ACTO QUE DEDICO

A DIOS TODOPODEROSO: Por permitirme alcanzar una de mis metas

A LA MEMORIA DE

MI HERMANO: Hugo Rolando Ixcot González

A MIS PADRES:

Héctor Manuel Ixcot Fuentes y

Justa González de Ixcot

Por haberme dado la vida, con profunda gratitud

A MIS HERMANOS:

Julieta, Héctor, Noemí, Jorge, Brenda, Marleny y
Sucely

A MI FAMILIA

EN GENERAL: Con cariño y respeto

TESIS QUE DEDICO

A: Vivian Jeannette Prado Fernández, con mucho amor.

A: Guatemala.

A: La Universidad de San Carlos de Guatemala.

La Facultad de Agronomía.

Mis amigos y compañeros de estudio.

AGRADECIMIENTO

A mis asesores, Ing. Agr. Eduardo Carrillo, Ing. Agr. Ricardo del Valle e Ing. Agr. Negli Gallardo, por su orientación profesional en el transcurso del presente trabajo.

A la Asociación Nacional del Café (ANACAFE), principalmente al Ing. Humberto Jimenez, Ing. Agr. Rudy Sierra, Ing. Agr. Edgar López y a todo el personal técnico del laboratorio de suelos.

Al Lic. Mariano Ventura, por su valiosa colaboración al haber facilitado la finca San Nicolás para la ejecución del trabajo de campo.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo.

C O N T E N I D O.

PAGINA

1.- INTRODUCCION.....	1
2.- DEFINICION DEL PROBLEMA.....	3
3.- JUSTIFICACION.....	5
4.- MARCO TEORICO.....	6
4.1.- Marco conceptual.....	6
4.1.1.-Materia orgánica.....	6
4.1.1.1.-Funciones de la materia orgánica.....	6
4.1.2.- Investigaciones realizadas con lombrices.....	9
4.1.3.- Formas para cultivar y cosechar cápsulas y estiércol de lombrices.....	12
4.1.4.- Características de la lombríz Coqueta Roja.....	13
4.1.4.1.La reproducción.....	14
4.1.4.2.Humedad, temperatura y pH.....	15
4.1.4.3.Humus de la lombríz.....	16
4.1.5.- Investigación realizada con degradador enzimático.....	17
4.1.5.1.Forma de actuar del degradador enzimático.....	17
4.1.6.- Descripción del fruto de café.....	18
4.1.7.- Procesamiento del fruto de café.....	19
4.1.8.- Composición química de la pulpa de café.....	20
4.1.9.- Contaminación de ríos por subproductos del beneficiado.....	21
4.1.10.-Posibles usos de los subproductos del grano de café.....	22
4.1.10.1.Abono orgánico.....	22
4.2.- Marco referencial.....	24
4.2.1.- Descripción del área.....	24
5.- OBJETIVOS.....	25
6.- HIPOTESIS.....	26
7.- MATERIALES Y METODOS.....	27
7.1.- Descripción del trabajo.....	27
7.1.1.- Sistemas que se evaluaron.....	27
7.1.2.- Agentes descomponedores.....	27
7.1.3.- Selección y número de lombrices a utilizar.....	28
7.1.4.- Pulpa utilizada.....	28
7.1.5.- Degradador utilizado.....	28
7.2.- Manejo del material experimental.....	29
7.2.1.- Diseño experimental.....	29
7.2.2.- Técnica de campo.....	30
7.3.- Recopilación de la información.....	32
7.3.1.- Determinación del contenido de nutrientes.....	32
7.3.2.- Determinación de la temperatura y pH.....	33

7.3.3.- Conversión de volumen inicial, peso inicial de pulpa de café a volumen final, peso final de compost.....	34
7.3.4.- Estado de descomposición de la pulpa.....	34
7.3.5.- Tiempo de degradación del sustrato.....	36
7.4.- Presentación y análisis de la información.....	36
8.- RESULTADOS Y DISCUSION.....	38
8.1.- Análisis de elementos totales.....	38
8.1.1.- Pulpa sin transformar.....	38
8.1.2.- Pulpa transformada.....	41
8.2.- Análisis de elementos disponibles.....	43
8.3.- Estado de descomposición de la pulpa.....	45
8.4.- Temperatura y pH.....	51
8.5.- Conversión de volumen inicial, peso inicial de pulpa de café a volumen final, peso final de compost.....	56
8.5.1.- Nutrientes/hectárea aportados al suelo en base de compost de lombrices.....	59
8.5.2.- Nutrientes/hectárea aportados al suelo en base de compost de degradador.....	60
8.6.- Análisis de presupuesto parcial.....	63
8.6.1.- Análisis costos-efectividad.....	63
9.- CONCLUSIONES.....	67
10.- RECOMENDACIONES.....	69
11.- BIBLIOGRAFIA.....	70
12.- APENDICE.....	72

INDICE DE CUADROS.

1.	Tratamientos evaluados.....	29
2.	Distribución espacial de los tratamientos y sus respectivas repeticiones. Finca San Nicolás, Santa María Ixhuatán, Santa Rosa.....	30
3.	Escala de dureza de la pulpa de café tratada y no tratada con degradador enzimático de rastros.....	35
4.	Análisis de elementos totales.....	38
5.	Análisis de elementos totales.....	41
6.	Análisis de elementos disponibles.....	43
7.	Valores (radios) obtenidos a través de la caracterización de materiales húmicos por el método espectrométrico.....	49
8.	Peso final expresado en porcentaje del compost obtenido para cada tratamiento.....	59
9.	Aportación de nutrientes/hectárea de la pulpa al suelo.....	62
10.	Análisis costos-efectividad, para la producción de compost expresado en kilogramos.....	64
11.	Análisis de dominancia, para la producción de compost (kilogramos).....	65
12.	Análisis Tasa Marginal de Eficiencia (TME), para la producción de compost.....	66
13"A".	Análisis de varianza para el N total.....	73
14"A".	Análisis de varianza para el P total.....	73
15"A".	Análisis de varianza para el K total.....	73
16"A".	Análisis de varianza para el Ca total.....	73
17"A".	Análisis de varianza para el Mg total.....	74
18"A".	Análisis de varianza para el S total.....	74
19"A".	Análisis de varianza para el Fe total.....	74
20"A".	Análisis de varianza para el Mn total.....	74
21"A".	Análisis de varianza para el Cu total.....	75
22"A".	Análisis de varianza para el Zn total.....	75
23"A".	Análisis de varianza para el N total.....	75
24"A".	Análisis de varianza para el P total.....	75
25"A".	Análisis de varianza para el K total.....	76
26"A".	Análisis de varianza para el Ca total.....	76
27"A".	Análisis de varianza para el Mg total.....	76
28"A".	Análisis de varianza para el S total.....	76
29"A".	Análisis de varianza para el Fe total.....	77
30"A".	Análisis de varianza para el Mn total.....	77
31"A".	Análisis de varianza para el Cu total.....	77
32"A".	Análisis de varianza para el Zn total.....	77
33"A".	Análisis de varianza para el K disponible.....	78
34"A".	Análisis de varianza para el P disponible.....	78
35"A".	Análisis de varianza para el Ca disponible.....	78
36"A".	Análisis de varianza para el Mg disponible.....	78
37"A".	Análisis de varianza para el S disponible.....	79
38"A".	Análisis de varianza para el Cu disponible.....	79
39"A".	Análisis de varianza para el Fe disponible.....	79
40"A".	Análisis de varianza para el Mn disponible.....	79
41"A".	Análisis de varianza para el Zn disponible.....	80

I N D I C E D E F I G U R A S.

1.	pH en el sustrato. Caja + lombrices.....	52
2.	Temperatura en el sustrato. Caja + lombrices.....	52
3.	pH en el sustrato. Tablón + lombrices.....	55
4.	Temperatura en el sustrato. Tablón + lombrices.....	55
5.	Volumen del sustrato al inicio y al final.....	58
6.	Peso del sustrato al inicio y al final.....	58

v

TRANSFORMACION DE LA PULPA DE CAFE EN COMPOST, UTILIZANDO LA
LOMBRIZ COQUETA ROJA (*Eisenia fetida*) Y UN
DEGRADADOR ENZIMATICO DE RASTROJOS.

TRANSFORMATION TO COMPOST OF THE COFFE PULP, USING RED COQUETTE
EARTHWORM (*Eisenia fetida*) AND A ENZIMATIC DEGRADER OF STUBBLE.

RESUMEN.

El presente trabajo de investigación se realizó en una localidad de la zona cafetalera del suroriente del país, específicamente en la finca San Nicolás, Santa María Ixhuatán, Santa Rosa, teniendo como objetivos, la transformación de la pulpa de café en compost, a través de los agentes descomponedores lombríz Coqueta Roja (*Eisenia fetida*) y el degradador enzimático de rastros Digester +, utilizando dos depósitos o sistemas, caja y tablón. Determinando con lo anterior el tiempo que dura la transformación de la pulpa a compost, el contenido de nutrientes del compost producido y además determinar el tratamiento más eficiente y económico para la obtención de compost.

Para la determinación del contenido de nutrientes se utilizó un diseño completamente al azar con dos factores (bifactorial) y seis repeticiones; los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza, tanto para los elementos totales (pulpa sin transformar y pulpa transformada) como para los elementos disponibles (pulpa transformada). En ninguno de los análisis de varianza efectuados se

obtuvo significancia, lo que indica que el uso de los sistemas y los ^{vi} agentes descomponedores no influyeron en el contenido de nutrientes del compost producido.

El estado de descomposición de la pulpa se determinó a través de la escala de dureza; la pulpa tratada con lombrices para los sistemas caja y tablón, estuvo transformada a compost a los tres meses, alcanzando una condición de totalmente descompuesta; mientras que la pulpa tratada con degradador para los sistemas caja y tablón, estuvo transformada a compost a los cuatro meses, alcanzando una condición de descompuesta. Estos resultados se confirmaron mediante la caracterización de materiales húmicos por el método espectrométrico. Se realizó también el análisis económico Costos-efectividad, estableciendo que entre los tratamientos evaluados el mejor fue donde se utilizó el sistema tablón + degradador, seguido de tablón + lombrices.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda utilizar el tratamiento tablón + lombrices cuyos costos que varían son de Q106.00 y un tiempo total para que la pulpa este descompuesta de 3 meses.

1.- I N T R O D U C C I O N.

Debido al continuo aumento en el precio de los fertilizantes químicos, el caficultor se ve en la necesidad de buscar alternativas para poder reducir los costos de producción, y considerando que cada año se obtienen 10,200,000 quintales de pulpa como subproducto del beneficiado, una de esas alternativas es la utilización de la pulpa de café, sin embargo, para que la pulpa esté totalmente descompuesta, deje de ser un contaminante y pueda ser utilizada como abono orgánico directamente en los almácigos, debe permanecer por un período aproximado de un año, ocupando grandes áreas de terreno, donde es colocada en promontorios de poca profundidad, tiempo durante el cual la pulpa produce contaminación ambiental debido a los malos olores y la consecuente proliferación de plagas como moscas y zancudos.

Con el presente trabajo de investigación, realizado en una localidad de la zona cafetalera del suroriente del país, específicamente en la finca San Nicolás, Santa María Ixhuatán, Santa Rosa, se pretende contribuir a detener en parte la contaminación provocada por la pulpa de café, así como por el uso exclusivo de los fertilizantes químicos, esto se puede lograr mediante la transformación de la pulpa, que es un producto de desecho a un producto aprovechable como el compost y de esta manera beneficiar a la caficultura. Para el efecto se evaluaron a) los agentes descomponedores lombríz Coqueta Roja (*Eisenia fetida*) y el degradador enzimático de rastros Digestor +. Debido a que la pulpa para transformarla en compost es necesario colocarla en depósitos o sistemas apropiados para luego agregarle el agente descomponedor

correspondiente según el tratamiento, se evaluaron también b) los sistemas caja de madera y tablón, en este último se le dió a la pulpa a la pulpa la forma de un tablón directamente sobre el suelo, simulando la descomposición natural; para ambos casos se utilizó un volumen de 0.08 metros cúbicos de pulpa, toda procedió de la misma cosecha y del mismo beneficiado.

2.- DEFINICION DEL PROBLEMA

El cafeto, como cualquier planta, necesita mantener niveles adecuados de nutrientes para su desarrollo, los cuales puede obtener a través del suelo y/o mediante el follaje. Debido a que los suelos no proporcionan a las plantas las cantidades adecuadas de estos nutrientes, es necesario el uso de fertilizantes ya sea orgánicos o químicos. Con la aplicación de abono orgánico, se obtienen entre otros los siguientes beneficios: se mejora la estructura, aumenta la porosidad, mejora la capacidad de retención de la humedad, mejora la vida microbiológica del suelo, da un aporte considerable de micronutrientes, estabiliza la temperatura del suelo; además cuando se utiliza en almácigos produce plantas de calidad, con un buen sistema radicular lo que hace que éstas exploren mayor volumen de suelo para abastecerse de nutrientes y agua; con lo que se espera obtener plantas rendidoras y con un promedio de vida mayor. Sin embargo, el uso continuo y exclusivo de fertilizantes químicos mal aplicados, están provocando en primer lugar contaminación de las fuentes de agua como ríos y aguas subterráneas debido a la lixiviación. En segundo lugar provocan un aumento en los costos de producción, esto cobra actualmente mayor importancia debido al continuo aumento en el precio de los fertilizantes y al aumento del costo de la mano de obra lo que obliga al caficultor a no aplicar las fertilizaciones necesarias durante el ciclo cafetalero, lo que redunda en una reducción del rendimiento.

Una forma de contribuir en parte a resolver la problemática del medio ambiente causada por la pulpa cuando se acumula en las fincas cafetaleras y que deja de ser un contaminante cuando está totalmente descompuesta, provocando durante ese tiempo malos olores y la proliferación de moscas y zancudos; así como también a reducir costos, es la producción de compost mediante la transformación de la pulpa de café.

3.- J U S T I F I C A C I O N.

El cultivo de café en Guatemala, es la principal y más importante actividad económica, generando de 30 a 35 % de las divisas del país. Con 350,000 manzanas de área sembrada (244,755.24 Ha.) se obtiene una producción de 12 quintales de café oro/manzana (17.14 qq/Ha.) y una producción total de 4,200,000 qq; convirtieron al país en el año cafetalero 89/90 en el quinto exportador mundial de café. El total de gastos por concepto de fertilizantes es de 278 millones de quetzales, que incluye 222 millones de quetzales por costo de fertilizante y 5 millones de jornales para su aplicación, con un costo de 56 millones de quetzales. En época del beneficiado del café, en todas las zonas cafetaleras del país, los volúmenes de desechos como la pulpa, han venido en incremento, principalmente debido al aumento de la producción en los últimos años, obteniendo 10,200,000 quintales de pulpa/año (4.69 X 10⁸ kg de pulpa/año). Esta acumulación de grandes volúmenes de pulpa se ha convertido en una fuente de contaminación para la población y fuentes de agua.

Considerando que la producción se va incrementando, lo anterior se convierte en un problema que cobra gran importancia, y que justifica sobre manera la búsqueda de soluciones, para evitar en parte, que continúe la contaminación provocada por los subproductos del beneficiado. Una de esas soluciones es encontrar la forma más rápida y eficiente para transformar la pulpa de café en compost a través de agentes descomponedores que como ya se indicó aceleren la descomposición de la pulpa, que no implique demasiados gastos al caficultor y algo muy importante, que no provoque efectos contaminantes al medio ambiente.

4.- M A R C O T E O R I C O.

4.1.- MARCO CONCEPTUAL:

4.1.1.Materia orgánica:

De acuerdo con Cardona (9), el crecimiento de las plantas y de los animales depende de la cantidad de nutrimentos que absorben. Una de las fuentes principales de nutrimentos es la materia orgánica.

La materia orgánica está constituida por todos aquellos residuos de plantas y animales que sufren un proceso de descomposición. De esta manera, estas sustancias se convierten en almacén de nutrimentos para las plantas. Niveles adecuados de materia orgánica mejoran las propiedades físicas del suelo, aumentan la infiltración del agua, disminuyen las pérdidas del suelo por erosión.

La mayor fuente de materia orgánica está constituida por las raíces y las partes aéreas de las plantas, aunque las primeras son producidas en mayor proporción (9).

4.1.1.1.Funciones de la materia orgánica:

Como principales funciones de la materia orgánica, puede resumirse que contribuye a:

Reducir el impacto de la gota de lluvia que cae y permite que el agua se infiltre con suavidad en el suelo, por lo tanto, reduce el

escurrimiento superficial y la erosión.

Los residuos orgánicos se descomponen con facilidad y permiten la síntesis de sustancias orgánicas complejas que ligan las partículas del suelo en unidades estructurales, llamadas agregados. Estos ayudan a mantener un estado granular suelto o abierto en el suelo. La condición granular del suelo favorece una buena aireación y permeabilidad.

La materia orgánica incrementa la capacidad de retención de agua, esto no significa, necesariamente, un aumento en las existencias de agua disponible para las plantas, dado que la materia orgánica retiene el agua con bastante firmeza.

La materia orgánica sirve como un depósito de elementos químicos que son esenciales para el desarrollo de las plantas. La mayor parte del nitrógeno del suelo se presenta en combinación orgánica. Sólo una pequeña parte (de ordinario del 1 al 3 por ciento), se presenta en formas inorgánicas en cualquier momento. Una cantidad considerable de fósforo y azufre también existe en formas orgánicas. Al descomponerse, la materia orgánica proporciona los nutrimentos necesarios para las plantas en desarrollo.

La materia orgánica al descomponerse produce ácidos orgánicos y bióxido de carbono que ayudan a disolver minerales como el potasio; de esta manera, las plantas en desarrollo pueden obtenerlos con facilidad.

El humus proporciona un almacén para los cationes potasio, calcio y magnesio, intercambiables y disponibles. También impide la lixiviación de los fertilizantes amoniacales, porque el humus retiene el amonio en forma intercambiable.

La materia orgánica sirve como una fuente de energía para el desarrollo de los microorganismos del suelo. Todos los organismos

heterotróficos (por ejemplo, los organismos que fijan nitrógeno), requieren materia orgánica que se descomponga con facilidad y de la cual pueden obtener el carbono.

La materia orgánica proporciona alimento para organismos como lombrices, hormigas y roedores. Estos animales perforan el suelo y construyen canales extensos a través de él, los cuales sirven, no solo para aflojarlo, sino también para mejorar su drenaje y aireación. Además, esto permite que las raíces de las plantas obtengan oxígeno y liberen bióxido de carbono a medida que crecen. Las lombrices solo pueden vivir en suelos que estén bien provistos de materia orgánica.

Las pérdidas de agua por evaporación se reducen mediante capas protectoras orgánicas.

La materia orgánica fresca tiene una función especial, porque facilita la obtención del fósforo en los suelos ácidos. Al descomponerse, la materia orgánica libera citratos, oxalatos, tartratos y lactatos que se combinan con el hierro y el aluminio con mas rapidez que el fósforo. El resultado es la formación de un número menor de fosfatos insolubles de hierro y aluminio y la disponibilidad de más fósforo para el desarrollo de la planta.

Los ácidos orgánicos liberados de la materia orgánica en descomposición ayudan a reducir la alcalinidad de los suelos.

La materia orgánica está íntimamente relacionada con la estructura ideal del suelo, ya que aumenta la porosidad, mejora la relación agua-aire y reduce la erosión provocada por la acción del agua y el viento. Químicamente, la materia orgánica constituye la fuente de casi todo el nitrógeno del suelo, del 5 al 60% del fósforo, hasta el 80% del azufre y de una gran parte de boro y molibdeno (9).

4.1.2. Investigaciones realizadas con lombrices:

Según Aranda (4), en términos generales, las perspectivas de ésta reciente línea de investigación desarrollada en el Instituto Mexicano del Café (INMECAFE), puede incidir en la resolución de los problemas de contaminación de aguas y tierras agrícolas causados por la pulpa, en la obtención de compostas de mejor calidad para su uso en semilleros-viveros, la utilización de los beneficios en el período inactivo, la instalación permanente de viveros anexos a estos. En 1,986, en acumulaciones de pulpa abandonada en el campo, se encontraron dos especies de lombrices nunca antes reportadas, desarrollándose y procesando la pulpa de café: Eisenia fetida (Savigny 1,826) y Metaphire californica (Kinberg 1,867). Las poblaciones naturales encontradas de éstas dos especies alcanzaban niveles de 2,500 lombrices (590 grs. de peso fresco); sin embargo, en esas condiciones naturales, sus poblaciones se encontraban exclusivamente limitadas en un sustrato intermedio entre los 10 y 20 centímetros de profundidad.

Al realizarse pequeñas pruebas bajo condiciones de confinamiento en laboratorio, se observó que las dos especies se desarrollan y proliferan abundantemente, pudiendo procesar no solo una capa intermedia sino la totalidad de la pulpa en depósitos de hasta 40 centímetros de profundidad, sin necesidad de movilizar el sustrato ni de intervenir en el proceso; sin embargo, se hizo patente que conforme la lombriz va procesando las capas más profundas, su velocidad de transformación se hace gradualmente más lenta hasta detenerse por completo. Al observar este proceso con más detalle, utilizando un recipiente con paredes de

vidrio (probeta de 1,000 cc.), se pudo reconocer que, aunque la actividad de las lombrices es dispersa en el sustrato, siempre depositan sus excretas en la capa superior, separando de esta manera el material ya procesado de la pulpa de café sin consumir (4).

En el caso específico de la pulpa de café, el efecto de las lombrices es igualmente ventajoso y favorable; en las pruebas realizadas, la apariencia de la capa superficial de la pulpa almacenada cambió rápidamente por la de una superficie muy nivelada, ligeramente cóncava, con un sobrenadante central y escaso de cascarilla de pergamino. El volumen del depósito disminuyó gradualmente, conforme las lombrices fueron procesando el material hasta reducirlo al 50-80 % de su volumen aparente inicial. El compost resultante presentó una estructura granulada, de pequeños agregados similares a los que acumulan las hormigas en las entradas de sus nidos, formada por las excretas que son el producto de la digestión de las lombrices. El abono orgánico producido por las lombrices, si puede ser utilizado como un sustrato de óptima calidad para la formación de semilleros y viveros de café, reduciendo la necesidad de la utilización de fertilizante. Finalmente, Eisenia fetida es una de las especies de lombrices mejor conocidas en el mundo, cuya alta capacidad reproductiva, rápido crecimiento, potencialidad de uso en desperdicios orgánicos, eficiencia en la producción de proteína animal y facilidad de crianza, la han llegado a convertir en un popular organismo de laboratorio (4).

En Colombia, investigación realizada por Aristizabal y Montoya (5), en la Universidad Nacional Seccional de Medellín, utilizando pulpa de

café en tres diferentes estados: pulpa de cinco días de despulpado, pulpa de 50 días de despulpado y por último pulpa de cinco meses de despulpado. Se encontró que:

-La pulpa fresca y en algunos estados de descomposición no presentó limitante desde el punto de vista supervivencia para la lombriz.

-Se obtuvo material de pulpa totalmente descompuesta en un lapso menor de dos meses cuando se utilizó tanto pulpa fresca como pulpa a medio fermentar.

-No se encontró ninguna limitante en la reproducción de la lombriz al utilizar pulpa de café como sustrato. No obstante se halló mayor eficiencia reproductiva en la pulpa de 50 días de despulpada que en la pulpa de cinco días.

Arango y Dávila (3), iniciaron en el Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE) estudios para definir el uso de la lombriz roja californiana, como organismo vivo que acelere el proceso de descomposición de la pulpa de café, material que alcanza volúmenes superiores a un millón de toneladas por año, y que tiene poca utilización en el proceso agronómico del cultivo, a pesar de la constitución química que le hace un adecuado abono orgánico. Una observación preliminar se realizó en la siguiente forma: en una superficie de un metro cuadrado, se colocó sobre el terreno directamente, pulpa de café descompuesta por el sistema de volteos periódicos. Encima se colocó un kilogramo de lombriz roja californiana

y luego se fue adicionando pulpa fresca hasta completar 80 kg. En este primer ensayo, adicionando periódicamente la fuente alimenticia, se observó que la lombriz roja se adaptaba rápidamente a la pulpa de café como único sustrato alimenticio, produciendo aproximadamente 50 kg de humus al final de 100 días de alimentación. En un segundo ensayo se pretendía evaluar la potencialidad de la pulpa de café como medio que permitiese la multiplicación de la lombriz roja. Se realizó evaluando la población de esta especie al cabo de tres meses, en tres sustratos alimenticios diferentes: la pulpa de café, estiércol de vacuno y una mezcla de estos dos materiales 1:1 en peso, habiendo partido de 400 individuos de lombriz roja. La población de lombrices no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos o sustratos alimenticios estudiados y la tendencia fue a septuplicarse la población; por lo cual se deduce que tanto la pulpa de café como el estiércol de vacuno permitieron el establecimiento y la multiplicación de la especie *E. fetida*. En una tercera observación, el tiempo de descomposición de un metro cúbico de pulpa de café fresca (de un día de despulpado, 270 kg aproximadamente, con una humedad del 85 %), fue de 80 días utilizando 5 kg de lombriz roja californiana.

4.1.3. Formas para cultivar y cosechar cápsulas y estiércol de lombrices:

Compagnoni (11), indica que las lombrices se pueden cultivar indiferentemente en lugares cerrados o abiertos. Pueden estar encerradas en cajas de madera, plástico o hierro (aunque sean pequeñas).

Según Arledge (6), la caja utilizada por la Dirección General de Servicios Agrícolas (DIGESA), fue diseñada por Thomas J. Barret para cultivar Coqueta Roja y cosechar cápsulas y estiércol de lombrices. La parte inferior de la caja, en forma de "V", lleva una mezcla de una tercera parte de suelo (sin piedras), una tercera parte de material absorbente como paja de trigo, cascabillo, rastrojo de milpa, elote picado, etc, y una tercera parte de estiércol fresco (preferible de ganado vacuno). El último pie de arriba (el superficial), lleva los mismos materiales mencionados. Sin embargo, el material aquí debe ser finamente pulverizado, porque es necesario secar al sol esta parte durante la extracción de cápsulas.

Al aire libre se colocan en armazones hechos a propósito, debajo de la sombra, de árboles frutales o de cualquier tipo de plantas, o en armazones simplemente sobre el terreno. Este último método de cría es el que a Compagnoni (11), le parece óptimo y el que ha emprendido, porque es el que da mejores resultados sin excesivos gastos, sin infraestructura y con costos muy bajos. Al aire libre, en sencillos cúmulos de estiércol y desechos y con la acción de los agentes atmosféricos (sol y lluvia), la comida que se utiliza dentro del armazón se oxigena, fomentando el mejor habitat para la lombriz y las condiciones ideales para conseguir el éxito en el cultivo.

4.1.4. Características de la lombriz Coqueta Roja:

Eisenia fetida, mejor conocida con el nombre comercial de "Californiana roja" o "lombriz roja", es el resultado del cruce por

muchos años de las especies: Lumbricus terrestris, que sale a la superficie cuando llueve o en la noche y Helodrilus foetidus o maloliente, que vive en las pilas de estiércol y abono. A esta lombriz Coqueta Roja se le llama así también por su color. El adulto mide cuatro pulgadas de largo, más o menos. Se reproduce y vive más de 15 años (12, 6).

La lombriz Coqueta Roja de California pertenece al Phylum de los Anélidos, que comprende entre otras, la clase de los Oligoquetos. Son gusanos finos y alargados. La Lombriz Roja de California esta dotada de seis riñones y cinco corazones. La respiración la realiza a través de la piel, su longitud varía entre 5 y 10 centímetros. Su cuerpo cilíndrico está dividido en segmentos en forma de anillos, revestidos por una cutícula fina. La extremidad anterior es ligeramente mas alargada que la posterior, donde se encuentran los grupos de células aptas para la percepción del grado de acidez de la base del terreno y de los estímulos luminosos. La lombriz se alimenta de materias en estado de descomposición o putrefacción, dotadas de un número elevado de enzimas que facilitan la digestión del alimento. Las materias que pasan a través de su intestino se transforman y se expulsan en forma de humus (1).

4.1.4.1.La reproducción:

Las lombrices son hermafroditas, están dotadas de órganos masculinos y femeninos, pero son incapaces de autofecundarse. Se reproducen por fecundación cruzada, es decir, recíprocamente. Las

cápsulas que contiene los huevos fecundados (entre dos y 20) se abren después de tres semanas o un poco mas. De los huevos nacen lombrices idénticas a las adultas, a excepción del tamaño y del color blanco. Al cabo de tres meses, las crías son sexualmente adultas, y pueden aparearse con un intervalo de al menos siete días entre un apareamiento y otro. Se puede decir que las lombrices pasan la mayor parte de su tiempo de una forma algo extraña: o apareándose frecuentemente o comiendo (1).

4.1.4.2. Humedad, temperatura y pH:

Una excesiva humedad en el sustrato puede crear algunos problemas. Cuando las cajas reciben demasiada agua y tienen mal drenaje, se puede formar un medio peligroso para la lombriz, ya que esta solo puede vivir en agua durante muy poco tiempo. En caso de que el sustrato se llene de agua, puede provocar la muerte de todas las lombrices, ya que instintivamente tiende a huir cuando necesitan sobrevivir. Por otro lado, la lombriz puede vivir temporalmente en la humedad, pero no trabaja ni produce. Una humedad superior al 85 % es muy dañina para ella, haciendo que disminuya su producción de humus. La humedad óptima va desde el 70 % hasta el 85 %. De todas formas, la lombriz también trabaja y se reproduce con proporciones inferiores de humedad, sin embargo, disminuye su actividad, porque le resulta mas trabajoso asimilar la comida y moverse en el interior del sustrato en la búsqueda del alimento que presente las características necesarias (11).

Una temperatura alrededor de los 20 C esta considerada por todos los cultivadores de lombrices como la temperatura óptima de cara al

máximo rendimiento de las lombrices. Por debajo de los 15 C, la lombriz sufre dificultades de varios tipos: se reproduce menos y muchas de las crías no llegan a sobrevivir. El hielo mata a las lombrices, por lo que hay que evitar de cualquier forma que el armazón se congele completamente. También el calor constituye un enemigo para la lombriz, considerando que se trata de un espécimen indefenso y sin protección, ya que no posee pelos ni plumas. Con riegos frecuentes se puede, de una forma sencilla, controlar los sucesivos altibajos de la temperatura en el sustrato (11).

Para que las lombrices puedan vivir en condiciones favorables, debe estar presente en el ambiente que las circunda un cierto grado de acidez, que nunca debe ser excesivo. Las lombrices necesitan una alimentación con un valor de pH alrededor del neutro 7 o ligeramente superior a 8, en un valor de acidez de alrededor de 6, las lombrices pueden sobrevivir, considerando que con el tiempo y una buena oxigenación el material adquiera rápidamente la condición neutra (11).

4.1.4.3. Humus de la lombriz:

Con la lombricultura, todos aquellos que cultivan la tierra produciendo cítricos, hortalizas, verduras, viveros, plantas, flores, etc., podrán producirse el mejor abono existente en la actualidad. El abono orgánico, como su nombre lo indica, es el resultado de la transformación de desechos y materias orgánicas por parte de la lombriz. Por esta transformación sufrida a través del tubo digestivo de la lombriz, el humus es más rico en minerales que la propia alimentación de

las lombrices. Contiene 5 veces mas nitratos, 7 veces mas calcio convertible y 2 veces mas carbón orgánico. El abono orgánico es totalmente inodoro, no contiene infestantes, y lo que es mas importante, aún administrado en dosis excesivas no quema ni las plantas más delicadas (1).

4.1.5. Investigación realizada con degradador enzimático:

Leiva (15), realizó una investigación con el degradador cuyo objetivo fue evaluar tres dosis de este degradador enzimático de rastros en la aceleración de la descomposición de la pulpa de café, las dosis evaluadas fueron 50, 100 y 150 cc., de producto/galón de agua/tonelada de pulpa. Los promontorios de pulpa (unidades experimentales) fueron formados con áreas de un metro cuadrado y una altura de 1.30 metros, teniendo en total 32 promontorios de pulpa; siendo los parámetros evaluados: contenido de minerales, dureza de la pulpa, pH, % de humedad, volumen-altura de promontorios y temperatura. Al final de la investigación (90 días) obtuvo una reducción de 36.1 % en el volumen-altura, con la dosis de 150 cc., de degradador, además mejoró la disponibilidad del contenido de macro y microelementos minerales.

4.1.5.1. Forma de actuar del degradador enzimático de rastros:

Debido a que la mayor parte de las bacterias del suelo como las mixobacterias inician la degradación de la celulosa desde puntos terminales, este complejo enzimático inicia la segmentación bacterial natural del suelo. Por otro lado las enzimas que componen el degradador

poseen la habilidad de trabajar bajo límites de baja presión de oxígeno. En algunos casos, la reducción de la resistencia de las fibras de residuos vegetales o de subproductos como la pulpa de café, como consecuencia de la degradación se reduce a un porcentaje muy bajo (15 a 20 %) de lo normal. El hecho de que un sistema de células enlazadas se emplee en la digestión de celulosa como la empleada en este producto enzimático sobre sistemas de células libres, apunta hacia la actividad rápida y relativamente específica del degradador sobre límites de temperatura entre 10 y 32 C, Jones citado por Leiva (15).

Dentro del proceso natural de descomposición de los rastrojos, el degradador tiende a actuar básicamente de la manera siguiente:

- Aumentando la actividad de las celulasas.
- Adicionando fracciones proteínicas específicas.

De lo anterior, Jones citado por Leiva (15), indica que se pueden resumir tres efectos del degradador enzimático de rastrojos: a) La liberación de energía carbohidratada para acelerar los procesos de crecimiento bacterial, b) Reducción en las necesidades de aumento de Nitrógeno para la digestión de los desechos residuales de la cosecha y c) Una actividad incrementada de las bacterias del suelo en respuesta a reguladores de crecimiento como la Citoquinina.

4.1.6.Descripción del fruto de café:

Braham y Bressani (8), indican que los frutos de café se cosechan en América Central desde finales de agosto hasta el mes de marzo, dependiendo de la altitud sobre el nivel del mar de la plantación de

café. El café de tierra cálida madura mas temprano que el de tierra fría. Los frutos se cosechan al llegar a su madurez, lo que se advierte por el color marrón intenso que adquiere el fruto, aunque existen variedades que presentan un color de fruto amarillo cuando están maduras. Un corte longitudinal de un fruto de café muestra sus fracciones anatómicas: el grano propiamente dicho o endosperma, la cáscara o endocarpio, una capa mucilaginosa o mesocarpio y la pulpa o esocarpio. La semilla del café presenta una superficie plana que se encuentra con otra parte igual dentro del fruto. Cada mitad está recubierta por un delicado tejido conocido como película. Estas dos fracciones se sostienen dentro del endocarpio, membrana conocida también con el nombre de pergamino o cascarilla de café, que es duro y quebradizo cuando se seca, y el cual rodea individualmente a cada una de las dos fracciones que constituyen el grano. La cascarilla, en cambio, está cubierta por una gruesa capa de células esponjosas que forman la pulpa. Esta capa tiene un espesor aproximado de 5 mm. Debido a la consistencia viscosa del mucílago, una leve presión sobre el fruto es suficiente para expulsar fuera de él las dos mitades que constituyen el grano.

4.1.7. Procesamiento del fruto de café:

Después de cosechados, los frutos de café son llevados a los beneficios y allí se sumergen, primero que todo, en un tanque de agua, con un doble propósito: remover frutos dañados, frutos verdes u otros materiales extraños que en éstas condiciones flotan, y servir como mecanismo de transporte de los granos. El procesamiento del fruto del

café para obtener los granos comerciales consiste básicamente en dos operaciones. La primera es el remojo o procesamiento húmedo que deja como producto pulpa de café, mucílago y aguas de desecho por una parte y por otra, parte, los granos de café y la cascarilla, como unidad. La segunda operación es un proceso seco que separa la cascarilla del grano de café. La pulpa es luego transportada por agua hacia un sistema de recolección de desperdicios donde se apilan para ser removido mas tarde (8).

4.1.8.Composición química de la pulpa de café:

Composición química proximal: El nivel de agua de este material representa una de las mayores desventajas en su utilización, desde el punto de vista de transporte, manejo, procesamiento y uso directo en la alimentación animal. Sin embargo, el material ya deshidratado contiene cerca de 10% de proteína cruda, 21% de fibra cruda, 8% de cenizas y 4% de extracto libre de nitrógeno. Es de interés indicar también que la composición química de la pulpa de café deshidratada y fermentada es muy similar a la de la pulpa de café deshidratada no fermentada. Otros compuestos orgánicos que están presentes en la pulpa de café son los taninos, las sustancias pécticas totales, los azúcares reductores, los azúcares no reductores, la cafeína, el ácido clorogénico y el ácido caféico total. Estas sustancias son de interés con respecto a su uso potencial como materia prima para uso industrial y para la formulación de dietas para animales, ya que se cree que éstos compuestos son los responsables de la toxicidad observada en la pulpa de café. Además, debido a su alto contenido de agua y de azúcares, la pulpa se contamina

fácilmente con hongos y otros microorganismos capaces de producir toxinas (8).

4.1.9. Contaminación de ríos por subproductos del beneficiado:

Rodas (16), indica que la contaminación de las fuentes de agua por desechos del beneficiado del fruto del café es general en las zonas cafetaleras del país. Esta contaminación es mas marcada en las zonas donde la cosecha es concentrada, llueve menos que en las otras regiones cafetaleras y los caudales de los ríos son mas pequeños. Leiva (15), también indica que parte de esos desechos como la pulpa, quedan acumulados en las fincas, constituyéndose en un centro de contaminación por plagas (moscas y zancudos) y malos olores.

La deforestación ha contribuido a agravar la contaminación, debido a los procesos erosivos y a las mayores concentraciones de los sólidos, de las aguas mieles y pulpas en menores cantidades de agua. Poner en práctica un sistema para el tratamiento y aprovechamiento de los subproductos del café en el país no es fácil, debido principalmente a la topografía donde están situadas las instalaciones, así como al elevado número de las mismas (16).

La investigación llevada a cabo en Guatemala y en otros países para evitar la contaminación por aguas servidas del beneficiado, es muy limitada y las experiencias obtenidas en la investigación en busca de soluciones a este problema, únicamente han dado como resultado, el ensayo de varias instalaciones que van desde los digestores para la

producción de biogas y plantas de tratamiento a base de calcio, hasta los canales de oxidación, cuyo costo y eficiencia, en algunos casos, no ha sido evaluada, y en otros, pueden ser tratamientos o instalaciones con costos muy elevados o que requieren de personal especializado para su operación y mantenimiento (16).

4.1.10. Posibles usos de los subproductos del grano de café:

4.1.10.1. Abono orgánico: El mantenimiento de materia orgánica en los suelos tropicales ha sido considerado particularmente importante debido a que dichos suelos se agotan muy rápidamente por la actividad bacteriológica que se mantiene durante todo el año. Por esta razón, y para evitar los problemas ambientales que causa la descomposición de la pulpa de café cuando se acumula, ésta se utiliza como abono orgánico en las plantaciones de café. Se usan diferentes métodos, siendo uno de ellos la aplicación de pulpa fresca directamente de los pulpero a los cafetos. Un segundo método es secar la pulpa antes de su aplicación.

Suarez de Castro citado por Braham y Bressani (8), indicó que 100 libras de pulpa de café seca equivalen, con base a su composición química, a 10 libras de un fertilizante inorgánico 14-3-37 o 20 libras de 7-1.5-18.5. Esto refleja la cantidad alta de potasio que contiene la pulpa de café. Los resultados de varios experimentos han indicado que la pulpa de café es un fertilizante orgánico de mucho valor, particularmente para el cafeto.

En almácigos de café la fuente de materia orgánica, para agregarle

al suelo, de mas fácil acceso y económica, es la pulpa de café, ésta debidamente descompuesta (con unos seis meses en un lugar adecuado), (13).

Resulta indudable que la calidad de un abono orgánico, en términos de sus propiedades para el crecimiento de las plantas, es directamente proporcional a la materia orgánica utilizada; en este sentido, el abono orgánico producido a partir de la pulpa de café se ubica entre los mejores desechos de origen vegetal y supera incluso en algunos componentes a varios desechos de origen animal (4).

La pulpa de café está constituida tanto por microelementos como por macroelementos en diferentes proporciones, razón por la cual se considera útil en las aplicaciones como abono orgánico. Estudios realizados demuestran que su composición química está constituida por: N, P, K, Mg, Ca, Mn, S, Fe, Cu y Zn. Los niveles en los que se encuentran son considerados como adecuados para su utilización en la nutrición de los cafetos y como material que contribuye al mejoramiento de la estructura de los suelos y mejora los contenidos de humedad de los mismos (2).

4.2.- MARCO REFERENCIAL:

4.2.1.Descripción del área:

El presente trabajo de investigación se realizó en una localidad de la zona cafetalera del suroriente del país, específicamente en la finca "SAN NICOLAS", del municipio de Santa María Ixhuatán, departamento de Santa Rosa. Esta se encuentra a la altura del kilómetro 72, luego a 10 kilómetro por un camino de terracería transitable todo el tiempo. La altitud es de 985 msnm., con una precipitación media anual de 1,477 mm., y una temperatura media de 22 C. Su localización geográfica está entre las siguientes coordenadas: 14 11'18" latitud norte y 90 16'39" longitud este.

El experimento fue instalado dentro del área que ocupa una construcción tipo galera de 170 metros cuadrados. El área que ocupó el experimento fue de 84 metros cuadrados. Cuenta con paredes en sus costados, construidas casi a la mitad, columnas de madera y piso de cemento, además del techo de lámina. Existe muy cerca de este lugar un estanque, del cual se obtuvo el agua para mantener la humedad de la pulpa.

5.- O B J E T I V O S.

General:

-Transformar la pulpa de café en compost, a través de los agentes descomponedores lombriz Coqueta Roja y un degradador enzimático de rastros, utilizando dos depósitos o sistemas para la descomposición de la pulpa, caja y tablón.

Específicos:

1.-Determinar la eficiencia de los agentes y de los sistemas para transformar la pulpa de café en compost.

2.-Cuantificar el contenido de nutrientes de la pulpa de café al inicio de la investigación, y del compost como producto final.

3.-Determinar el tiempo que dura la transformación de la pulpa de café a compost.

4.-Determinar el tratamiento más eficiente y económico para la obtención de compost de pulpa de café.

6.- H I P O T E S I S.

1.-Los sistemas caja de madera y tablón, utilizados en el proceso de transformación de la pulpa de café en compost, son igualmente eficientes en cuanto al tiempo de transformación de la pulpa.

2.-El uso de los diferentes sistemas (caja de madera y tablón), no influye en el contenido de nutrientes del compost producido.

3.-Los dos agentes descomponedores (lombrices y degradador enzimático), actúan en forma similar en cuanto al tiempo de transformación de la pulpa de café.

4.-El contenido final de nutrientes del compost producido, no depende del tipo de agente descomponedor utilizado.

7.- MATERIALES Y METODOS.

7.1.- Descripción del trabajo:

7.1.1.Sistemas que se evaluaron: Para que la pulpa de café se descompusiera o se transformara a compost, se necesitó depositarla o colocarla en sistemas o instalaciones apropiadas, donde luego se le agregó el agente descomponedor correspondiente (lombrices o degradador) según fuera el tratamiento, (Cuadro 2). En esta investigación se evaluaron dos sistemas o instalaciones y que además constituyeron las unidades experimentales:

a) Las cajas de madera de $0.18 * 0.5 * 0.9$ metros, que dieron un volumen de 0.08 metros cúbicos de pulpa/caja.

b) Los tablones: el mismo volumen de pulpa utilizado en las cajas (0.08 metros cúbicos), se colocó sobre el suelo dándole la forma de un tablón de $0.2 * 0.45 * 0.9$ metros.

7.1.2. Agentes descomponedores: se evaluaron dos agentes descomponedores de la pulpa de café:

a) Lombrices "Coqueta Roja"

b) Degradador enzimático de rastros; y se evaluó también la

c) Descomposición natural de la pulpa (testigo).

7.1.3. Selección y número de lombrices a utilizar:

Se seleccionaron lombrices adultas de pie de cría previamente establecidos en las localidades de Pastores y la finca municipal Florencia (Sacatepequez), además de un pie de cría establecido en Mixco (laboratorio de suelos de ANACAFE) Guatemala. En cada unidad experimental (caja y tablón) donde se evaluó a la Coqueta Roja, se utilizaron 500 lombrices, en un volumen de 0.08 metros cúbicos de pulpa, haciendo un total de 6,000 lombrices para todo el estudio. El número establecido de 500 lombrices por unidad experimental, estuvo en función de las lombrices disponibles en los diferentes pie de cría.

7.1.4. Pulpa utilizada:

Se utilizó en cada unidad experimental (caja y tablón) 0.08 metros cúbicos de pulpa (pulpa de la cosecha de noviembre a febrero de 1,991), lo que totalizó 2.88 metros cúbicos de pulpa.

7.1.5. Degradador utilizado:

Se evaluó el degradador enzimático de rastros Digester +, en dosis de 150 cc/galón de agua/tonelada de pulpa. A la pulpa tratada con este degradador, se le dio volteos periódicos para mejorar las condiciones de aireación (se volteó cada mes) de acuerdo a las recomendaciones dadas por Leiva (15).

7.2.- Manejo del material experimental:

7.2.1. Diseño experimental: como ya se indicó, se evaluaron dos sistemas para transformar la pulpa de café, así como también dos agentes descomponedores, además del testigo; de los cuales se obtuvieron seis tratamientos provenientes de 2 sistemas (caja y tablón) y 3 agentes descomponedores (lombrices, degradador y natural o testigo), para un diseño completamente al azar con dos factores (bifactorial) y seis repeticiones. Los tratamientos fueron los siguientes:

Cuadro 1. Tratamientos evaluados.

No.	T R A T A M I E N T O S	
	Sistema	Agente descomponedor
1.	Caja	Lombrices
2.	Caja	Degradador
3.	Caja	Testigo
4.	Tablón	Lombrices
5.	Tablón	Degradador
6.	Tablón	Testigo

El área experimental utilizada fué de 84 metros cuadrados, donde se distribuyeron los tratamientos y sus respectivas repeticiones. (Cuadro 2). Siendo el modelo estadístico:

$$Y_{ij} = u + S_i + A_j + (SA)_{ij} + E_{ij}$$

$$i = 1, 2 = a \text{ (sistemas)}$$

$$j = 1, 2, 3 = b \text{ (agentes descomponedores). Donde:}$$

Y_{ij} = Calidad del compost obtenido en el j-ésimo sistema para descomposición y del i-ésimo agente descomponedor de pulpa.

u = Media general

S_i = Efecto del i-ésimo sistema para descomposición

A_j = Efecto del j-ésimo agente descomponedor

(SA)_{ij} = Interacción entre sistema y agente descomponedor.

E_{ij} = Error experimental.

7.2.2. Técnica de campo:

Cada tratamiento fué manejado de la siguiente forma:

-Tratamiento uno (Caja + lombrices): se llenó la caja con la pulpa de café, posteriormente se procedió a hacer un agujero en el centro del volumen de la pulpa, no muy profundo para luego introducir las lombrices, cubriéndolas finalmente con una delgada capa de pulpa para que no quedaran directamente en la superficie. La humedad de la pulpa se mantuvo a través de riegos cada tres días.

Cuadro 2. Distribución espacial de los tratamientos y sus respectivas repeticiones. Finca San Nicolás, Sta María Ixhuatán, Santa Rosa.

5		4		5		2		6		5		1		4		3
2		1		6		3		2		4		3		5		2
6		3		4		1		6		2		5		6		4
1		6		2		3		4		3		1		5		1

En donde:

- 1 = Caja + lombrices
- 2 = Caja + degradador
- 3 = Caja + testigo
- 4 = Tablón + lombrices
- 5 = Tablón + degradador
- 6 = Tablón + testigo

-Tratamiento dos (caja + degradador): luego de llenar la caja con la pulpa, se aplicó una dosis de 150 cc de degradador/galón de agua/tonelada de pulpa, proporcional al volumen utilizado, al hacer la conversión para el peso de pulpa/caja, que fue de 110.83 libras, se utilizó 8.31 cc. de degradador/caja de pulpa. Para la aplicación del degradador se utilizó una bomba de mochila y para evitar que el producto fuera arrastrado por el viento hacia los otros tratamientos, se utilizó pantallas de plástico; además para mejorar las condiciones de aireación se le dieron volteos periódicos (cada mes) y también se le aplicó riego cada tres días.

-Tratamiento tres (caja + testigo): únicamente se llenaron las cajas con pulpa; se le aplicó también riego cada tres días, además de volteos mensuales para mejorar las condiciones de aireación.

-Tratamiento cuatro (tablón + lombrices): directamente sobre el suelo se le dio a la pulpa la forma de un tablón, se le hizo un agujero no muy profundo en el centro, se introdujeron las lombrices y finalmente se cubrieron con una delgada capa de pulpa, para que no quedaran directamente en la superficie; además se aplicó riego cada tres días.

-Tratamiento cinco (tablón + degradador): luego de darle la forma de tablón a la pulpa sobre el suelo, se aplicó una dosis de 150 cc. de degradador/galón de agua/ton. de pulpa, al hacer la conversión para el peso de pulpa/tabla, que fue de 110.83 libras, se utilizó 8.31 cc. de degradador/tabla de pulpa. Para realizar la aplicación se utilizó una bomba de mochila en la misma forma que el tratamiento dos; para mejorar

las condiciones de aireación se le dio volteos cada mes y se aplicó riegos cada tres días.

-Tratamiento seis (tablón + testigo): únicamente se le dio a la pulpa la forma de tablón sobre el suelo; se aplicó riego cada tres días y se volteo la pulpa mensualmente para mejorar las condiciones de aireación.

7.3.- Recopilación de la información:

La información a nivel de campo se recopiló de la manera siguiente:

7.3.1.Determinación del contenido de nutrientes:

Al inicio y al final de la investigación: luego de homogenizar la pulpa, se tomó una muestra de una libra de cada unidad experimental (caja y tablón), luego se introdujeron en bolsas plásticas con su respectiva identificación y se trasladaron al laboratorio de suelos de ANACAFE para su análisis químico respectivo.

En ambos casos fueron cuantificados los contenidos de nutrientes de la siguiente forma:

A.-Análisis de elementos totales; (no disponibles en forma inmediata).

Elementos:

Unidad:

-Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K).....%.

-Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S).....%.

-Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn)
 y Zinc (Zn).....ppm.
 -Materia Orgánica (M.O.).....%.

B.-Análisis de elementos disponibles:

<u>Elementos:</u>	<u>Unidad:</u>
-Fósforo (P), Potasio (K), Azufre (S)	
Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn)	
y Zinc (Zn).....	ppm.
-Calcio (Zn), Magnesio (Mg).....	meq/100 gr.
-Materia Orgánica (M.O.).....	%.

7.3.2.Determinación de la temperatura y pH:

En ambos casos se realizaron lecturas semanales. Para la temperatura se utilizó un termómetro (que va de 20 hasta 110 grados centígrados), que fué introducido en la parte superior de cada unidad experimental durante un minuto. Para el pH, se tomaron de cada unidad experimental muestras de 25 gramos de material, se introdujeron en bolsas de plástico identificadas y se llevaron al laboratorio de suelos para su análisis en el potenciómetro, Estos registros fueron necesarios debido a que la lombríz Coqueta Roja como todo organismo, está sujeto a presiones físicas y químicas que determinan su comportamiento.

7.3.3. Conversión de volumen inicial, peso inicial de pulpa de café a volumen final, peso final del compost:

Al inicio de la investigación se obtuvo el volumen y peso de la pulpa de café, con el propósito de poder compararlos con el volumen y peso final del compost producido. A medida que la pulpa se va transformando, su volumen y peso van disminuyendo, lo que permite un mejor manejo en cuanto a transporte.

7.3.4. Estado de descomposición de la pulpa:

El compost producido por las lombrices tiene una textura al tacto granulosa, de pequeños agregados similares a los que se acumulan en las entradas de los hormigueros, formada por las excretas que son el producto de la digestión de las lombrices, una coloración oscura, casi negra. La primera muestra se obtuvo, al mes de iniciada la investigación, y las siguientes cada dos semanas.

Para el caso de la pulpa tratada con degradador enzimático y para el testigo, se tomaron muestras al mes de iniciada la investigación para cada tratamiento y de sus respectivas repeticiones; posteriormente se tomaron cada 2 semanas. Cada muestra se puso a secar al sol durante 24 horas, y por medio del tacto se determinó el grado de descomposición (dureza) de la pulpa. Luego se comparó con la escala de dureza que toma como base el color, olor, humedad y consistencia de la pulpa. La escala (Cuadro 3) fue elaborada por Leiva (15).

El estado de descomposición de la pulpa se confirmó a través de un análisis químico, por medio de una caracterización de materiales húmicos por el método espectrométrico, Tabatabai (17); estos análisis se realizaron en el laboratorio de química de la Facultad de Agronomía.

Cuadro 3. Escala de dureza de la pulpa de café tratada y no tratada con degradador enzimático de rastros.

CONDICION.	DESCRIPCION.
1. Semi-fresca.	Pulpa con conchas verdes o claras con humedad entre 85 y 90 %, fuerte olor a fermentación, compacta.
2. Ligeramente-fresca	Presenta aspecto tosco, en terrones, color oscuro, humedad entre 75-80 %, olor a fermentación fuerte, compacta.
3. Ligeramente-descompuesta	Terrones que se deshacen con cierta facilidad, color café oscuro, humedad menor de 70 %, fuerte olor a fermentación.
4. Medianamente-descompuesta	Pulpa que no se encuentra formando grandes terrones, color oscuro, humedad menor de 60 %, color café oscuro-negrusco, olor a fermentación tolerable al olfato.
5. Descompuesta.	Pulpa desmenuzada, color oscuro intenso, no se observan conchas y si estas se encuentran se deshacen al tacto.
6. Totalmente-descompuesta	No se observa ninguna concha, su aspecto es fino, similar al humus tiende a confundirse con fracciones de suelo, al exponerse a la luz directa del sol pierde rápidamente su humedad. Contenido de humedad menor de 25 %.

Fuente: Leiva (15).

7.3.5. Tiempo de degradación del sustrato:

El tiempo de degradación se registró a partir del inicio de la investigación para cada tratamiento y sus respectivas repeticiones, y se dejó de llevar hasta que la pulpa se encontró totalmente descompuesta, tomando como base el análisis anteriormente descrito (inciso 7.3.4.). El registro sirvió básicamente para hacer las comparaciones respectivas entre cada tratamiento, conociendo así cual fué el más eficiente en función del tiempo de transformación de la pulpa de café a compost.

7.4.- Presentación y análisis de la información:

En el laboratorio de suelos de ANACAFE, fueron analizadas las muestras de pulpa al inicio del experimento y del compost al final del mismo, para cuantificar el contenido de nutrientes, % de materia orgánica, y pH.

Se realizó análisis de varianza para elementos totales y disponibles, en cada una de las variables siguientes:

MACRONUTRIENTES:

- Nitrógeno
- Fósforo
- Potasio

ELEMENTOS SECUNDARIOS:

- Calcio
- Magnesio
- Azufre

MICRONUTRIENTES:

- Cobre
- Hierro
- Manganeso
- Zinc. y
- M.O.

La temperatura, el pH para los sistemas tablón y caja, y la conversión de volumen inicial, peso inicial de pulpa de café a volumen final, peso final de compost, se presentan a través de gráficas.

8.- RESULTADOS Y DISCUSION.

Los análisis y resultados se dividieron en dos grupos:

ANALISIS DE ELEMENTOS TOTALES:

ANALISIS DE ELEMENTOS DISPONIBLES:

8.1.- ANALISIS DE ELEMENTOS TOTALES (Elementos orgánicos e inorgánicos, no disponibles en forma inmediata).

A través del análisis de laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados:

8.1.1.- Pulpa sin transformar:

Cuadro 4. Análisis de elementos totales.

	T R A T A M			I E N T O S.		
	S I S T E M A C A J A.			S I S T E M A T A B L O N.		
	LOMBRIZ- DEGRADADOR-TESTIGO			LOMBRIZ- DEGRADADOR-TESTIGO		
	%			%		
M.O	48.0	48.23	48.33	48.27	48.17	48.17
N.	1.68	1.52	1.69	1.67	1.51	1.55
P.	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14
K.	0.46	0.41	0.41	0.41	0.45	0.43
Ca.	0.69	0.69	0.68	0.68	0.77	0.68
Mg.	0.17	0.16	0.16	0.17	0.19	0.16
S.	0.109	0.111	0.111	0.108	0.110	0.109
	ppm.			ppm.		
Cu.	13.00	13.17	13.17	14.00	13.50	12.67
Fe.	3,685.66-3,821.17-3,812.83			3,819.00-3,775.33-3,812.50		
Mn.	210.33	198.33	217.00	220.17	227.83	214.83
Zn.	33.33	30.66	32.00	33.00	35.17	32.50
pH.	6.95	6.73	6.37	6.70	6.47	6.52

Con la información obtenida, para cada una de las variables se hizo un análisis de varianza, para verificar el contenido de nutrientes de cada tratamiento; previo a realizar los análisis de varianza para los macronutrientes (N, P y K) y para los elementos secundarios (Ca, Mg y S), se efectuó la correspondiente transformación de los datos expresados en %, a través de la fórmula $y' = \sqrt{y + 1}$, donde y = dato expresado en % (7).

A.- MACRONUTRIENTES:

Con base en los resultados obtenidos a partir del análisis de varianza efectuado (cuadro 13 "A" del apéndice), se pudo establecer que no hubo diferencias estadísticamente significativas en cuanto al contenido de N total.

El cuadro 14 "A" del apéndice, contiene el análisis de varianza para el fósforo total; no se presentaron diferencias significativas en cuanto al contenido del mismo para ningún tratamiento.

En el cuadro 15 "A" del apéndice, se observa el análisis de varianza para el potasio total, donde no existió diferencias significativas, por lo que estadísticamente el contenido de K es igual para todos los tratamientos.

B.- ELEMENTOS SECUNDARIOS:

En los análisis de varianza para cada uno de los elementos secundarios, Calcio, Magnesio y Azufre, para los tres casos se estableció que no existe diferencias significativas; por lo que todos los tratamientos son estadísticamente iguales en cuanto al contenido de elementos secundarios. (Cuadros 16 "A", 17 "A" y 18 "A" del apéndice)

C.- MICRONUTRIENTES:

Los cuadros 19 "A", 20 "A", 21 "A" y 22 "A" del apéndice, presentan el análisis de varianza para cada uno de los micronutrientes; en todos los casos no se obtuvo significancia, por lo tanto todos los tratamientos evaluados son estadísticamente iguales en cuanto al contenido de este tipo de nutrientes.

Se considera como factor importante que influyó para que no haya existido significancia en cada grupo de elementos (macronutrientes, elementos secundarios y micronutrientes), el origen de la pulpa utilizada en el ensayo, ya que toda procedió de la misma cosecha y del mismo beneficiado, por lo tanto el estado de conservación fue el mismo para toda la pulpa.

8.1.2.- PULPA TRANSFORMADA:

Cuadro 5. Análisis de elementos totales.

	T R A T A M			I E N T O S.		
	S I S T E M A C A J A.			S I S T E M A T A B L O N.		
	LOMBRIZ- DEGRADADOR-TESTIGO			LOMBRIZ- DEGRADADOR-TESTIGO		
	%			%		
M.O	43.71	43.75	43.73	43.72	43.80	43.73
N.	0.71	0.65	0.67	0.66	0.66	0.64
P.	0.19	0.20	0.20	0.20	0.19	0.20
K.	0.46	0.39	0.41	0.42	0.46	0.43
Ca.	1.55	1.59	1.57	1.50	1.59	1.61
Mg.	0.17	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18
S.	0.079	0.080	0.079	0.079	0.080	0.080
	ppm.			ppm.		
Cu.	10.00	11.00	11.00	11.00	12.00	11.00
Fe.	2,723	2,794	2,806	2,811	2,779	2,627
Mn.	196.00	198.00	198.00	199.00	189.00	191.00
Zn.	790.00	800.00	790.00	790.00	800.00	800.00
pH.	6.78	6.82	6.75	6.80	6.75	6.83

Con la información del cuadro anterior, se realizaron análisis de varianza para cada una de las variables, con el objeto de establecer si existían o no diferencias significativas en cuanto al contenido de elementos totales para la pulpa transformada en cada tratamiento; previo a los análisis de varianza para los macronutrientes (N, P y K) y para los elementos secundarios (Ca, Mg y S), se efectuó la transformación de los datos expresados en %, a través de la ecuación $y' = \sqrt{y + 1}$, donde y = dato expresado en % (7).

A.- MACRONUTRIENTES:

Para los tres casos, N, P y K (cuadros 23 "A", 24 "A" y 25 "A" del apéndice) no existió diferencias estadísticamente significativas, lo que implica que todos los tratamientos evaluados son estadísticamente iguales en cuanto al contenido de macronutrientes.

B.- ELEMENTOS SECUNDARIOS:

Los cuadros 26 "A", 27 "A" y 28 "A" del apéndice, presentan el análisis de varianza para cada uno de los elementos secundarios, para todos los casos no existió diferencias significativas; por lo tanto los tratamientos evaluados son todos estadísticamente iguales en cuanto al contenido de estos elementos.

C.- MICRONUTRIENTES.

Los cuadros 29 "A", 30 "A", 31 "A" y 32 "A" presentan el análisis de varianza para cada uno de los micronutrientes totales. No se obtuvo para ninguno de ellos diferencias estadísticamente significativas, lo que indica que los tratamientos evaluados son todos estadísticamente iguales.

Los resultados obtenidos, demuestran que todos los tratamientos evaluados son estadísticamente iguales, lo que indica que tanto los sistemas (caja y tablón), como los agentes descomponedores utilizados (lombriz Coqueta Roja, degradador enzimático y testigo), no influyeron

en el contenido final de cada uno de los elementos totales evaluados.

8.2.- ANALISIS DE ELEMENTOS DISPONIBLES.

A continuación se presentan los resultados extraídos en el laboratorio en la cuantificación de elementos disponibles con la solución extractora: doble ácido (Mehlich), a través del análisis realizado a la pulpa transformada:

Cuadro 6. Análisis de elementos disponibles.

	T R A T A M			I E N T O S.		
	S I S T E M A C A J A.			S I S T E M A T A B L O N.		
	LOMBRIZ- DEGRADADOR-TESTIGO			LOMBRIZ- DEGRADADOR-TESTIGO		
	%			%		
M.O	43.71	43.75	43.73	43.72	43.80	43.73
	ppm.			ppm.		
P.	195.50	193.83	194.17	196.83	196.50	191.67
K.	1,599.0	1,632.0	1,627.0	1,649.0	1,640.0	1,600.0
S.	446.83	447.0	444.0	446.5	440.0	444.0
Cu.	0.22	0.23	0.20	0.21	0.22	0.22
Fe.	3.59	3.51	3.51	3.62	3.65	3.52
Mn.	30.44	30.46	30.37	30.10	30.07	30.13
Zn.	11.40	11.11	11.10	11.19	11.25	11.27
	meq/100 grs.			meq/100 grs.		
Ca.	24.06	24.27	24.10	24.15	24.00	24.27
Mg.	6.92	6.85	6.91	6.87	6.85	6.86
pH.	6.78	6.82	6.75	6.80	6.75	6.83

Los resultados obtenidos del cuadro anterior, fueron sometidos a un análisis de varianza, para realizar la comparación en cuanto al contenido de elementos disponibles en la pulpa transformada para cada tratamiento.

A.- MACRONUTRIENTES.

En los análisis de varianza para el P y K, no se obtuvo diferencias significativas en cuanto al contenido de macroelementos, lo que indica que todos los tratamientos son estadísticamente iguales. (Cuadros 33 "A" y 34 "A" del apéndice)

B.- ELEMENTOS SECUNDARIOS.

Los análisis de varianza (cuadros 35 "A", 36 "A" y 37 "A" del apéndice) demuestran que todos los tratamientos son estadísticamente iguales, ya que no existió para ninguno de ellos diferencias significativas, por lo tanto el contenido de elementos secundarios es igual para todos.

C.- MICRONUTRIENTES.

Para ninguno de los análisis de varianza (cuadros 38 "A", 39 "A", 40 "A" y 41 "A" del apéndice, se obtuvo diferencias significativas, por lo tanto todos los tratamientos evaluados son estadísticamente iguales con respecto al contenido de micronutrientes.

8.3.- ESTADO DE DESCOMPOSICION DE LA PULPA:

a) Pulpa tratada con Coqueta Roja:

Según Aranda (4), el compost que resulta al utilizar lombrices, presenta una estructura granulada, de pequeños agregados similares a los que acumulan las hormigas en las entradas de sus nidos, que estan formados por las excretas, producto de la digestión de las lombrices.

Tomando como base lo anterior, se obtuvo una muestra al mes de iniciada la investigación, tanto del sistema caja como tablón, se dejó secar durante 24 horas y luego a través del tacto se determinó si alcanzaba las anteriores características.

Posteriormente, estas observaciones se realizaron 2 veces al mes (cada dos semanas), hasta que a la cuarta observación, exactamente a los dos meses y medio, en un alto porcentaje del total de la pulpa de ambos sistemas (caja y tablón), se notó un cambio en cuanto a la forma y estructura de esta. En la quinta observación (tres meses) se notaron estos cambios en la totalidad de la pulpa para ambos sistemas. Para confirmar el cambio total de la pulpa, se realizó una sexta observación (a los tres meses y medio), esta ya no arrojó ningún cambio extra a los obtenidos en la observación anterior, por lo tanto se considera que la pulpa tratada con lombrices, estuvo transformada a compost a los tres meses, tiempo en el cual la pulpa adquirió todas las características citadas por Aranda (4).

b) Pulpa tratada con degradador:

Para el caso de la pulpa tratada con degradador enzimático y para el testigo, se tomó, al igual que la pulpa tratada con lombrices una muestra por tratamiento y por sistema (caja y tablón), cada muestra se puso a secar al sol durante 24 horas, y luego se determinó por medio del tacto el grado de descomposición (dureza) de la pulpa, el cual se comparó con la escala de dureza (cuadro 3) elaborada por Leiva (15), que toma como base el color, olor, humedad y consistencia de la pulpa.

La primera muestra se tomó al mes de iniciada la investigación, para ambos casos: pulpa-degradador (caja y tablón) y pulpa-testigo (caja y tablón), no se observó ningún cambio en el estado de descomposición de la pulpa.

Las muestras siguientes se tomaron 2 veces al mes (cada 2 semanas). En la segunda muestra (sexta semana a partir del inicio), en la tercera muestra (octava semana), y en la cuarta muestra (décima semana). Se observó que para el caso de la pulpa tratada con degradador y para el testigo no existió ningún cambio en el estado de descomposición de la pulpa. Fue hasta la quinta muestra (semana doce) que se observaron cambios en cuanto al estado de descomposición. La pulpa tratada con degradador, de acuerdo a la escala de dureza, presentó una condición ligeramente descompuesta, con terrones que se deshacían con cierta facilidad, de color café oscuro, humedad menor de 70% y un fuerte olor a fermentación. Por su parte, la pulpa-testigo continuó sin presentar ningún cambio.

Para la sexta muestra (semana catorce), se continuó observando cambios, la pulpa presentó una condición de medianamente descompuesta, con pulpa que no formaba grandes terrones, con un color oscuro, humedad menor de 60%, olor a fermentación tolerable al olfato. La pulpa-testigo aún no presentó ningún cambio.

En la séptima muestra (semana dieciseis), la pulpa presentó la condición de descompuesta, con la pulpa desmenuzada, color oscuro intenso, no se encontraban conchas y si las había, éstas se deshacían al tacto. La pulpa-testigo seguía sin presentar cambios.

Para confirmar el estado de descomposición anterior, se tomó una octava y novena muestras (semana diecisiete y dieciocho), donde la pulpa ya no presentó ningún cambio, mantuvo y confirmó su condición de descompuesta. Por lo tanto se considera que la pulpa alcanzó su condición de descompuesta a los cuatro meses, para ambos sistemas (caja y tablón). Por su lado la pulpa-testigo presentaba algunos cambios, empezó a alcanzar una condición ligeramente descompuesta, presentó algunos terrones que se deshacían con cierta facilidad, color café oscuro, humedad menor de 70% y un fuerte olor a fermentación.

c) Para confirmar los resultados anteriores (estado de descomposición de la pulpa), se realizaron análisis de laboratorio a través de la caracterización de materiales húmicos por el método espectrométrico. La metodología empleada fue la propuesta por Tabatabai (17).

A.- Reactivos:

1.- Solución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3), 0.05 N. en agua destilada.

B.- Determinación de radio E4/E6:

1.- Disolver 3 mg de material húmico, en 10 ml de la solución de NaHCO_3 .

2.- Medir las absorvancias a 465 y 655 nm. Esta se basa en la realización de lecturas en el espectrofotómetro; para obtener el radio E4 se lee el porcentaje de absorvancia a 465 nm. El radio E6 se obtiene a través de lecturas a 655 nm. El radio de las dos absorvancias es el E4/E6 radio. Un resultado (un radio) menor de 0.8 indica que la pulpa aún no alcanza una condición de descompuesta o de totalmente descompuesta. Valores (radios) mayores de 0.8 indican que la pulpa alcanzó la condición de descompuesta o de totalmente descompuesta, (17).

El cuadro 7 muestra los valores (radios) obtenidos a través de la caracterización de materiales húmicos por el método espectrométrico.

Cuadro 7. Valores (radios) obtenidos a través de la caracterización de materiales húmicos por el método espectrométrico.

REPETICIONES/TRATAMTOS.	1	2	3	4	5	6
1	1.47	1.29	0.64	1.28	1.17	0.56
2	1.50	1.29	0.65	1.50	1.56	0.65
3	1.38	1.29	0.60	1.29	1.56	0.65
4	1.56	1.28	0.33	1.47	1.29	0.65
5	1.39	1.17	0.65	1.56	1.29	0.50
6	1.39	1.28	0.56	1.50	1.29	0.39
SUMATORIA	8.39	7.60	3.76	9.10	8.16	3.79
MEDIA	1.45	1.27	0.57	1.43	1.36	0.63

Los resultados del cuadro anterior, demuestran claramente que los tratamientos pulpa+lombrices (caja y tablón) y pulpa+degradador (caja y tablón), ya habían alcanzado su condición de pulpa descompuesta. Por su parte en el tratamiento pulpa+testigo (caja y tablón), no había alcanzado su condición de descompuesta.

En el tratamiento 1 (caja + lombrices), todas las repeticiones alcanzaron un valor (radio) superior a 0.80; siendo el valor mínimo obtenido de 1.38 para la repetición tres; y el valor más alto de 1.50 para la repetición dos; obteniendo finalmente para este tratamiento una media de 1.45.

En el tratamiento 2 (caja + degradador), se obtuvieron para todas sus repeticiones, valores (radios) arriba de 0.80. El valor más bajo de 1.17 fue para la repetición cinco y el valor más alto de 1.29; alcanzando una media de 1.27.

El tratamiento 3 (caja + testigo) muestra valores (radios) menores de 0.80 para todas sus repeticiones, alcanzando una media de 0.57.

El tratamiento 4 (tablón + lombrices), al igual que el tratamiento 1 alcanzó los valores (radios) mas altos, obteniendo 1.28 para el valor mas bajo y 1.56 para el más alto; siendo el valor medio de 1.43.

En el tratamiento 5 (tablón + degradador), también se obtuvieron valores (radios) arriba de 0.80. Siendo el valor mas bajo de 1.17 para la repetición uno y el valor mas alto de 1.56; obteniendo una media de 1.36.

El tratamiento 6 (tablón + testigo), también tiene valores (radios) menores de 0.80 para todas sus repeticiones, alcanzando una media de 0.57.

Los tratamientos 1 (caja + lombrices) y el 4 (tablón + lombrices) alcanzaron los valores (radios) mas altos, lo que indica que la pulpa ya había alcanzado totalmente su condición de descompuesta. Los tratamientos 2 (caja + degradador) y el 5 (tablón + degradador), también alcanzaron valores por arriba de 0.80; por lo que esta pulpa también alcanzó una condición de descompuesta.

En los tratamientos 3 (caja + testigo) y 6 (tablón + testigo), no se obtuvieron valores arriba de 0.80 para ninguno de los dos, lo que indica que la pulpa, después del tiempo que duró la investigación (5 meses) aún no había alcanzado una condición de descompuesta.

A través de la caracterización de materiales húmicos por el método espectrométrico, se confirmaron los resultados obtenidos a través de la escala de dureza, donde el tratamiento 1 (caja + lombrices) y el 4 (tablón + lombrices) alcanzaron la condición totalmente descompuesta. El tratamiento 2 (caja + degradador) y el 5 (tablón + degradador) alcanzaron una condición de descompuesta, mientras que el tratamiento 3 (caja + testigo) y el 6 (tablón + testigo) únicamente alcanzaron la condición ligeramente descompuesta.

8.4.- TEMPERATURA Y pH:

Debido a que la temperatura y el pH son los factores que más influyen en el desarrollo y actividad de la lombriz, se presentan a continuación los valores tomados semanalmente, (figura 1 y 2).

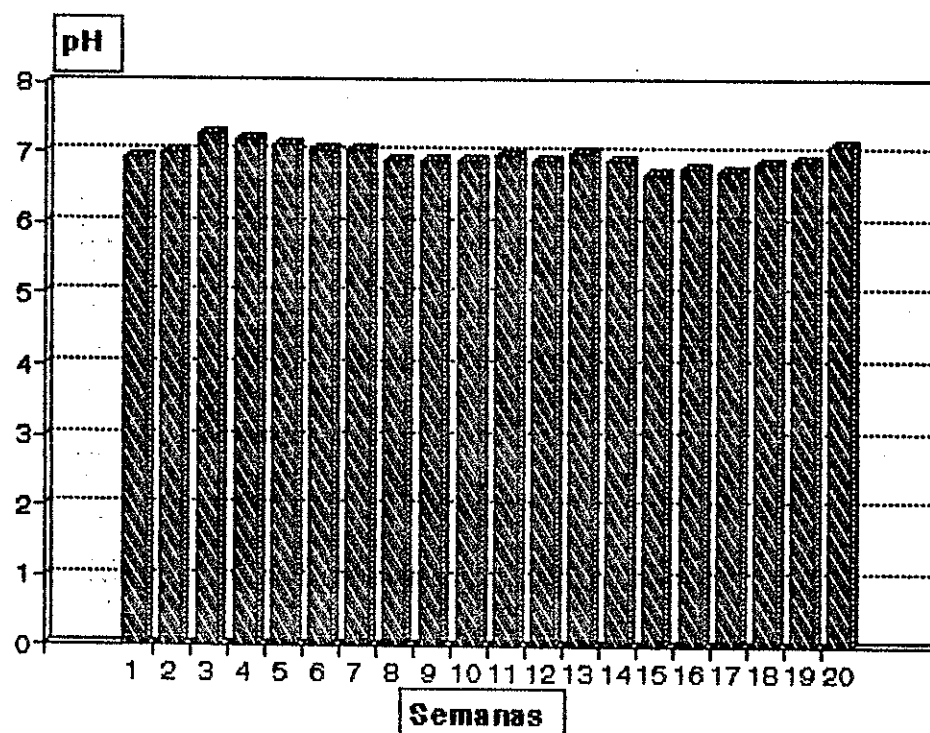


Figura 1. pH en el sustrato. Caja + lombrices

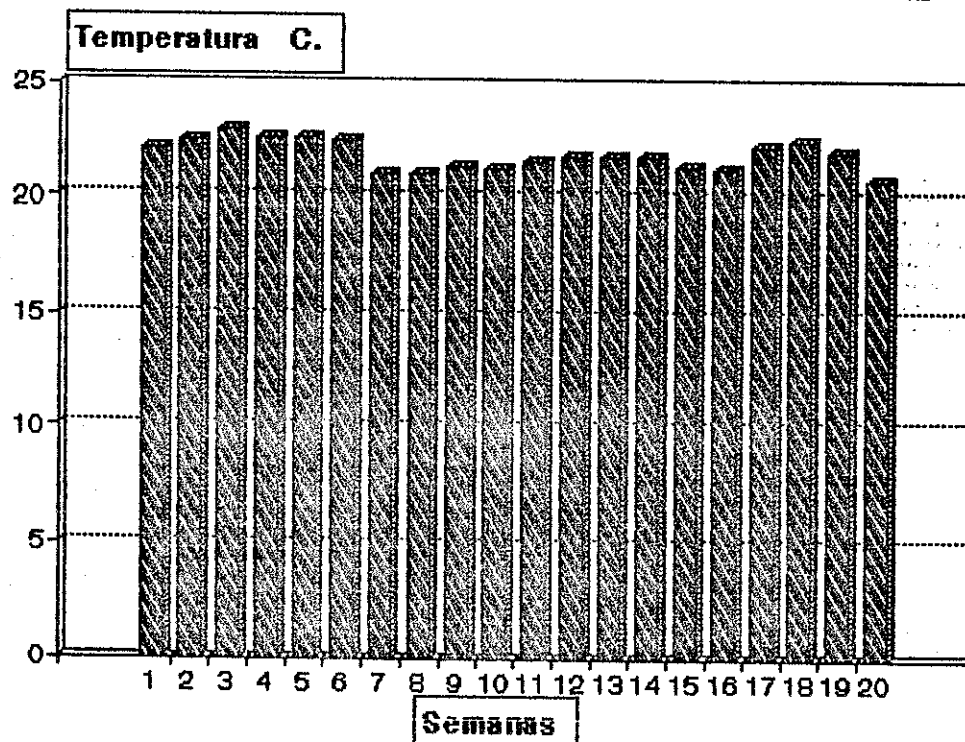


Figura 2. Temperatura en el sustrato. Caja + lombrices.

De acuerdo a las figuras 1 y 2, los rangos de pH y temperatura para el tratamiento caja + lombrices, estuvieron dentro de los que la lombriz Coqueta Roja se puede adaptar.

En el tiempo que duró la investigación, se tuvo un pH mínimo de 6.72; un pH medio de 6.92 y un valor máximo de 7.27; siendo el rango de adaptación de la Coqueta Roja de 6 - 8.

En cuanto a la temperatura: se tuvo una temperatura mínima de 20.83, una temperatura media de 21.80 y una temperatura máxima de 23 grados centígrados; siendo el rango de adaptación de la Coqueta Roja de 18 - 30 grados centígrados, Compagnoni (11). Por lo tanto la lombriz encontró las condiciones óptimas para su total desarrollo, lo que se refleja en el tiempo total utilizado para transformar la pulpa de café a compost (3 meses en el tratamiento caja + lombriz).

A continuación se presentan las gráficas para el sistema tablón:

De acuerdo a las figuras 3 y 4, para el tratamiento tablón + lombrices, los rangos de pH y temperatura también estuvieron dentro de los que la Coqueta Roja se adapta. Los valores de pH fueron los siguientes: el valor mínimo fue de 6.7, el valor medio fue de 6.88 y el valor máximo fue de 7.1; siendo el rango de adaptación de la Coqueta Roja de 6 - 8.

En cuanto a la temperatura se refiere, se obtuvo una temperatura mínima de 22.0; una media de 23.09 y una máxima de 24.3 grados

centígrados; siendo el rango de adaptación de la Coqueta Roja de 18 - 30 grados centígrados (11).

Los anteriores resultados indican que la lombriz encontró las condiciones adecuadas para su desarrollo, lo que redundó en una transformación rápida de la pulpa de café, (3 meses).

En cuanto a los valores de pH obtenidos en la pulpa descompuesta (cuadro 6), estos no alcanzaron el estado neutro, sin embargo, para todos los tratamientos se obtuvieron valores cercanos al neutro. En el sistema caja: el tratamiento pulpa + degradador alcanzó el valor mas alto (6.82), seguido del tratamiento pulpa + lombrices con un valor de 6.78 y pulpa + testigo 6.75.

En el sistema tablón el valor mas alto se obtuvo en el tratamiento pulpa + testigo (6.83), seguido del tratamiento pulpa + lombriz (6.80), y el sistema pulpa + degradador con 6.75.

En el tiempo que duró la investigación, no se alcanzó una total estabilización del pH para todos los tratamientos, por lo que se considera necesario mas tiempo para alcanzar la total estabilización.

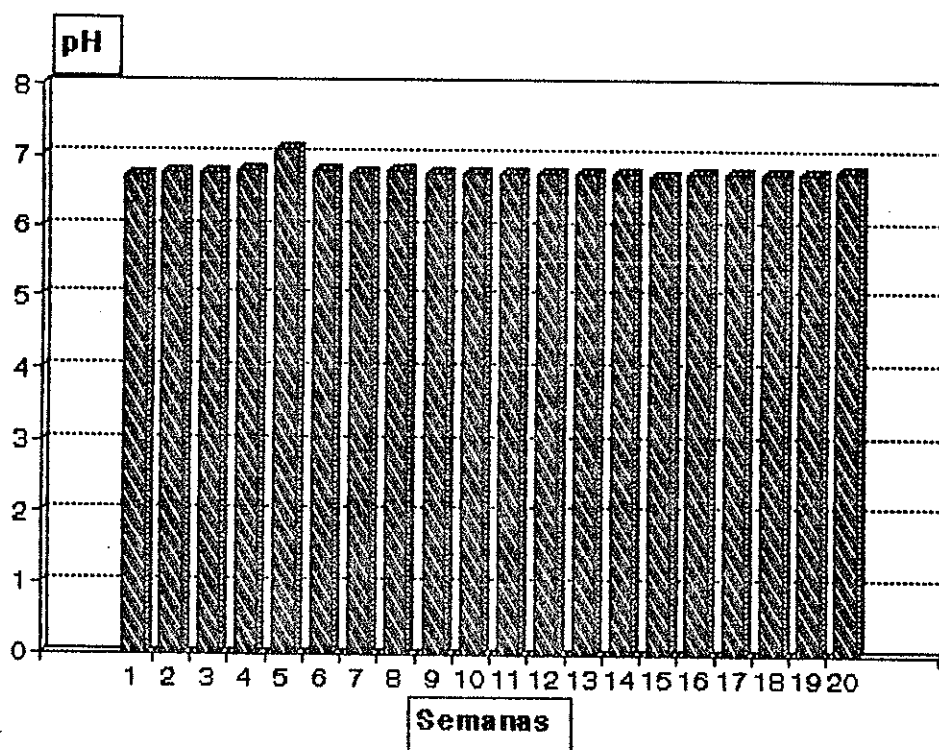


Figura 3. pH en el sustrato. Tablon + lombrices.

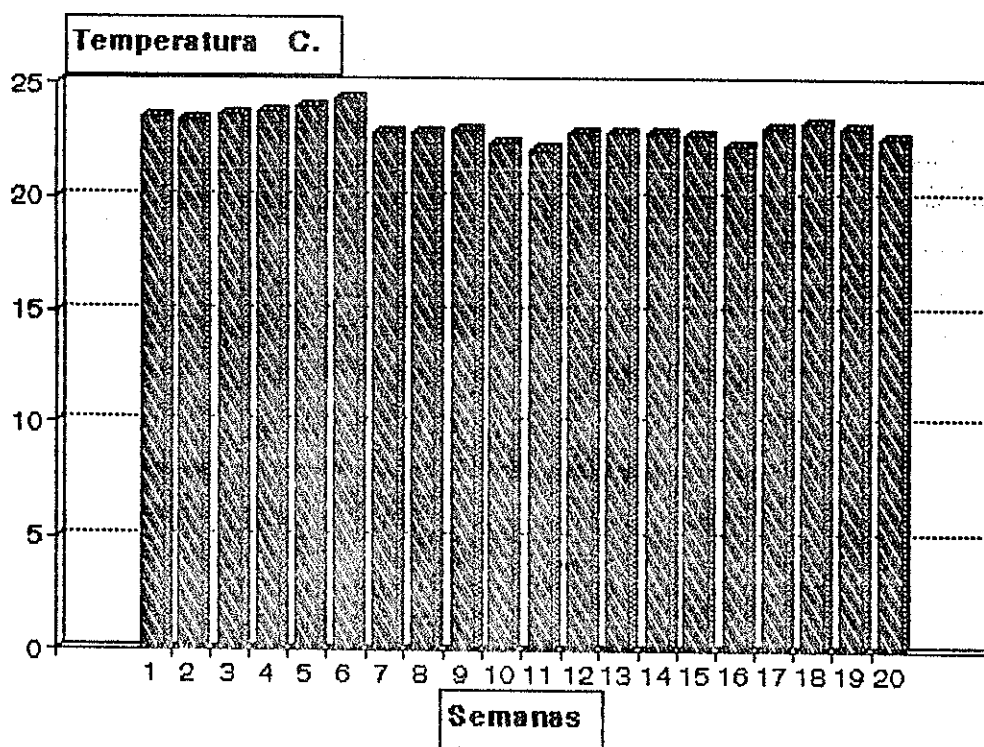


Figura 4. Temperatura en el sustrato. Tablon + lombrices.

8.5.- CONVERSION DE VOLUMEN INICIAL, PESO INICIAL DE PULPA DE CAFE A VOLUMEN FINAL, PESO FINAL DE COMPOST.

En la medida que se va descomponiendo la pulpa de café, su volumen y peso disminuyen, lo que permite bajar bajar costos por manejo en cuanto a su transporte del lugar donde se descompuso hacia el lugar donde se utilizará (semilleros, almácigos, etc.)

En la figura 5 se realiza la comparación entre las medias del volumen de pulpa utilizada al inicio (que fue de 0.08 metros cúbicos para todos los tratamientos) y del compost obtenido al final. Se observa que en el sistema caja: el tratamiento pulpa + lombrices y el tratamiento pulpa + degradador obtuvieron los valores mas bajos, siendo de 0.064 metros cúbicos para ambos tratamientos, teniendo una diferencia de 0.016 metros cúbicos con respecto al volumen inicial. El tratamiento pulpa + testigo obtuvo el valor medio mas alto (0.073 metros cúbicos), siendo la diferencia con respecto al volumen inicial de 0.007 metros cúbicos. En el sistema tablón, el tratamiento pulpa + lombrices obtuvo el valor mas bajo (0.061), teniendo una diferencia de 0.019 metros cúbicos con respecto al volumen inicial; con el valor obtenido para el tratamiento pulpa + degradador (0.067), se obtuvo una diferencia con respecto al volumen inicial de 0.013 metros cúbicos; y el tratamiento pulpa + testigo, obtuvo el valor mas alto (0.071), teniendo una diferencia de 0.009 metros cúbicos.

En la figura 6 también se realiza la comparación, pero entre las medias del peso de pulpa utilizada al inicio (que fue de 50.377 kilogramos para todos los tratamientos) y del compost obtenido al final.

En el sistema caja: el tratamiento pulpa + lombrices un peso de 37.21 Kgs; el tratamiento pulpa + degradador un peso de 37.51 Kgs y el tratamiento pulpa + testigo un peso de 39.45 Kgs lo que indica que existió una diferencia de 13.17, 12.87 y de 10.93 kilogramos respectivamente para cada tratamiento. En el sistema tablón: el tratamiento pulpa + lombrices un peso de 37.41 Kgs, el tratamiento pulpa + degradador un peso de 37.80 Kgs y el tratamiento pulpa + testigo un peso de 38.78 Kgs; existiendo una diferencia de 12.97, 12.57 y de 11.60 kgs respectivamente para cada tratamiento.

Los resultados anteriores demuestran que tanto para el sistema caja como para el sistema tablón, los tratamientos donde se utilizó lombrices se obtuvieron los valores más bajos tanto para el volumen como para el peso final de compost obtenido. Lo que indica que tanto el peso como el volumen final disminuyen con respecto al peso y volumen inicial. Sin embargo, en el caso del sistema tablón, se obtuvo el valor más bajo, teniendo una pequeña diferencia de 0.003 metros cúbicos menos con respecto al sistema caja. Para el caso del peso final, siempre en los tratamientos donde se utilizó lombrices, en el sistema caja se obtuvo el valor más bajo, teniendo una pequeña diferencia de 0.20 kilogramos menos con respecto al sistema tablón.

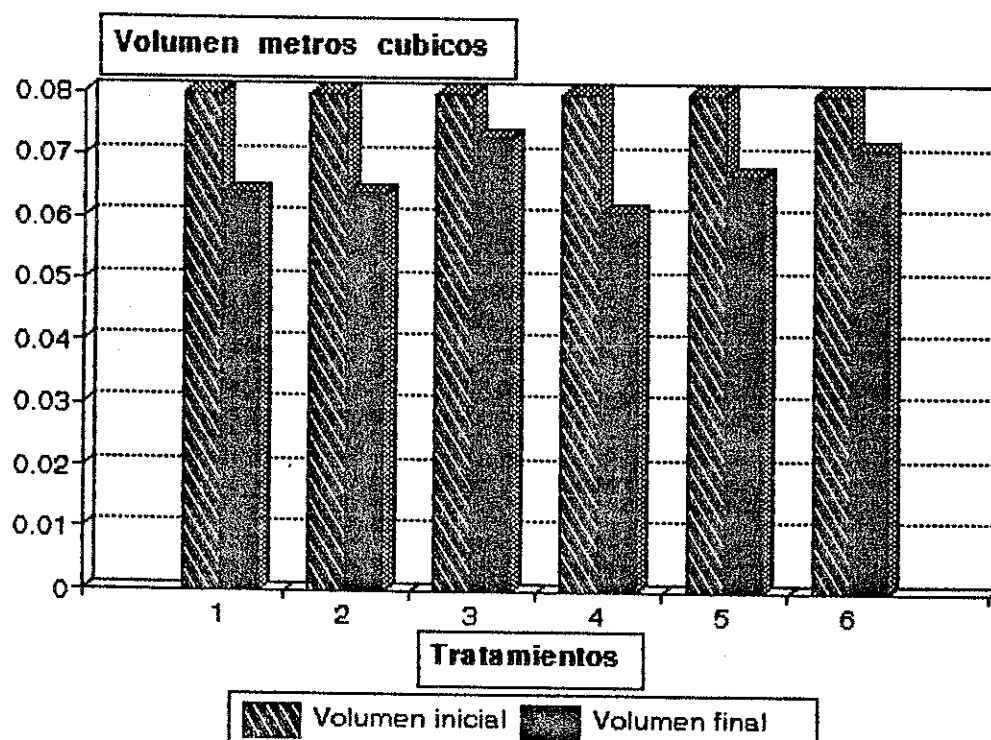


Figura 5. Volumen del sustrato al inicio y al final.

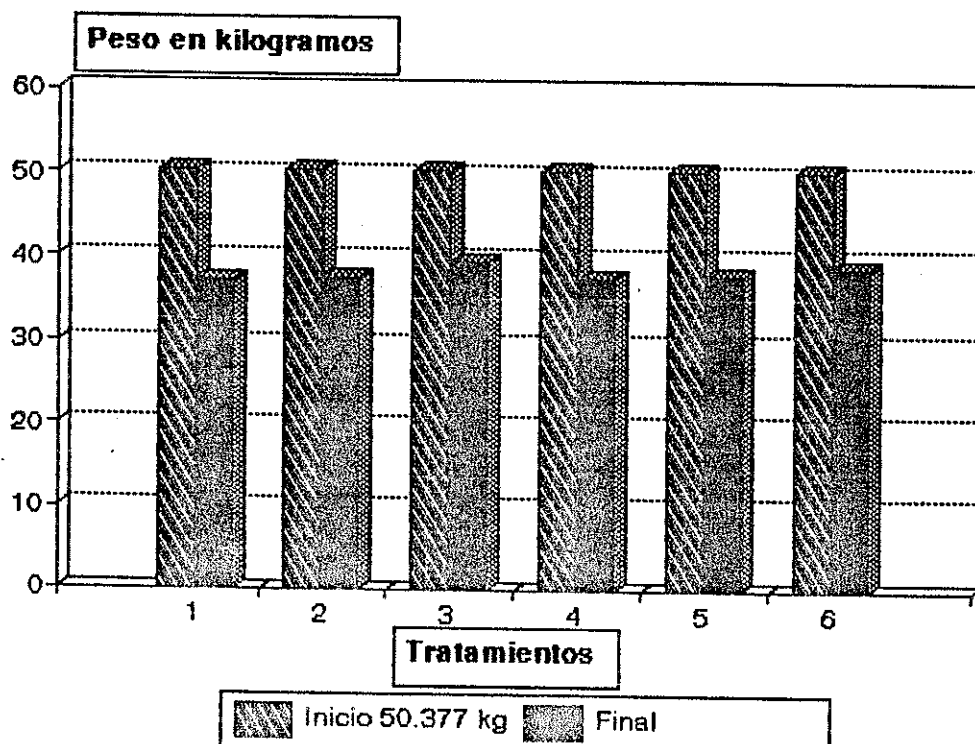


Figura 6. Peso del sustrato al inicio y al final.

Considerando el peso final de compost de cada tratamiento, se obtuvo la aportación total de nutrientes/hectárea al suelo:

Cuadro 8. Peso final expresado en porcentaje del compost obtenido para cada tratamiento.

TRATAMIENTO	PESO INICIAL. KILOGRAMOS	PESO FINAL. KILOGRAMOS	PESO FINAL. %
1	50.377	37.21	73.86
2	50.377	37.51	74.46
3	50.377	39.45	78.31
4	50.377	37.41	74.26
5	50.377	37.80	75.04
6	50.377	38.78	76.97

De los datos anteriores, se obtuvo la media de peso final en porcentaje para los tratamientos con lombrices (tratamientos 1 y 4) y para los tratamientos con degradador (tratamiento 2 y 5):

a)Media para los tratamientos con lombrices: $\frac{73.86+74.26}{2} = 74.06\%$

b)Media para los tratamientos con degradador: $\frac{74.46+75.04}{2} = 74.75\%$

8.5.1.- Nutrientes/hectárea aportados al suelo en base de compost obtenido por lombrices:

-Se obtuvieron los promedios para cada elemento (cuadro 5) en los dos tratamiento donde se utilizó lombriz (tratamiento 1 y tratamiento 4).

N = 0.685 %

K = 0.440 %

P = 0.195 %

Ca= 1.525 %

Mg= 0.175 %.

-Se calculó la cantidad promedio de pulpa descompuesta o compost obtenido en una hectárea.

Area = 1 hectárea cultivada con café

Producción = 4,870 kgs cereza (maduro).

De los 4,870 kgs se obtiene un 57 % de pulpa, por lo tanto:

Producción de pulpa fresca = $4,870 \text{ kgs} \times 0.57 = 2,776 \text{ kgs}$.

Producción de compost = $2,776 \text{ kgs} \times 0.7406 = 2,056 \text{ kgs}$.

Producción de compost = $2,056 \text{ kgs/hectárea}$.

-De acuerdo a este análisis se estaría agregando al suelo la siguiente cantidad de nutrientes/hectárea.

Nitrógeno = $2,056 \text{ kgs} \times 0.00685 = 14.084 \text{ kgs}$.

Potasio = $2,056 \text{ kgs} \times 0.00440 = 9.046 \times 1.2 = 10.855 \text{ kgs de K}_2\text{O}$.

Fósforo = $2,056 \text{ kgs} \times 0.00195 = 4.009 \times 2.21 = 8.860 \text{ kg de P}_2\text{O}_5$

Calcio = $2,056 \text{ kgs} \times 0.01525 = 31.354 \times 1.4 = 43.895 \text{ kgs de CaO}$.

Magnesio = $2,056 \text{ kgs} \times 0.00175 = 3.598 \times 1.66 = 5.973 \text{ kgs de MgO}$.

8.5.2.- Nutrientes/hectárea aportados al suelo en base de compost obtenido por el degradador:

-Se obtuvieron los promedios para cada elemento (cuadro 5) en los dos tratamientos donde se utilizó degradador (tratamiento 2 y tratamiento 5).

N = 0.655 %

K = 0.425 %

$$P = 0.195 \%$$

$$Ca = 1.590 \%$$

$$Mg = 0.175 \%$$

-Se calculó la cantidad promedio de pulpa descompuesta o compost obtenido en una hectárea.

Area = 1 hectárea cultivada con café

Producción = 4,870 kgs cereza (maduro).

De los 4,870 kgs se obtiene un 57 % de pulpa, por lo tanto:

Producción de pulpa fresca = $4,870 \text{ kgs} * 0.57 = 2,776 \text{ kgs}$.

Producción de compost = $2,776 \text{ qq} * 0.7475 = 2,075 \text{ kgs}$.

Producción de compost = $2,075 \text{ kgs/hectárea}$.

-De acuerdo a este análisis se estaría agregando al suelo la siguiente cantidad de nutrientes/hectárea.

Nitrógeno = $2,075 \text{ kgs} * 0.00655 = 13.591 \text{ kgs}$.

Potasio = $2,075 \text{ kgs} * 0.00425 = 8.819 * 1.2 = 10.583 \text{ kgs de K2O}$.

Fósforo = $2,075 \text{ kgs} * 0.00195 = 4.046 * 2.21 = 8.942 \text{ kgs de P2O5}$

Calcio = $2,075 \text{ kgs} * 0.01590 = 32.992 * 1.4 = 46.189 \text{ kgs de}$

CaO.

Magnesio = $2,075 \text{ kgs} * 0.00175 = 3.631 * 1.66 = 6.027 \text{ kgs de MgO}$.

En el cuadro 9 se presenta el resumen en cuanto al aporte de nutrientes, tanto para los tratamientos donde se utilizó lombriz como para los tratamientos donde se utilizó degradador enzimático. Aunque en los análisis de varianza para cada uno de éstos nutrientes no existió diferencias significativas y el aporte del compost obtenido de cada uno de los tratamientos estadísticamente es el mismo, se puede observar que existe un mayor aporte de N y de K₂O al suelo por parte del compost obtenido de lombrices; no así el P₂O₅, el CaO y el MgO que es mayor el aporte por parte del compost obtenido utilizando degradador.

Cuadro 9. Aportación de nutrientes/hectárea de la pulpa al suelo.

NUTRIENTE	APORTACION DE NUTRIENTES AL SUELO A PARTIR DE	
	2,056 kgs de compost L O M B R I C E S	2,075 kgs de compost D E G R A D A D O R
N	14.084 kgs.	13.591 kgs.
K ₂ O	10.855 kgs.	10.583 kgs.
P ₂ O ₅	8.860 kgs.	8.942 kgs.
CaO	43.895 kgs.	46.189 kgs.
MgO	5.973 kgs.	6.027 kgs.

8.6.- ANALISIS DE PRESUPUESTO PARCIAL:

Actualmente en el mercado nacional, no existe ningún abono orgánico a base de pulpa de café; por lo tanto, el compost que se obtuvo en esta investigación aún no cuenta con un precio de venta. Esto implica que no se puedan obtener los beneficios netos para cada tratamiento y como consecuencia, no se pueda realizar el análisis de presupuesto parcial (10).

Sin embargo, se efectuó otro tipo de análisis que se ajustó a los datos que se obtuvieron para cada tratamiento:

8.6.1.- ANALISIS COSTOS-EFECTIVIDAD:

Para efectuar este tipo de análisis se consideraron los siguientes datos. a) el rendimiento medio de compost producido para cada tratamiento (kgs) y b) los costos que varían para cada tratamiento (14).

Para este análisis no se consideraron los tratamientos testigos (tratamiento 3 y tratamiento 6), debido a que esta pulpa aún no había alcanzado su condición de descompuesta, por lo tanto, no presentó una estabilización total en cuanto al peso de este material.

A continuación en el cuadro 10, se presentan los valores de la producción media expresada en kilogramos de compost/tratamiento y los costos que varían/tratamiento. Considerando que los pie de cría se establecieron en Mixco y Sacatepequez, el costo de las lombrices se obtuvo tomando en cuenta principalmente el gasto en transporte y los

días utilizados. El costo por galón de degradador enzimático fue de Q.724.00 por lo que a cada sistema le corresponde la mitad del costo total, ya que se utilizó en ambos sistemas (caja y tablón). El costo de aplicación fue de Q.12.00/sistema debido a que se empleo un día para aplicarlo a cada tratamiento. El costo de las cajas fue de Q.480.00 divididos entre dos tratamientos (tratamiento 1 y 2). El costo de llenado de cajas fue de Q.12.00, correspondiendole Q.6.00 a cada tratamiento donde se utilizó (tratamiento 1 y 2). Y la elaboración de tablonos tuvo un costo de Q.12.00, divididos entre los dos tratamientos (tratamiento 4 y 5).

Cuadro 10. Análisis costos-efectividad, para la producción de compost expresado en kilogramos.

	T R A T A M I E N T O			
	1	2	4	5
PRODUCCION MEDIA (kgs)	37.21	37.51	37.41	37.80
-Costo lombrices	100.00	-- --	100.00	-- --
-Costo degradador	-- --	362.98	-- --	362.98
-Costo aplicación	-- --	12.00	-- --	12.00
-Costo cajas	240.00	240.00	-- --	-- --
-Llenado cajas	6.00	6.00	-- --	-- --
-Elaboración tablonos	-- --	-- --	6.00	6.00
COSTOS QUE VARIAN (Q)	346.00	620.98	106.00	380.98

En el análisis de dominancia, para la producción de compost (kilogramos), se presentan los diferentes tratamientos con sus costos que varían, ordenados de menor a mayor con su respectiva producción. (Cuadro 11)

Cuadro 11. Análisis de dominancia, para la producción de compost (kg).

TRATA- MIENTO	SISTEMA	TOTAL COSTOS QUE VARIAN (Q.)	PRODUCCION DE COMPOST (kgs)	INCREMENTO DE LOS COSTOS QUE VARIAN (Q.)	INCREMENTO DE LA PRODUCCION DE COMPOST (kgs)
4	tablón	106.00	37.41	-- --	-- --
1	caja	346.00	37.21	240.00	-0.200
5	tablón	380.98	37.80	34.98	0.595
2	caja	620.98	37.51	240.00	-0.295

En el cuadro anterior se observa que los tratamientos 1 (caja + lombrices) y 2 (caja + degradador), fueron dominados, lo que se refleja en los valores negativos obtenidos; esto se debe a que el tratamiento 1 presenta una menor producción de compost y un total de costos que varían mayor, con respecto al tratamiento inmediato superior (tratamiento 4); y el tratamiento 2 también presenta una menor producción de compost con respecto al tratamiento inmediato superior (tratamiento 5).

El análisis para obtener la tasa marginal de eficiencia se realizó con los tratamientos que no fueron dominados; donde la TME se obtuvo dividiendo el incremento de la producción de compost expresado en kilogramos entre el incremento de los costos que varían expresado en quetzales. (Cuadro 12)

Cuadro 12. Análisis Tasa Marginal de Eficiencia (TME), para la producción de compost.

TRATA- MIENTO	TOTAL COSTOS QUE VARIAN (Q.)	INCREMENTO COSTOS QUE VARIAN (Q.)	PRODUCCION DE COMPOST (kgs)	INCREMENTO DE LA PRODUCCION DE COMPOST (kgs)	TASA MARGINAL DE EFICIENCIA (TME)
4	106.00	-- --	37.41	-- --	-- --
5	380.98	274.98	37.80	0.395	0.0014

En el cuadro anterior, se observa que el tratamiento 5 presenta un incremento en los costos que varían de Q.274.98 y un incremento en la producción de 0.395 kilogramos con respecto al tratamiento 4; esto trae como consecuencia una tasa marginal de eficiencia de 0.14 % entre los dos tratamientos. Lo anterior indica que al pasar del tratamiento 4 (tablón + lombrices) al 5 (tablón + degradador), por cada quetzal invertido se obtienen 0.0014 kilogramos de compost más con respecto al tratamiento 4.

Sin embargo, el incremento en la producción de compost (kgs) por quetzal invertido es mínimo (0.14 %) y el incremento en los costos que varían alto (Q.274.98), que no es conveniente pasar del tratamiento 4 (tablón + lombrices) al tratamiento 5 (tablón + degradador). Relacionado con lo anterior, está el tiempo de descomposición del sustrato (pulpa), ya que si se usa el tratamiento 5 (tablón + degradador) el tiempo total para alcanzar la descomposición será de 4 meses; mientras que si se utiliza el tratamiento 4 (tablón + lombrices) el tiempo total para alcanzar la descomposición será de 3 meses.

9.- C O N C L U S I O N E S.

1. El contenido de nutrientes para cada uno de los tratamientos evaluados fue el mismo, ya que tanto para los nutrientes totales (no disponibles en forma inmediata) como para los nutrientes disponibles, no existió diferencias significativas. Por lo tanto ninguno de los sistemas ni los agentes, influyó en el contenido de nutrientes del compost obtenido.
2. La pulpa sometida a los tratamientos caja + lombrices y tablón + lombrices; alcanzaron la condición de totalmente descompuesta a los tres meses, no así la pulpa en los tratamientos caja + degradador y tablón + degradador que alcanzaron la condición de descompuesta a los cuatro meses. Por lo tanto el uso de los agentes descomponedores redujo el tiempo de transformación de la pulpa a compost.
3. El estado de descomposición (dureza) de la pulpa para cada uno de los tratamientos evaluados, se determinó a través de la escala de dureza y por el método espectrométrico.
4. De acuerdo al análisis de costos-efectividad, el mejor tratamiento por su producción final de compost, es el 5 (tablón + degradador). Sin embargo, debido a que los costos que varían para este tratamiento son de Q.380.00 y un tiempo total para que la pulpa este descompuesta de 4 meses; es conveniente utilizar el tratamiento 4 (tablón + lombrices) cuyos costos que varían son de Q.106.00 y un tiempo total para que la pulpa esté descompuesta de 3 meses.

5. La utilización de la Coqueta Roja como método para descomponer la pulpa de café a compost, es sencilla y fácil de manejar en cualquier finca; además en el proceso de descomposición de la pulpa no afecta su contenido nutrimental, facilita el manejo del compost por disminución del peso y volumen y contribuye a la no contaminación del medio ambiente ya que no se utiliza ningún tipo de producto químico.

10.- R E C O M E N D A C I O N E S.

1. Se recomienda utilizar el tratamiento que incluye al sistema tablón y al agente descomponedor lombrices. Debido a que es el que presenta los menores costos y un tiempo total para su transformación a compost de tres meses.
- 2.- Debido a que en esta investigación se utilizó un volumen pequeño de pulpa (0.08 metros cúbicos) para cada tablón; se recomienda para futuras investigaciones, utilizar volúmenes mayores de pulpa (u otro tipo de rastrojo) con un mayor número de lombrices, a la intemperie; colocando la pulpa en forma de tablón de hasta 0.40 metros de profundidad.
- 3.- Se recomienda que cada finca cuente con un pie de cría de Coqueta Roja para transformar restos de las cosechas, como la pulpa de café, que contaminan el medio ambiente durante el proceso de descomposición natural.

11.- B I B L I O G R A F I A.

1. AEFUER, S. L. S. F. Lombricultura. Valencia, España. 12 p.
2. AGUIRRE, B. F. 1960. La utilización del grano de café y de sus productos. Guatemala. ICATIT. 431 p.
3. APARDO, L.; GAVILA, M. 1991. Descomposición de la pulpa de café por medio de la lombriz roja californiana. Colombia, Centro Nacional de Investigación de Café. 4 p.
4. APARDO, E. 1989. Perspectivas de la utilización de lombrices en la transformación de pulpa de café en abono orgánico. México, Instituto Mexicano del Café. Boletín técnico de café. 8 p.
5. ARISTIZABAL, C.; MONTORÁ, E. 1991. La lombriz de tierra como alternativa en la transformación de pulpa de café. Tesis Zootecnista. Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 75 p.
6. ARLEDGE, J. S. F. Mayores cosechas empleando la lombriz Coqueta Roja. Guatemala. DIGESA. 24 p.
7. BARRIENTOS, M. 1980. Algunas transformaciones previo al análisis de varianza. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Centro de Estadística y Cálculo. 6 p.
8. BRAHAM, J.; BRESSANI, R. 1978. Pulpa de café; composición, tecnología y utilización. Guatemala, INCAF. 152 p.
9. CARDONA, D. 1991. Introducción a la edafología. Guatemala, Universidad Rafael Landívar. Programa de fortalecimiento académico de las sedes regionales. 254 p.
10. CIMMYT (Méx.). 1968. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica. México. 79 p.
11. COMPAGNONI, L. 1988. Cría moderna de lombrices. De Vecchi. Barcelona, España. 127 p.

12. GREEN LIFE (Italia). s. f. Offer for a pilot plant for production of earthworm humus. Torino, Italia. 23 p.
13. GUATEMALA. ASOCIACION NACIONAL DEL CAFE. 1991. Manual de caficultura. 178 p.
14. GUEVARA, F. 1993. Evaluacion de tres insecticidas termonebulizados y tres tiempos de aplicacion como tratamiento cuarentenario. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomia. 46 p.
15. LEIVA, J. 1988. Evaluacion del degradador enzimatico de rastrojos (stubble digester plus) en la descomposicion de la pulpa de café. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomia. 46 p.
16. RODAS, C. A. 1990. Contaminacion de rios por subproductos del beneficiado. Revista cafetalera (Gua) No. 312: 23-26.
17. TABATABAI, N. 1987. Organic matter. In Methods of soil analysis part 2: chemical and microbiology properties. U. S. A., ASA-CSSA-SSSA. 1500 p.

To. Bo. Quiam De La Roca



12.- A P E N D I C E.

Cuadro 13 "A". Análisis de varianza para el N total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.3017		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.0222	0.00444	0.48	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.0017	0.00170	0.18	4.17 - 7.56
AGENTE	2	0.0165	0.00825	0.89	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.0040	0.00200	0.21	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	0.2795	0.00931		

C.V. = 6.00 %

Cuadro 14 "A". Análisis de varianza para el P total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.0029		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.0001	0.00002	0.21	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.0000	0.00000	0.00	4.17 - 7.56
AGENTE	2	0.0001	0.00005	0.53	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.0000	0.00000	0.00	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	0.0028	0.000093		

C.V. = 0.90 %

Cuadro 15 "A". Análisis de varianza para el K total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.0351		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.0023	0.00046	0.42	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.0001	0.00010	0.09	4.17 - 7.56
AGENTE	2	0.0001	0.00005	0.04	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.0021	0.00105	0.96	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	0.0328	0.00109		

C.V. = 2.76 %

Cuadro 16 "A". Análisis de varianza para el Ca total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.1496		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.0069	0.00138	0.29	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.0025	0.00250	0.52	4.17 - 7.56
AGENTE	2	0.0015	0.00075	0.16	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.0029	0.00145	0.30	3.32 - 5.32
ERROR EXP.	30	0.1427	0.00476		

C.V. = 5.30 %

Cuadro 17 "A". Análisis de varianza para el Mg total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.0034		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.0003	0.00006	0.60	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.0001	0.00010	1.00	4.17 - 7.56
AGENTE	2	0.0001	0.00005	0.50	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.0001	0.00005	0.50	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	0.0031	0.00010		

C.V. = 0.93 %

Cuadro 18 "A". Análisis de varianza para el S total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.0001		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.0000	0.00	0.00	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.0000	0.00	0.00	4.17 - 7.56
AGENTE	2	0.0000	0.00	0.00	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.0000	0.00	0.00	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	0.0001	0.0000033		

C.V. = 0.17 %

Cuadro 19 "A". Análisis de varianza para el Fe total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	2,923,214.70		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	83,460.86	16,692.17	0.18	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	7,597.97	7,597.97	0.08	4.17 - 7.56
AGENTE	2	23,825.11	11,942.55	0.13	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	52,037.78	26,018.89	0.27	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	2,839,753.84	94,658.46		

C.V. = 8.12 %

Cuadro 20 "A". Análisis de varianza para el Mn total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	24,666.70		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	2,967.50	593.50	0.82	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	1,381.30	1,381.30	1.91	4.17 - 7.56
AGENTE	2	52.60	26.30	0.04	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	1,533.60	766.80	1.06	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	21,699.20	723.30		

C.V. = 12.52 %

Cuadro 21 "A". Análisis de varianza para el Cu total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	102.75		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	6.25	1.25	0.39	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.69	0.69	0.21	4.17 - 7.56
AGENTE	2	2.17	1.08	0.33	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	3.39	1.69	0.52	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	96.50	3.22		

C.V.= 13.54 %

Cuadro 22 "A". Análisis de varianza para el Zn total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	778.22		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	67.22	13.44	0.57	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	21.78	21.78	0.92	4.17 - 7.56
AGENTE	2	5.39	2.69	0.11	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	40.05	20.02	0.84	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	711.00	23.70		

C.V.= 15.00 %

Cuadro 23 "A". Análisis de varianza para el N total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.080		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.010	0.0020	0.86	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.001	0.0010	0.43	4.17 - 7.56
AGENTE	2	0.001	0.0005	0.21	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.008	0.0040	1.72	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	0.070	0.00233		

C.V.= 3.75 %

Cuadro 24 "A". Análisis de varianza para el P total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.001		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.00	0.0000	0.00	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.00	0.0000	0.00	4.17 - 7.56
AGENTE	2	0.00	0.0000	0.00	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.00	0.0000	0.00	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	0.001	0.0000333		

C.V.= 0.53 %

Cuadro 25 "A". Análisis de varianza para el K total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.030		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.005	0.0010	1.200	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.000	0.0000	0.000	4.17 - 7.56
AGENTE	2	0.000	0.0000	0.000	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.005	0.0025	3.000	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	0.025	0.00083		

C.V.= 2.42 %

Cuadro 26 "A". Análisis de varianza para el Ca total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.10		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.01	0.002	0.67	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.00	0.000	0.00	4.17 - 7.56
AGENTE	2	0.00	0.005	0.15	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.01	0.005	1.67	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	0.09	0.003		

C.V.= 3.41 %

Cuadro 27 "A". Análisis de varianza para el Mg total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.0014		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.000	0.00	0.00	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.000	0.00	0.00	4.17 - 7.56
AGENTE	2	0.000	0.00	0.00	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.000	0.00	0.00	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	0.0014	0.0000467		

C.V.= 0.63 %

Cuadro 28 "A". Análisis de varianza para el S total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.0002		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.00	0.00	0.00	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.00	0.00	0.00	4.57 - 7.56
AGENTE	2	0.00	0.00	0.00	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.00	0.00	0.00	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	0.0002	0.00000667		

C.V.= 0.25 %

Cuadro 29 "A". Análisis de varianza para el Fe total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	1,270,005.60		N.S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	151,000.43	30,200.08	0.81	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	11,271.32	11,271.32	0.30	4.17 - 7.56
AGENTE	2	31,200.68	15,600.34	0.42	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	108,528.43	54,264.21	1.45	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	1,119,005.17	37,300.17		

C.V.= 7.0 %

Cuadro 30 "A". Análisis de varianza para el Mn total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	4,578.222		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	556.222	111.244	0.83	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	186.777	186.777	1.39	4.17 - 7.56
AGENTE	2	128.722	64.361	0.48	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	240.723	120.361	0.89	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	4,022.000	134.066		

C.V.= 5.93 %

Cuadro 31 "A". Análisis de varianza para el Cu total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	112.75		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	8.25	1.650	0.47	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.25	0.250	0.07	4.17 - 7.56
AGENTE	2	6.00	3.000	0.86	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	2.00	1.000	0.29	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	104.50	3.483		

C.V.= 17.36 %

Cuadro 32 "A". Análisis de varianza para el Zn total.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	4,666.223		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	1,096.889	219.377	1.84	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	400.000	400.000	3.36	4.17 - 7.56
AGENTE	2	528.389	264.194	2.22	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	168.500	84.250	0.71	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	3,569.334	118.977		

C.V.= 18.11 %

Cuadro 33 "A". Análisis de varianza para el K disponible.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	2,316,307.64		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	12,977.80	2,595.56	0.0034	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	971.36	971.36	0.0130	4.17 - 4.56
AGENTE	2	2,998.22	1,499.11	0.0190	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	9,008.22	4,504.11	0.0590	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	2,303,329.83	76,777.66		

C.V.= 17.0 %

Cuadro 34 "A". Análisis de varianza para el P disponible.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	9,960.75		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	111.87	22.37	0.068	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	2.20	2.20	0.006	4.17 - 7.56
AGENTE	2	66.45	33.22	0.101	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	43.22	21.61	0.068	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	9,848.88	328.29		

C.V.= 9.30 %

Cuadro 35 "A". Análisis de varianza para el Ca disponible.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	144.89		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.29	0.058	0.0120	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.00	0.000	0.0000	4.17 - 4.56
AGENTE	2	0.04	0.020	0.0041	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.25	0.125	0.0250	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	144.60	4.820		

C.V.= 9.0 %

Cuadro 36 "A". Análisis de varianza para el Mg disponible.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	11.78		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.03	0.006	0.015	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.01	0.010	0.025	4.17 - 4.56
AGENTE	2	0.01	0.005	0.013	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.01	0.005	0.013	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	11.75	0.392		

C.V.= 9.10 %

Cuadro 37 "A". Análisis de varianza para el S disponible.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	2,073.00		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	160.33	32.066	0.50	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	13.44	13.440	0.21	4.17 - 4.56
AGENTE	2	123.17	61.580	0.96	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	23.72	11.860	0.18	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	1,912.67	63.760		

C.V.= 1.80 %

Cuadro 38 "A". Análisis de varianza para el Cu disponible.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	0.020		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.000	0.0000	0.00	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.000	0.0000	0.00	4.17 - 4.56
AGENTE	2	0.000	0.0000	0.00	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.000	0.0006	0.00	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	0.020			

C.V.= 11.84 %

Cuadro 39 "A". Análisis de varianza para el Fe disponible.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	11.73		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.11	0.022	0.057	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.03	0.030	0.077	4.17 - 4.56
AGENTE	2	0.05	0.025	0.064	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.03	0.015	0.039	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	11.62	0.387		

C.V.= 17.44 %

Cuadro 40 "A". Análisis de varianza para el Mn disponible.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	870.11		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	1.01	0.202	0.00690	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.97	0.970	0.03350	4.17 - 4.56
AGENTE	2	0.00	0.000	0.00000	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.04	0.020	0.00069	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	869.10	28.970		

C.V.= 17.79 %

Cuadro 41 "A". Análisis de varianza para el Zn disponible.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft
TOTAL	35	22.18		N. S.	0.05 - 0.01
TRATAMIENTO	5	0.37	0.0074	0.10	2.53 - 3.70
SISTEMA	1	0.01	0.0100	0.01	4.17 - 4.56
AGENTE	2	0.11	0.0550	0.07	3.32 - 5.39
SIST.Y AGEN	2	0.25	0.1250	0.17	3.32 - 5.39
ERROR EXP.	30	21.81	0.7270		

C.V.= 7.60 %



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

Ref. Sem.027-95

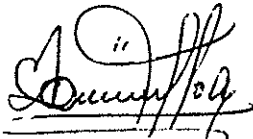
LA TESIS TITULADA: "TRANSFORMACION DE LA PULPA DE CAFE EN COMPOST, UTILIZANDO LA LOMBRIZ COQUETA ROJA (Eisenia fetida) Y UN DEGRADADOR ENZIMATICO DE RASTROJOS".

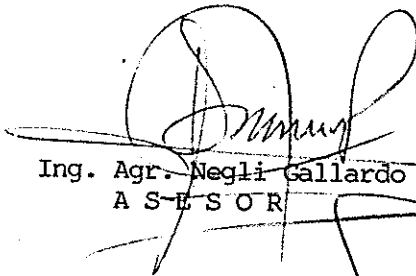
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: CESAR AUGUSTO IXCOT GONZALEZ

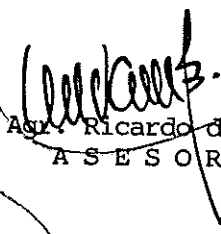
CARNET No: 8215013

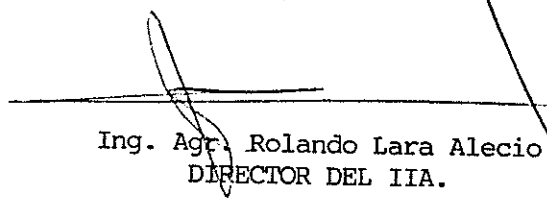
HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Química Lisely de León
Ing. Agr. José Jesús Chonay
Ing. Agr. Maxdelio Herrera
Licda. Olga Mena

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.


Ing. Agr. Eduardo Carrillo
A S E S O R

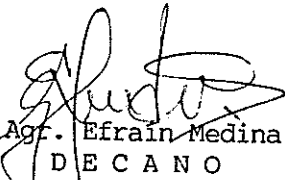

Ing. Agr. Negli Gallardo
A S E S O R


Ing. Agr. Ricardo del Valle
A S E S O R


Ing. Agr. Rolando Lara Alecio
DIRECTOR DEL IIA.



I M P R I M A S E


Ing. Agr. Efraín Medina Guerra
D E C A N O



c.c.Control Académico APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.

Archivo
RL/prr.

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770