

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



TRABAJO DE GRADUACIÓN
EL BENEFICIADO DEL FRUTO, DEGRADACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ Y
MINERALIZACIÓN DE RESIDUOS DE SOMBRA EN EL CULTIVO DE CAFÉ, SANTA ROSA,
GUATEMALA, C.A

RAFAEL DE JESUS SICAJÚ LÓPEZ

RAFAEL DE JESUS SICAJÚ LÓPEZ

GUATEMALA, FEBRERO 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA
SUBÁREA DE EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO –EPS-

EL BENEFICIADO DEL FRUTO, DEGRADACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ Y
MINERALIZACIÓN DE RESIDUOS DE SOMBRA EN EL CULTIVO DE CAFÉ, SANTA ROSA,
GUATEMALA, C.A

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR
RAFAEL DE JESUS SICAJÚ LÓPEZ

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO
EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, FEBRERO 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR MAGNÍFICO
Lic. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr.	LAURIANO FIGUEROA QUIÑONEZ
VOCAL PRIMERO	Dr.	ARIEL ABDERRAMÁN ORTÍZ LÓPEZ
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. MSc.	MARINO BARRIENTOS GARCÍA
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. MSc.	OSCAR RENÉ LEIVA RUANO
VOCAL CUARTO	Br.	LORENA CAROLINA FLORES PINEDA
VOCAL QUINTO	P. Agr.	JOSÚE ANTONIO MARTÍNEZ ROQUE
SECRETARIO	Ing. Agr.	CARLOS ROBERTO ECHEVERRIA ESCOBEDO

GUATEMALA, FEBRERO 2012

Guatemala, febrero 2012

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

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación: **EL BENEFICIADO DEL FRUTO, DEGRADACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ Y MINERALIZACIÓN DE RESIDUOS DE SOMBRA EN EL CULTIVO DE CAFÉ, SANTA ROSA, GUATEMALA, C.A** como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

RAFAEL DE JESUS SICAJÚ LÓPEZ

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Que en su infinita misericordia me ha provisto de lo que reconozco no merezco, la mejor guía para salir adelante en mi vida.

MIS PADRES: Victorina López y Ascensión Sicajú, quienes han sido el origen de mis deseos de superación y la guía ideal y oportuna a lo largo de mi vida.

MIS HERMANOS: Ernesto, María Veda, María Cristina, Herlindo y Egidio Sicajú López por su apoyo en todo momento de mi vida.

TODA MI FAMILIA: A mis abuelos y abuelas, tíos y tías cuyos consejos han sido una luz en mi camino, con cariño para mis primos, primas y a mis sobrinos.

Mi Amiga Dra. María Antonieta Alfaro quien es merecedora de un gran cariño y respeto de mi persona.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

DIOS: Que en su infinita misericordia me ha prestado vida y facultades para culminarlo.

MIS PADRES: Sin quienes no hubiera sido posible mi desarrollo profesional.

MIS HERMANOS: Con quienes estoy especialmente agradecido por su apoyo y aliento.

MI NOVIA LIDIA BAL DONIS: Por su cariño, amor y apoyo en la última etapa.

MIS AMIGOS: Con quienes compartí la vida universitaria.

MI PATRIA: Cuyo desarrollo es mi deseo.

LA FAUSAC: Por enseñarme y abrirme los ojos, para ver el mundo de la agronomía y convertirme en una persona diferente.

ANACAFE: Institución que me brindó la confianza necesaria para iniciar mi labor profesional.

AGRADECIMIENTOS

Especialmente a ANACAFE, quien por medio del Centro de Investigaciones en Café, apoya el desarrollo tecnológico de la caficultura del país:

Ph. D. Francisco Anzueto, Coordinador del Centro de Investigaciones en Café.

Ph. Dra. María Antonieta Alfaro, asesora en proyectos de investigación del café.

Por su valiosa colaboración en el diseño y ejecución de lo contenido en el presente documento:

Ing. Humberto Jiménez García, Jefe del Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas.

Ing. Agr. Fernando Rodríguez Bracamonte, Supervisor – Asesor de Ejercicio de Práctica Supervisada, FAUSAC.

Señor José Víctor Galicia, Asistente del Laboratorio de Protección Vegetal.

Ing. Agr. Luis Peñate Munguía.

Al área Integrada y Sub-área de Ejercicio Profesional Supervisado - EPSA - quienes tienen la noble labor de dar una primera oportunidad para el desarrollo profesional a todos los estudiantes de la FAUSAC.

ÍNDICE

CONTENIDO

PÁGINA

CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ EN LA FINCA “EL RECREO” DEL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DE LIMA DEL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA.....		1
1.1 ANTECEDENTES.....		2
1.2 OBJETIVOS.....		3
1.2.1 Objetivo general.....		3
1.2.2 Objetivos específicos.....		3
1.3 METODOLOGÍA.....		4
1.3.1 Entrevista semi-estructurada.....		4
1.3.2 Visita a la planta de beneficiado.....		4
1.3.3 Mediciones.....		4
1.3.4 Sistema de lavado.....		5
1.3.5 Secado de café.....		5
1.3.6 Almacenamiento de café pergamino.....		5
1.3.7 Subproductos del café.....		5
1.4 RESULTADOS.....		6
1.4.1 Ubicación del beneficio en la finca.....		6
1.4.2 Agua disponible.....		6
1.4.3 Energía disponible.....		6
1.4.4 Captación del café.....		7
1.4.5 Deposito recibidor.....		8
1.4.6 Deposito sifón de flujo continuo.....		9
1.4.7 Pulperos o despulpadores.....		10
1.4.8 La criba, separadora de flotes o clasificadora de pergamino:.....		10
1.4.9 Despulpador repasador.....		11
1.4.10 Pilas de fermentación.....		11
1.4.11 Desmucilagadora.....		12
1.4.12 Lavado.....		13
1.4.13 Caja y decantador.....		13
1.4.14 Caño guatemalteco.....		14
1.4.15 Secado.....		14
1.4.16 Almacenado.....		15
1.4.17 Manejo de los subproductos.....		15
1.5 CONCLUSIONES.....		17
1.6 BIBLIOGRAFÍA.....		18

CONTENIDO

PÁGINA

CAPÍTULO II

TIEMPO DE DEGRADACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ UTILIZANDO TRES DIFERENTES DEGRADADORES DE MATERIA ORGÁNICA EN LA FINCA EL ZAPOTE, CUILAPA, SANTA ROSA.....	19
2.1 PRESENTACIÓN	20
2.2 MARCO TEÓRICO.....	21
2.2.1 Marco Conceptual	21
2.3 Marco Referencial.....	33
2.4 OBJETIVOS.....	34
2.4.1 General	34
2.4.2 Específicos	34
2.5 HIPÓTESIS.....	35
2.6 METODOLOGÍA.....	36
2.6.1 Descripción del experimento	36
2.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
2.7.1 Temperaturas durante la descomposición	42
2.7.2 Pulpa transformada.....	44
2.7.3 Análisis de Costos.....	66
2.8 CONCLUSIONES.....	71
2.9 RECOMENDACIONES.....	72
2.10 BIBLIOGRAFÍA.....	73

CAPITULO III

ELABORACIÓN DE CURVAS DE MINERALIZACIÓN DE DIFERENTES PLANTAS: BANANO (<i>Musa sapientum</i>), GRAVILEA (<i>Grevillea robusta A.Cunn</i>), CUJE (<i>Inga spp.</i>), CUSHIN (<i>Inga spp.</i>) TORRELEANA (<i>Eucalyptus Torreliana F. Muell</i>), PALO DE PITO (<i>Erithryna spp.</i>) Y ACHOTON (<i>Alchornia latifolia Sw. 1788</i>), UTILIZADAS PARA SOMBRA DE CAFÉ EN DIVERSAS LOCALIDADES SANTA ROSA.....	75
3.1 INTRODUCCIÓN.....	76
3.2 ANTECEDENTES.....	77
3.3 MARCO TEÓRICO.....	79
3.3.1 Marco conceptual	79
3.4 MARCO REFERENCIAL.....	87
3.5 OBJETIVO GENERAL.....	88
3.5.1 Objetivos específicos.....	88
3.6 METODOLOGÍA.....	89
3.6.1 Material vegetativo.....	89
3.6.2 Selección de parcelas.....	89
3.6.3 Bolsas de descomposición	89
3.6.4 Manejo del material en descomposición	90
3.6.6 Análisis de datos	91

3.7	RESULTADOS.....	92
3.7.1	Condiciones climáticas que predominaron en las regiones durante el ensayo experimental.	92
3.7.2	Descomposición del material vegetativo proveniente de especies de sombra para café en Finca El Recreo, Santa Rosa de Lima.	92
3.7.3	Descomposición de los residuos en finca El Zapote, Cuilapa Santa Rosa	95
3.7.4	Descomposición de los residuos en Finca El Chagüite, Pueblo Nuevo Viñas Santa Rosa	97
3.7.5	Descomposición de los residuos en Finca Las Flores, Barberena, Santa Rosa	100
3.8	Discusión de resultados	103
3.8.1	Pérdidas de peso.....	103
3.9	RECOMENDACIONES.....	105
3.10	BIBLIOGRAFIA	106

ÍNDICE DE CUADROS

1	Nombre e identificación de los tratamientos.	39
2	Escala de degradación de la pulpa de café transformada en abono.	40
3	Concentración de elementos al inicio y al final del experimento.....	46
4	Análisis de la varianza del Nitrógeno.....	47
5	Prueba Tukey para la concentración de Nitrógeno.....	47
6	Análisis de varianza para la concentración de Fósforo.....	49
7	Prueba Tukey para la concentración de Fósforo.	49
8	Análisis de varianza del Potasio.	50
9	Prueba Tukey para el Potasio.....	51
10	Análisis de varianza para la concentración de Calcio.....	53
11	Prueba de medias Tukey para el Calcio.	53
12	Análisis de varianza para la concentración de Magnesio.	55
13	Prueba de medias Tukey para la concentración de Magnesio.	55
14	Análisis de varianza para la concentración de Cobre.....	57
15	Prueba de medias Tukey para la concentración de Cobre.....	57
16	Análisis de varianza para la concentración de Hierro.....	58
17	Prueba de medias Tukey para la concentración de Hierro.....	59
18	Análisis de varianza para la concentración de Manganeso.....	60
19	Prueba de medias Tukey para la concentración de Manganeso.....	60
20	Análisis de varianza para la concentración de Zinc.....	62
21	Prueba de medias Tukey para la concentración de Zinc.....	62
22	Cantidad de microgramos de CO ₂ en cada tratamiento.....	65
23	Análisis de varianza para la respiración microbiana.....	65
24	Cantidad de miligramos de Carbono de la biomasa microbiana (C - BM) en los abonos obtenidos.....	66
25	Análisis de varianza para la biomasa microbiana.....	66
26	Costo de compostar una tonelada de pulpa fresca con activador enzimático bactoagar en 114 días.....	67
27	Costo de compostar una tonelada de pulpa fresca con fertilizante nitrogenado (Urea) en 85 días.....	68
28	Costo de compostar una tonelada de pulpa fresca con microorganismos efectivos.....	69

CUADRO	PÁGINA
29 Costo de la producción en kilogramos de elementos mayores.....	69
30 Costo en el mercado de los elementos mayores.	70
31 Peso seco del material vegetativo y porcentaje de material remanente en las bolsas de descomposición de tres especies utilizadas para sombra de café en Finca El Recreo 2008.....	93
32 Nitrógeno (mg) residual y liberado del material contenido en las bolsas de descomposición, en el experimento de Finca El Recreo, 2008.	95
33. Peso seco del material vegetativo y porcentaje de material remanente en las bolsas de descomposición de tres especies utilizadas para sombra de café en Finca El Zapote	96
34 Nitrógeno (mg) residual y liberado del material contenido en las bolsas de descomposición, en el experimento de Finca El Zapote, 2008.....	97
35. Peso seco del material vegetativo y porcentaje de material remanente en las bolsas de descomposición de tres especies utilizadas para sombra de café en Finca El Chaguite 2008.....	98
36 Nitrógeno (mg) residual y liberado del material contenido en las bolsas de descomposición, en el experimento de Finca El Chaguite, 2008.	99
37 Peso seco del material vegetativo y porcentaje de material remanente en las bolsas de descomposición de tres especies utilizadas para sombra de café en Finca Las Flores. 2008.....	100
38 Nitrógeno (mg) residual y liberado del material contenido en las bolsas de descomposición, en el experimento de Finca Las Flores, 2008.	101

ÍNDICE DE FIGURAS

1 Localización de la fuente de agua y de la planta de beneficiado en la finca El Recreo.	6
2 planta de generación de energía eléctrica utilizada para el funcionamiento del beneficio.....	7
3 Báscula utilizada para medir el peso y la cantidad de café uva que es recibido en el beneficio.	7
4 Vista lateral de los depósitos recibidores de café uva.	8
5 Planta de los dos tanques recibidores de café uva así como sus diferentes dimensiones.	8
6 Vista de dos diferentes ángulos del depósito sifón de flujo continuo.	9
7 Vista lateral de los diferentes despulpadores existentes en la planta de beneficiado.....	10
8 Vista de dos diferentes ángulos de la criba, separadora de flotes o clasificadora de pergamino.....	10
9 Despulpero repasador de café uva tanto en reposo como en funcionamiento.	11
10 Vista de una de las siete pilas de fermentación con que cuenta la planta de beneficiado.....	12
11 Desmucilaginizadora de café pergamino así como algunos de sus componentes.....	12
12 Sistema de canales y correteo para el lavado del café pergamino.	13
13 Caja y decantador para el tratamiento de aguas residuales producto del beneficiado.	13
14 Caño guatemalteco para el transporte de pergamino hacia los patios de secado.....	14
15 Vista lateral de los patios de secado de café pergamino.	15
16 Forma de almacenar el café seco en pergamino.	15
17 Lugar en donde es depositada la pulpa de café producto del beneficiado.	16
18 Depósito de aguas mieles en el beneficio.....	16
19 Fracciones porcentuales del fruto de café.	25

20	Climadiagrama desarrollado con datos de la estación climática de la finca Las Flores Barberena año 2008.	33
21	Comportamiento de la temperatura dentro del núcleo de cada montículo de pulpa en el periodo experimental. Las flechas indican el día de aplicación de agua.	42
22	Comportamiento del Nitrógeno en los tratamiento así como la concentración promedio.	48
23	Concentración del Fósforo en la pulpa en los diferentes tratamientos y tiempos de muestreo.	50
24	Concentración del Potasio en la pulpa con los productos y días de muestreo durante el proceso de transformación.	51
25	Concentración del Calcio en la pulpa tratada con los productos y tiempo de muestreo.	54
26	Concentración del Magnesio en la pulpa con los productos evaluados y días de muestreo.	56
27	Concentración del Cobre en la pulpa con los productos evaluados y días de muestreo.	57
28	Concentración del Hierro en la pulpa con los productos evaluados y días de muestreo.	59
29	Concentración del Manganeso en la pulpa con los productos evaluados y días de muestreo.	61
30	Concentración del Zinc en la pulpa tratada con los productos y días de muestreo.	63
31	Comportamiento de la relación Carbono y Nitrógeno en la pulpa con los producto evaluados y tiempo de muestreo.	63
32	Fluctuación del potencial de Hidrogeno (pH) en la pulpa tratada con los productos evaluados y tiempo de muestreo.	64
33	Condiciones climáticas presentes durante el tiempo de que tardó el ensayo.	92
34	Porcentaje del material vegetativo remanente en relación al tiempo en días, en Santa Rosa de Lima.	94
35	Porcentaje de residuo remanente con relación al tiempo en días en Cuilapa Santa Rosa.	96
36	Porcentaje de residuo remanente en relación con el tiempo en días en Pueblo Nuevo Viña Santa Rosa.	99
37	Porcentaje de residuo remanente en relación al tiempo en días en la finca Las Flores, Barberena Santa Rosa.	101

Resumen general

TIEMPO DE DEGRADACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ UTILIZANDO TRES DIFERENTES DEGRADADORES DE MATERIA ORGANICA EN LA FINCA EL ZAPOTE, CUILAPA, SANTA ROSA.

DEGRADATION TIME OF COFFEE PULP USING THREE DIFFERENT DECOMPOSERS OF ORGANIC MATTER ON THE FARM ZAPOTE, CUILAPA, SANTA ROSA.

El presente informe corresponde al trabajo realizado en la Asociación Nacional del café ANACAFE, mismo que se requiere como parte del Ejercicio Profesional Supervisado –EPS- de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante el periodo de febrero a noviembre de 2008.

El diagnóstico realizado pertenece al funcionamiento del beneficio húmedo de café en la finca el Recreo localizado en el municipio de Santa Rosa de Lima, departamento de Santa Rosa, en el que se conoció la infraestructura y condiciones en que se realiza el proceso, también permitió conocer el manejo que se proporciona a los subproductos del café.

La obtención de dicha información se obtuvo a través de una entrevista semi-estructurada con el encargado del beneficio, y por medio de un recorrido por las instalaciones del beneficio en funcionamiento.

Actualmente, se cuenta con infraestructura para que el beneficio funcione las 24 horas, con la capacidad de despulpar cerca de cuatrocientos quintales de café uva por hora, a pesar que algunas áreas de los patios de secado no cuentan con piso de concreto, pues estos están cubiertos con nylon de polietileno. A los subproductos del beneficiado como la pulpa y aguas mieles se les aplica manejo rustico.

La investigación se enfocó en la generación y búsqueda de una forma económica y técnicamente viable, para el aprovechamiento de la pulpa que proviene del beneficiado húmedo del fruto de café uva. Por lo que se evaluaron tres degradadores de materia orgánica para medir el tiempo de degradación con el propósito de determinar el tiempo que tarda en transformarse la pulpa de café en abono orgánico y cual de los degradadores de materia orgánica presentan mayor facilidad de manejo y beneficio económico para la elaboración de abono orgánico a partir de pulpa de café. En el transcurso de la investigación se determinó que no hubo diferencias significativas en la calidad

nutricional de la pulpa transformada con los productos aplicados. Se obtuvo una adecuada concentración de nutrientes entre los días 78 y 115 días de muestreo, coincidiendo con el periodo en el cual la pulpa presentó una adecuada descomposición con los productos urea y bactoagar.

Los servicios se desarrollaron enfocados a verificar la velocidad de descomposición de diferentes residuos provenientes de los árboles utilizados para sombra de café. El estudio fue realizado en cuatro localidades cafetaleras del Departamento de Santa Rosa, durante un periodo de ocho meses, iniciando en abril y finalizando en noviembre de 2008. Observando una alta tasa de descomposición en las primeras semanas, en la especie de *Musa sapientum* (banano), se observó que el material vegetativo presentó una rápida descomposición con una pérdida acelerada de peso en pocos días después de haber establecido el ensayo, mientras que los materiales vegetativos *Inga spp* (cuje), *Inga spp* (guaba) y *Grevillea robusta* (gravillea) presentaron una lenta pérdida de peso.



CAPITULO I

DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ EN LA FINCA “EL RECREO” DEL MUNICIPIO DE SANTA ROSA DE LIMA DEL DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA.

1.1 ANTECEDENTES

El beneficiado húmedo es un proceso en el cual se somete al fruto del café a diferentes etapas, siendo éstas el cortado, el pesado, el recibido, el despulpado, el fermentado, el desmucilaginado, el lavado, el secado y posteriormente almacenado, logrando de esta manera llevar el fruto de café a la fase de café pergamino.

La agroindustria del café consiste en transformar el fruto maduro en café pergamino y posteriormente en café oro, obteniendo un producto de exportación. En algunas plantas de beneficiado no se tiene ningún control en el uso del agua, por lo que para beneficiar 45.45 kilogramos (un quintal) de café pergamino se requiere de 2000 a 3000 litros de agua (1). Algunas plantas de beneficiado han evolucionado de manera significativa con respecto a lo anterior, debido a la alta competitividad y a las exigencias de las marcas certificadoras, las cuales exigen procesar el café, eficientemente conservando su calidad y siendo amigable con el ambiente. Esta cantidad de agua se redujo hasta 200 litros por 220 kilogramos pergamino en promedio según ANACAFE (1), lo cual se logra utilizando menos agua en el recibo y despulpado, así como recirculando el agua del lavado para despulpar la siguiente partida de café que ingresa del campo; reduciendo de esa forma, 92% del consumo de agua (1).

En la finca El Recreo durante la realización del Ejercicio Profesional Supervisado de la facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, se llevó el registro del funcionamiento de la planta de beneficiado húmedo, tal proceso es realizado en etapas como lo son corte, pesado, recibido, despulpado, clasificado por tamaño, fermentado, desmucilaginado, lavado, secado y almacenado en estado de café pergamino para cuantificar la cantidad de pulpa que se obtiene en la época de beneficiado así como determinar el uso de la pulpa obtenida. Para llevar a cabo dicho registro se realizaron visitas a la planta de beneficiado y mediante una entrevista semi-estructurada con el encargado de la planta. Destacando que la planta de beneficiado cuenta con la maquinaria necesaria para que funcione las 24 horas, mismas que las hacen efectivas cuando es necesario, concluyendo que, en la finca El Recreo durante el beneficiado del 2008, se procesó 23778.636 kilogramos (52,313 quintales) de café uva, en donde se produjeron aproximadamente 1500 toneladas métricas de pulpa, para un potencial uso en tratamiento y recuperación de suelo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Caracterizar el funcionamiento del beneficio húmedo del café de la finca “EL RECREO” del municipio de Santa Rosa de Lima, Santa Rosa.

1.2.2 Objetivos específicos

Describir el beneficiado de café durante la época de cosecha.

Determinar el uso que actualmente tiene la pulpa, producto del beneficiado en la finca.

1.3 METODOLOGÍA

1.3.1 Entrevista semi-estructurada.

Se realizó una entrevista con el encargado de las instalaciones del beneficio, con el fin de recabar información respecto a:

La cantidad de café uva que se benefició durante el 2008

La forma en que se utilizan los desechos del despulpado

1.3.2 Visita a la planta de beneficiado.

Mediante la observación de las diferentes etapas de beneficiado se obtuvo la siguiente información.

1.3.2.1 Capacidad instalada

Son todos los elementos que componen el beneficio, A. recolección, recibo y clasificación. B. Despulpado, clasificación y limpieza. C. Remoción del mucílago, D. lavado y su clasificación. E. Secamiento F. Almacenamiento G. Subproductos del café. Se realizó la observación de cada una de las etapas del beneficiado húmedo de café.

1.3.2.2 Sistema de recibo y clasificación de café.

Se midió el largo, ancho y profundidad del tanque sifón tradicional para obtener la capacidad de recibo en métricos cúbicos. Se observó si existen medios para la clasificación de café maduro y las condiciones en que este se encuentra.

1.3.2.3 Área de maquinaria

Se observó el área de maquinaria cantidad, capacidad y condiciones en que se encuentran los pulperos principales y repasadores.

1.3.3 Mediciones

1.3.3.1 Remoción del mucilago

Se cuantificó el total de pilas de fermentación, posteriormente se midió el ancho, largo y profundidad de las pilas para obtener el volumen en metros cúbicos.

1.3.4 Sistema de lavado.

Se midió el largo, ancho y profundidad de los canales de carreteo, obteniéndose un volumen real de los canales.

1.3.5 Secado de café.

Se midió el largo por ancho de los patios de secado, para obtener el área en metros cuadrados.

1.3.6 Almacenamiento de café pergamino.

Se observó el almacenamiento del café en la bodega. Según estudios realizados por ANACAFE revelan que para almacenar 540 quintales de café pergamino se necesita un volumen de 60 metros cúbicos, pues hay que destinar cierta área para carga, vías de acceso y ventilación.

1.3.7 Subproductos del café

Se observó el manejo y disposición de los subproductos del café (la pulpa y las aguas mieles).

1.4 RESULTADOS

1.4.1 Ubicación del beneficio en la finca

La finca cuenta con un área de 178 hectáreas de terreno, a una altitud de 1067 msnm con topografía variada. El beneficio de café se encuentra en la parte baja de la finca “El Recreo” con coordenadas al Norte 14 grados, 26.229 minutos al Oeste 90 grados 17.690 minutos.

1.4.2 Agua disponible

La fuente de agua que se utiliza para el proceso de beneficiado proviene de un desvío del río Los Esclavos, originándose del lugar llamado “Puente Badén”. Almacenándose cerca del área del beneficiado como se observa en la figura 1.



Figura 1 Localización de la fuente de agua y de la planta de beneficiado en la finca El Recreo.

El agua es conducida hacia las instalaciones del beneficio por gravedad, con caudal muy abundante lo que permite un ritmo constante de trabajo en dichas instalaciones. A la izquierda de la imagen se muestra la forma de la finca delimitada con la línea negra y la ubicación del beneficio dentro de la finca.

1.4.3 Energía disponible

Para operar el beneficio como lo muestra la figura 2 se utiliza una planta generadora de energía eléctrica de 100 kilovatios por hora, su funcionamiento es a base de diesel, el tanque de dicho generador es llenado cada siete días con una capacidad de 54 galones de combustible.



Figura 2 planta de generación de energía eléctrica utilizada para el funcionamiento del beneficio.

1.4.4 Captación del café

Según ANACAFE existen dos formas de recibir el café, por peso y por volumen, en este caso se utiliza la forma por peso, en donde el café maduro se recibe en una báscula electrónica con capacidad para 20 quintales maduro.

En la figura 3 se observa la báscula, cuya pantalla es digital y la lectura son en kilogramos por lo que es necesario hacer la conversión a libras.

Báscula
utilizada en
el beneficio



Figura 3 Báscula utilizada para medir el peso y la cantidad de café uva que es recibido en el beneficio.

1.4.5 Deposito recibidor

Existe dos depósitos recibidores de café maduro a los que el encargado del beneficio les llama tanque uno y tanque dos, el tanque uno tiene una capacidad 230 quintales de café maduro y el tanque dos tiene una capacidad de 300 quintales de café maduro.

En la figura 4 se muestra la forma de los dos depósitos, estos se categorizan como recibidores de café semi-seco, por que utiliza agua para mover el café.



Figura 4 Vista lateral de los depósitos recibidores de café uva.

En la figura 5 se muestra un esquema de los dos depósitos, en donde se muestran las dimensiones de ancho, altura y largo de cada uno de los tanques.

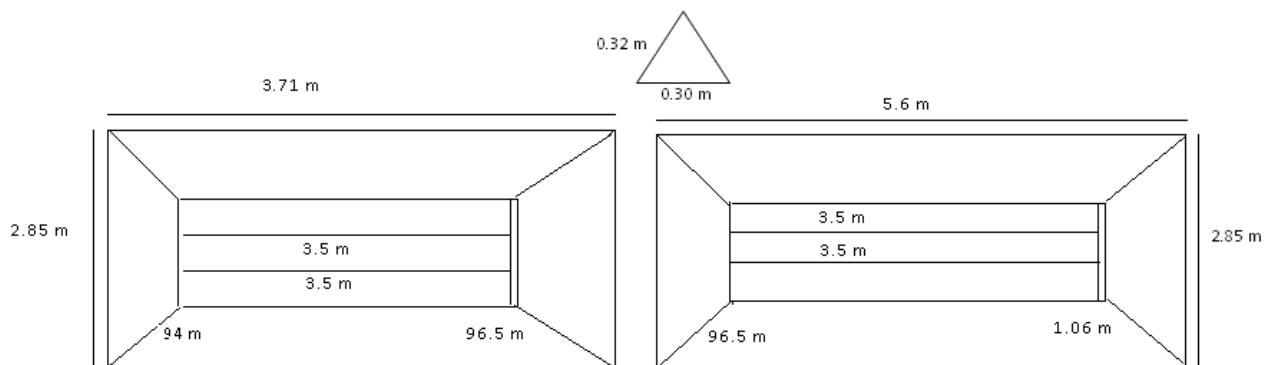


Figura 5 Planta de los dos tanques recibidores de café uva así sus diferentes dimensiones.

Como se muestra en la figura 5 son de forma rectangular con un metro de altura para facilitar el depósito del fruto maduro. El piso esta construido de pavimento con pendiente 2.5 por ciento, dividido en secciones separadas por camellones de forma piramidal, estos tanques tienen instalados tres tubos de 2.5 pulgadas de diámetro, con un caudal de agua de 4.28 litros por segundo. Al final esta construido un canal transversal de 3.5 por ciento de pendiente que recibe el fruto de las diferentes secciones y lo conduce al tanque sifón de flujo continuo. El movimiento se logra mediante la fuerza del agua la misma arrastra el fruto para ser trasladado al sistema de clasificación que es un tanque sifón de flujo continuo.

1.4.6 Depósito sifón de flujo continuo

En la figura 6 se observa el depósito sifón. Esta es una estructura construida con concreto con un volumen de 1.23 metros cúbicos e interviene en la fase posterior al recibo, aquí es donde se efectúa la primera clasificación, se utiliza llenando completamente el tanque sifón con agua y los frutos de café son separados clasificados por densidad.

Depósito
sifón de
concreto.



Figura 6 Vista de dos diferentes ángulos del depósito sifón de flujo continuo.

Como se aprecia en la figura 6, el café maduro de mejor calidad se desplaza hacia el fondo por gravedad y el café que se observa en la superficie se considera de desecho.

1.4.7 Pulperos o despulpadores

En el beneficio se cuenta con cuatro despulpadores con capacidad de despulpar 55 quintales por hora de café maduro cada uno. Como se muestra en la figura 7 el fruto maduro se somete a presión separando la pulpa (epicarpio) del grano.



Figura 7 Vista lateral de los diferentes despulpadores existentes en la planta de beneficiado.

Después de la fase de despulpado, el café ya en pergamino es conducido con agua por medio de un canal de metal con 4.48 metros de longitud hacia la criba.

1.4.8 La criba, separadora de flotes o clasificadora de pergamino:

En la figura 8 se muestra la criba utilizada en el beneficio, ésta consiste en un cilindro de 2.32 metros de largo y 0.75 metros de diámetro que gira horizontalmente, formada por una estructura hecha de anillos formando un envarillado, esta construido de hierro y cuya función es clasificar el café.



Figura 8 Vista de dos diferentes ángulos de la criba, separadora de flotes o clasificadora de pergamino.

En la figura 8 se observa como la criba o separadora de flotes esta asentada en una base construida de concreto. El café despulpado pasa a través del envarillado conduciéndose al fondo del embudo de donde sale arrastrado por agua a través de un tubo hacia las pilas de fermentación. En esta fase se clasifica el pergamino de buena, de baja calidad o grano verde, el grano de mala calidad verde se queda en la superficie, el bueno por gravedad cae al fondo trasladado mediante flujo de agua.

1.4.9 Despulpador repasador

En la figura 9 se observa el repasador, está instalado después de la criba, este despulpa el fruto medianamente maduro que no fue sometido al proceso.



Figura 9 Despulpador repasador de café uva tanto en reposo como en funcionamiento.

Como se muestra en la figura 9 el pergamino procesado por el repasador es transportado con agua hacia la criba clasificadora por un canal de metal de 10.5 metros de longitud.

1.4.10 Pilas de fermentación

Estas son siete estructuras construidas a base de concreto con 7 por ciento de pendiente y protegidas con techo de lámina, el café despulpado se deposita en cada una las pilas con el fin de eliminar el mesocarpio del fruto de forma natural y se lleva a cabo con el sistema bajo de agua. El cual consiste en dejar el café despulpado en reposo dentro del agua, durante un mínimo de seis horas para inducir el desprendimiento del mucilago, dependiendo de la disponibilidad de tiempo como se muestra en la figura 10.



Figura 10 Vista de una de las siete pilas de fermentación con que cuenta la planta de beneficiado.

Se usa este sistema de pilas de fermentación por que se logra homogeneidad en el fermento. Posteriormente se transporta por medio de flujo de agua dentro de un canal de conducción de 14.83 metros de largo y 0.22 metros de ancho hacia la desmucilagadora. En esta etapa es en donde se separan las aguas mieles del café pergamino

1.4.11 Desmucilagadora

Esta dentro de una construcción de forma cuadrada de concreto de 2 x 2 x 1.10 metros, dicha etapa se elimina el mucílago del pergamino. Es de tipo ascendente, según el encargado del beneficio en esta etapa es de mucho cuidado, porque de lo contrario pierde calidad el café. En la figura 11 se muestra la forma la desmucilagadora.



Figura 11 Desmucilagadora de café pergamino así como algunos de sus componentes.

Este equipo es limpiado inmediatamente después de haber sido utilizado para evitar contaminación al café que será beneficiado posteriormente.

1.4.12 Lavado

Esta operación quita los restos de mucílago que quedan adheridos al café pergamino, en esta fase se utilizan una corriente de agua en donde se sumerge el café pergamino y por medio del movimiento del agua se transporta en canales con pendiente hacia los patios de secado figura 12.



Figura 12 Sistema de canales y correteo para el lavado del café pergamino.

1.4.13 Caja y decantador

En la figura 13 se muestra el decantador. Aquí llega toda el agua utilizada en los anteriores procesos, esta etapa del beneficiado esta ubicada en la parte más baja de la planta, estos depósitos manejan dos niveles de agua, el agua completamente sucia y con grandes cantidades de mucílago es desechada fuera de la planta de beneficiado, el agua que no tiene cantidad de sólidos o mucílago en exceso es impulsada hacia un depósito en donde se reutiliza nuevamente en el proceso de beneficiado.



Figura 13 Caja y decantador para el tratamiento de aguas residuales producto del beneficiado.

1.4.14 Caño guatemalteco

Este consiste en un canal que transporta el café hacia una barrera construida con malla, cuyo objetivo es retener el pergamino para que el agua siga fluyendo, después de cierta cantidad de pergamino acumulado, la barrera es abierta separando el pergamino. También es utilizado para realizar una última clasificación, en donde el café en estado maduro que aun no ha sido despulpado y desmucilaginado es recolectado para ser regresado en costales hacia los pulperos figura 14.



Figura 14 Caño guatemalteco para el transporte de pergamino hacia los patios de secado.

1.4.15 Secado

El proceso de secado se lleva a cabo a campo abierto en donde es depositado el café pergamino en grandes patios con pisos cubiertos de concreto, como se puede observar en la figura 15, esto se hace con el propósito de aprovechar la temperatura que genera el sol durante el día. Esto es una ventaja en Guatemala pues de esta forma se logra disminuir costos en equipo y maquinaria. Según el administrador del beneficio, las capas de pergamino sobre los patios deben de tener más o menos 8 centímetros de grosor, pues se corre el riesgo que el pergamino fermente en pleno patio.

En la figura 15 se puede apreciar la forma de los patios de secado de café pergamino que tienen una capacidad de procesar cerca de dos mil quintales en secado, a pesar que algunas áreas no cuentan con piso de concreto, pues estos están cubiertos con nylon de polietileno

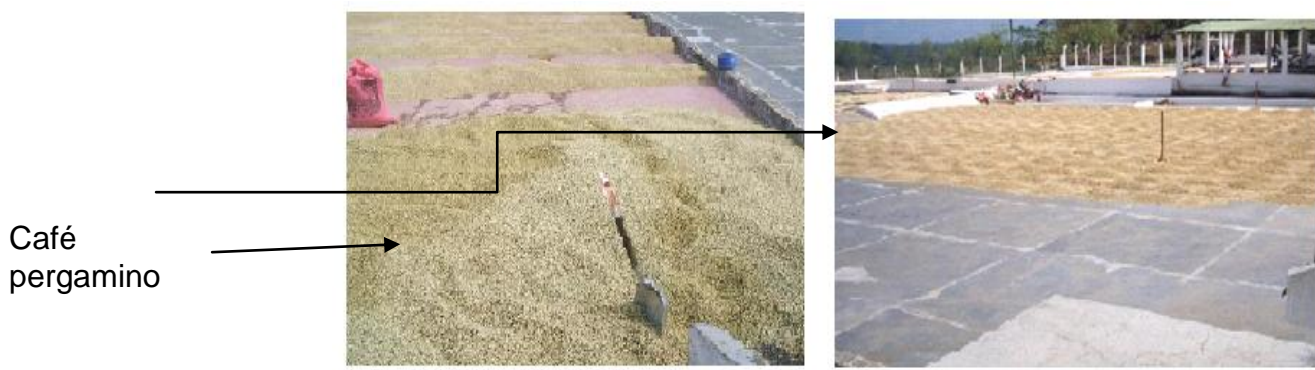


Figura 15 Vista lateral de los patios de secado de café pergamino.

Durante el proceso de secado el café pergamino es movido de 3 a 4 veces al día, para que el secado sea igual (uniforme), y se logre obtener una humedad de 12 por ciento como máximo y 10 por ciento como mínimo.

1.4.16 Almacenado

El pergamino es almacenado en sacos, (figura 16) de aproximadamente un quintal de peso y son depositados en un área libre de la lluvia y de los rayos del sol. Pues se necesita que la humedad sea de 12 por ciento como máximo y 10 por ciento como mínimo.



Figura 16 Forma de almacenar el café seco en pergamino.

1.4.17 Manejo de los subproductos

1.4.17.1 La pulpa

Como se puede observar en la figura 17, en el beneficio se trabajaron durante la temporada de cosecha del 2008 un aproximado de 52,313 quintales de café uva equivalentes a aproximadamente 1500 toneladas de pulpa al año.



Figura 17 Lugar en donde es depositada la pulpa de café producto del beneficiado.

La pulpa es depositada dentro de una fosa, (figura 17) al final de la temporada de beneficiado es extraída y vertida sobre los pastizales de un potrero localizado en las áreas aledañas al beneficio, para que sufra una descomposición de forma natural.

1.4.17.1.2 Aguas mieles

La figura 18 muestra las aguas mieles que son vertidas por medio de una tubería al terreno para fertilizar los pastizales aledaños al beneficio.



Figura 18 Depósito de aguas mieles en el beneficio.

Éstas aguas mieles con un adecuado manejo se puede obtener compost de excelente calidad para ser aplicado al cafetal y de esa forma prolongar la vida útil de la planta de café.

1.5 CONCLUSIONES

Actualmente, se cuenta con maquinaria especial para que el beneficio funcione las 24 horas con la capacidad de procesar cerca de cuatrocientos quintales de café en uva por hora, en despulpado y con una capacidad en patios de procesar cerca de dos mil quintales en secado, a pesar que algunas áreas no cuentan con piso de concreto, pues estos están cubiertos con nylon de polietileno, lo que le resta calidad al producto según la Asociación Nacional del Café (1).

Durante la temporada de cosecha del 2008 se proceso un aproximado de 52,313 quintales de café uva por lo que se obliga a manejar aproximadamente 1500 toneladas de pulpa al año.

A la pulpa se le aplica manejo rustico, pues lo único que se hace es que al final de la temporada de beneficiado se extrae y se deposita en los pastizales en donde sufre un proceso de descomposición de manera rustica, y un año después se observan los resultados pero solo en los pastos, cuando se pudiera aprovechar para mejorar el rendimiento del cultivo de café utilizándolo como abono y fuente de materia orgánica a los suelos.

1.6 BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFE (Asociación Nacional del Café, GT). 2005. Manual del beneficiado húmedo del café. Guatemala. 245 p.
2. Alfaro Tovar, JE. 1995. Producción de café estrictamente duro, manteniendo la calidad en el beneficiado húmedo sin contaminar el ambiente. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 49 p.
3. Galindo Yllescas, FH. 1998. Caracterización de los beneficios húmedos de café y estimación de sus cargas contaminantes sobre los ríos Salvalich y Tarros del municipio de San Pablo, San Marcos. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 76 p.
4. López Santizo, G. 2003. Evaluación técnica y comparativa de costos de funcionamiento de los beneficios húmedos de café, El Porvenir y Platanares, de la Cooperativa Cafetalera Integral San Juan Bautista R.L. ubicados en Moyuta. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 58 p.



CAPITULO II

INVESTIGACION

TIEMPO DE DEGRADACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ UTILIZANDO TRES DIFERENTES DEGRADADORES DE MATERIA ORGÁNICA EN LA FINCA EL ZAPOTE, CUILAPA, SANTA ROSA.

2.1 PRESENTACIÓN

Con el objetivo de determinar el tiempo que tarda en transformarse la pulpa de café en abono orgánico al aplicarse degradadores de materia orgánica, se realizó el presente trabajo para determinar cual de los degradadores de materia orgánica utilizados presentaban facilidad de manejo y beneficio económico en la elaboración de abono orgánico a partir de pulpa de café. La investigación se llevó a cabo en la finca “El Zapote”, Municipio de Cuilapa, del Departamento de Santa Rosa, durante un período de 120 días. La metodología consistió en elaborar montículos de pulpa de café con un peso de 227.27 kilogramos, 0.62 metros cúbicos en volumen cada uno, a los cuales se aplicaron los tratamientos: pulpa con bactoagar (Activador Enzimático), pulpa con fertilizante nitrogenado (Urea), pulpa con microorganismos efectivos (ME) y pulpa sin producto alguno (testigo). Se utilizó un diseño de parcelas divididas en el tiempo con cuatro repeticiones, en donde las parcelas grandes fueron los días de muestreo y las parcelas pequeñas los diferentes tratamientos. Los resultados demostraron que la transformación de la pulpa de café en abono orgánico fue más rápida con la aplicación de fertilizante nitrogenado por días, pero éste tratamiento resultó menos económico. Todos los tratamientos se comportaron en forma similar en relación al contenido de nutrientes en el producto final pero el activador enzimático (Bactoagar) resultó ser el más económico por el costo del producto y tiempo de descomposición. Los resultados demostraron que los tratamientos aplicados fueron adecuados para manejar la pulpa de café y con ello, reducir los efectos contaminantes provocados a las fuentes de agua cuando son vertidos en lugares cercanos a como ríos, lagos etc., además su utilización como abono permite reducir el alto costo que ocasiona el uso exclusivo de los fertilizantes químicos.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Marco conceptual

2.2.1.1 Materia orgánica

De acuerdo con Cardona (6) 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 cual está constituida por las raíces y partes aéreas de las plantas, éstas se convierten en almacén de nutrimentos para las plantas.

Funciones de la materia orgánica

Según la FAO en la revista Boletín de Suelos (7) afirma que las principales funciones de la materia orgánica en el suelo son:

- Permite que el agua infiltre con suavidad en el suelo, por lo tanto reduce el escurrimiento superficial y la erosión de los suelos (7).
- 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 aeración y permeabilidad (7).
- 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 parte se presenta en forma inorgánica 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 (7).
- La materia orgánica en el proceso de descomposición produce ácidos orgánicos y bióxido de carbono que ayudan a una mayor disponibilidad de minerales como el Potasio, de ésta manera las plantas en desarrollo pueden obtenerlos con facilidad (18).

- La OMS y la OPS en su Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos (18) afirma que 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 para obtener el Carbono (18).
- La materia orgánica según Cardona (6) proporciona alimento para organismos como lombrices, hormigas y roedores. Estos organismos perforan el suelo y construyen canales extensos de los cuales sirven, no solo para aflojar el suelo sino también para mejorar su drenaje y aeración, además esto permite que las raíces de las plantas obtengan Oxígeno y liberen dióxido de carbono a medida que crecen.
- La Foundation for Agronomic Research, US; Potash & Phosphate Institute en su Manual de fertilidad de los suelos (8) afirma que la materia orgánica fresca facilita la obtención del Fósforo en los suelos ácidos, al descomponerse la materia orgánica libera citratos, oxalatos y lactatos que se combinan con el Hierro y el Aluminio con más 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.
- Químicamente la materia orgánica constituye la fuente de casi todo el Nitrógeno del suelo, del 5 al 60 por ciento del Fósforo, hasta el 80 por ciento del Azufre, y de una gran parte del Boro y Molibdeno según La Foundation for Agronomic Research, US; Potash & Phosphate Institute (8).

2.2.1.2 Actividad Microbial

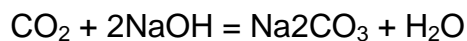
La respiración de los seres vivos ha sido medida en gran variedad de ecosistemas con el fin de evaluar la actividad microbial, el ciclaje de nutrientes, los flujos de Carbono y energía, la dinámica de las raíces y otros procesos que tienen lugar en el suelo.

La respiración microbiana

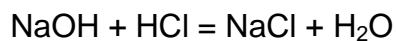
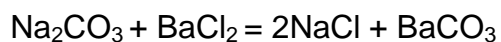
La respiración microbiana Ramírez Palacios, AA (20) la define como el consumo de Oxígeno y desprendimiento de dióxido de carbono por bacterias y hongos incluyendo el cambio de gases por microorganismos tanto anaeróbicos como aeróbicos. También Ramírez Palacios (20) considera que la respiración microbiana de la materia orgánica es un parámetro para tomar en cuenta como un índice fiable de la actividad microbiana y de la descomposición de la materia orgánica, así como indicador del estrés producido en los microorganismos de la materia orgánica cuando esta se ve sometida a algún tipo de perturbación y se emplea el método por titulación descrito por Anderson e Ingram (1993) empleando trampas de álcali.

Principio químico de la medición de la respiración microbiana (Evolución del CO₂)

Ramírez Palacios, AA (20) propone que el Dióxido de Carbono (CO₂) liberado durante la respiración aeróbica en suelos se determina mediante la captura del gas en medio alcalino hidróxido de Sodio (NaOH). Esto constituye un índice de la tasa de respiración. La reacción en la cual el CO₂ es adsorbido es la siguiente:



La cantidad de CO₂ adsorbido es equivalente a la cantidad de NaOH consumido. Para determinar esto, se precipita el carbonato (CO₃⁻²) con BaCl₂ y se titula el remanente NaOH con HCl estándar (20). Las reacciones son:



La cantidad de NaOH inicialmente presente, menos la cantidad remanente al final del período de incubación, se utiliza para calcular la cantidad de CO₂ involucrado por el suelo, que entra en la solución y reacciona con el NaOH (20).

Para el cálculo se utiliza la formula siguiente.

$$\text{mg CO}_2/\text{gr. de suelo} = [(\text{Vo}-\text{Vm}) \times (\text{HCl gastado}) [\text{HCl } 0.5 \text{ M}] (22)] / \text{Pss}$$

en donde:

mg CO₂/gr de suelo= Miligramo de CO₂ en un gramo de suelo

Vo= Volumen inicial de la muestra

Vm= Volumen final de la muestra.

HCl gastado= Acido Clorhídrico gastado en la titulación

HCl 0.5 M = HCl 0.5 molar

Pss = Peso del suelo seco.

Biomasa microbiana

Según Acosta J, Cayama J, Gómez E, Reyes N, Rojas D y García H (3) afirman que la biomasa microbiana se define como la cantidad de Carbono que proviene de los microorganismos del suelo. La biomasa microbiana es un parámetro indicativo del total de microorganismos existentes en una muestra de materia orgánica, englobando los microorganismos que se encuentran activos como los que se encuentran en estado latente. Los microorganismos del suelo utilizan los compuestos constituyentes de la materia orgánica como fuente de energía para construir sus propias estructuras por lo tanto no es de extrañar que aquellos suelos que presentan mayor contenido de materia orgánica sean los que presentan también valores mayores de Carbono de biomasa microbiana.

Para el cálculo de la biomasa microbiana Acosta J, Cayama J, Gómez E, Reyes N, Rojas D y García H (3) utilizan la ecuación:

$$\text{mg C/g de abono seco} = \frac{(V_b - V_m) (N \text{ sulfuroso}) (0.003) (50) (1000)}{\text{Peso seco del abono orgánico}}$$

Donde:

mg C/g de abono seco = miligramos de Carbono en un gramo de abono seco

V_b = volumen del sulfato ferroso empleado en el blanco

V_m = volumen del sulfato ferroso empleado en la titulación de la muestra

N = normalidad del sulfato ferroso utilizado en la titulación

0.003 = Peso equivalente de Carbono

50 = 50 gramos de pulpa descompuesta.

1000 = Constante para convertir a miligramos.

2.2.1.3 Descripción del fruto de café

Según registros de ANACAFE (1) los frutos de café se cosechan en Guatemala desde finales de agosto a marzo, dependiendo de la altitud sobre el nivel del mar de la plantación. El café de tierra cálida madura más temprano que de tierra fría. Los frutos se colectan al llegar a su madurez, lo que se advierte por el marrón intenso que adquiere el fruto, aunque existen variedades que presentan un fruto amarillo cuando este maduro.

Un corte longitudinal de un fruto de café muestra sus fracciones anatómicas: El grano propiamente dicho o endospermo, la cáscara o endocarpio, una capa mucilaginosa o mesocarpio y la pulpa o mesocarpio. 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 rodea individualmente a cada una de las dos fracciones que constituyen el grano (figura 19). La cascarilla en cambio, está cubierta por una gruesa capa de células esponjosas que forman la pulpa con consistencia viscosa del mucílago, una leve presión sobre el fruto es suficiente para expulsar fuera de las dos mitades que constituyen el grano.

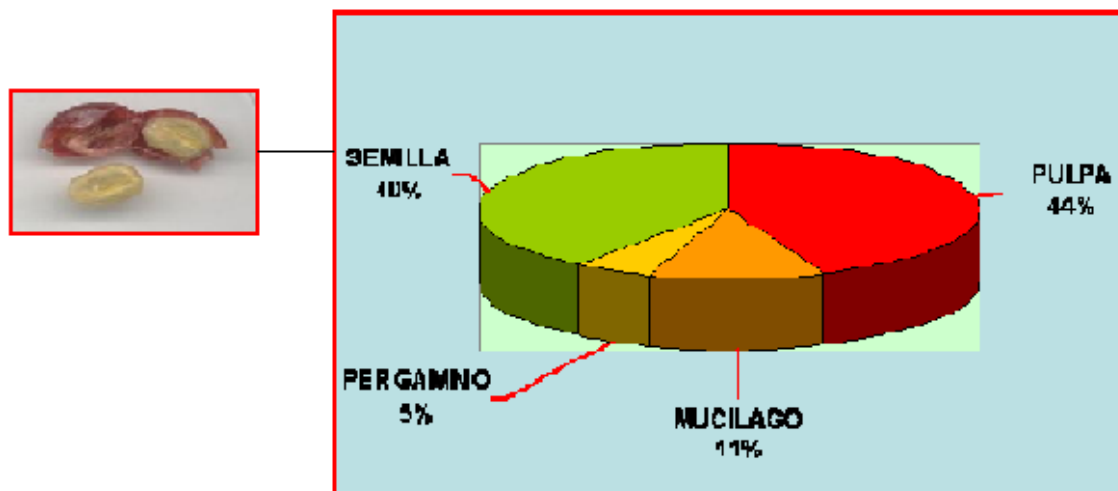


Figura 19 Fracciones porcentuales del fruto de café.

El nivel de agua de la pulpa de café es una de las mayores desventajas en su utilización, desde el punto de vista de transporte, manejo, procesamiento y uso directo en la alimentación animal.

ANACAFE (1) propone una distribución porcentual del fruto de café, figura 19 en donde se observa que un 40 por ciento pertenece a la semilla, un 44 por ciento pertenece a la pulpa, un 11 por ciento pertenece al mucílago, y un 5 por ciento al pergamino.

A. Beneficiado húmedo.

Procesamiento del fruto de café

ANACAFE (1) explica el proceso de beneficiado, en donde después de cosechados los frutos de café son llevados al beneficio y allí se sumergen, primero en un tanque sifón con agua, con el propósito de remover frutos dañados, frutos verdes u otros materiales extraños que en estas condiciones flotan, después se despulpa el fruto (esto tiene que ser dentro de las 24 horas siguientes al corte). Después del “despulpado” queda expuesto el mucílago o miel el cuál se tiene que quitar por medio de agua en piletas a lo que se le llama “fermentación”. Este proceso dependiendo del clima tarda aproximadamente 36 horas, se mide hasta que los granos dejan de pegarse entre si.

B. Beneficiado Seco

Galindo Y, FH. (9) dice que el beneficiado seco empieza después de lavar los granos de café, se procede a secarlos por medio de maquinaria (secadoras) o expuestos directamente al sol en patios. Cuando los granos llegan al 12 por ciento de humedad, están listos para almacenarse, en este punto cuentan todavía con una envoltura cartilaginosa llamada “pergamino”, que es el endocarpio; a estos cafés ya secos se les llama “café pergamino”.

C. Abono orgánico a partir de la pulpa de café

Girón T, J. (10) afirma que el abono orgánico a partir de la pulpa de café es un material resultante de la acción de la descomposición de bacterias y otros microorganismos como los hongos, protozoos y actino bacterias (actinomicetos), y a nivel macroscópico se encuentran las lombrices de tierra, hormigas, caracoles, babosas, milpiés, cochinillas, etc. que consumen y degradan la materia orgánica.

D. Microorganismos Efectivos (ME) para la descomposición de pulpa de café.

EM (Effective Microorganisms) según Higa, T. (11) es una abreviación de microorganismos eficaces. En donde EM es una mezcla de varios tipos de microorganismos descomponedores tales como bacterias del ácido láctico, bacterias fototrópicas y levaduras. Los inóculos a base de microorganismos efectivos fueron desarrollados hace más de 20 años por Dr. Teruo Higa, profesor de la Universidad de Ryukyus en Japón. Actualmente la tecnología microorganismos efectivos está difundida en más de 100 países del mundo.

Higa, T. (11) firma que esta tecnología consiste en una solución madre de microorganismos efectivos, en donde se encuentran perfectamente mezclados varios grupos de microorganismos descomponedores de materia orgánica tales como bacterias lácticas, levaduras, bacterias fotosintéticas, entre otros. Los grupos microbianos se encuentran concentrados en un medio de cultivo especialmente acondicionado, lo que permite su convivencia armónica y la alta eficacia que caracteriza los microorganismos efectivos.

El objetivo de inocular los residuos con EM es el de controlar la transformación de los desechos, reduciendo el tiempo de compostaje, la generación de olores ofensivos, insectos nocivos e incrementar la solubilización de nutrientes y generación de sustancias benéficas.

E. Fertilizante nitrogenado (urea) para la descomposición de materia orgánica.

Cardona, D. (6) define a la urea como una sustancia nitrogenada cuya función química es diamida del ácido carbónico, sustancia sólida, cristalina, y soluble, cuya fórmula es $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. La urea como fertilizante presenta la ventaja de proporcionar un alto contenido de Nitrógeno, el cuál es esencial en el metabolismo de los seres vivos. Cardona, D. (6) afirma que el 95 por ciento del peso seco de la célula contiene Carbono, Nitrógeno, Fósforo y Azufre. El Nitrógeno en los compuestos orgánicos de las células se presenta en estado reducido como grupo amino. La mayoría de los organismos fotosintéticos asimilan el Nitrógeno en estado inorgánico como nitratos que posteriormente son reducidos. Muchos organismos no fotosintéticos como bacterias y hongos también pueden asimilar el Nitrógeno como nitrato, otros microorganismos son incapaces de llevar a cabo esta reducción y utilizan como fuente de Nitrógeno formas reducidas de este. (6)

Modo de acción de la urea en la pulpa de café.

El aporte de Nitrógeno por medio de la urea permite que la concentración de Nitrógeno en el medio aumente la velocidad de crecimiento poblacional y parte del Nitrógeno pasa a formar la biomasa de los microorganismos según Cardona, D. (6). De esa forma se alcanza la velocidad de crecimiento máximo más rápido y en consecuencia se acelera el proceso de descomposición de la materia orgánica.

F. Activadores Biológicos para la descomposición de pulpa de café.

El bactoagar es un producto biológico de fabricación estadounidense enfocado en diversas áreas relacionadas con el saneamiento ambiental, el 80% de este producto esta compuesto por activadores biológicos y el 20% extractos minerales, fue diseñado para acelerar la biodegradación de los desechos orgánicos. Los activadores biológicos según Leiva, J. (16) incrementan la actividad microbial, con la finalidad de estimular el crecimiento de cierto tipo de microorganismos que aceleran el proceso de degradación, liberando enzimas que rompen el efecto que producen los materiales en estado grasoso y otros complejos de desecho que producen malos olores, con el objetivo de aprovechar la presencia de ciertos microorganismos que son más eficiente que otros en la biodegradación.

G. Descripción general del proceso de compostaje de la materia orgánica

Según la OPS y la OMS (18), este proceso se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10 a 40°C) con etapas termogénicas (40 a 75°C), con la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente. Las elevadas temperaturas alcanzadas, son consecuencia de la relación superficie y el volumen de las pilas o montículos y de la actividad metabólica de los diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso.

a. Etapa de latencia

La etapa inicial, considerada desde el ingreso del material fresco al proceso hasta que se observan incrementos de temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial. Según la OPS y la OMS (18) si el material tiene ya un tiempo de acopio puede pasar inadvertida pues la duración de esta etapa es muy variable, dependiendo de numerosos factores el balance Carbono-

Nitrógeno, el pH y la concentración parcial de Oxígeno y fundamentalmente la carga de biomasa microbiana que contiene. Con temperatura ambiente entre los 10 y 12 °C, en pilas adecuadamente conformadas, esta etapa puede durar de 24 a 72 horas (18).

b. Etapa mesotérmica

En esta etapa se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila, en concomitancia con oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica). La OPS y la OMS (18) dice que mientras se mantienen las condiciones de aerobiosis actúan euactinomicetos (aerobios estrictos) de importancia por su capacidad de producir antibióticos. La participación de hongos se da al inicio de ésta etapa y al final del proceso, en áreas muy específicas de los montículos o montones. La etapa mesotérmica es particularmente sensible al binomio óptimo humedad-aireación, la falta de disipación del calor produce un incremento de temperatura aún mayor y favorece el desarrollo de la micro flora termófila que se encuentra en estado latente en los residuo.

c. Etapa termogénica 1

Conforme se eleva la temperatura de 40 a 75 °C, la microflora mesófila es sustituida por la termófila principalmente por la acción de bacilos y actinomicetos termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo sintróficas. En la etapa termogénica 1 según la OPS y la OMS (18), el CO₂ se produce en volúmenes importantes que difunden desde el núcleo a la superficie. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos. La concentración de CO₂ alcanzada resulta letal para las larvas. Conforme el ambiente se hace totalmente anaerobio, los grupos termófilos intervinientes, entran en fase de muerte. Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes. Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables.

d. Etapa mesotérmica 2

La OPS y la OMS en su Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos (18) dice que con el agotamiento de los nutrientes y la desaparición de los termófilos, comienza el descenso de la temperatura. Cuando la misma se sitúa aproximadamente

a temperaturas iguales o inferiores a los 40°C, se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizan como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina. Esta etapa se conoce generalmente como etapa de maduración. Su duración depende de numerosos factores. La temperatura descenderá paulatinamente hasta presentarse en valores muy cercanos a la temperatura ambiente. En estos momentos se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso.

Las etapas mencionadas, no se cumplen en la totalidad de la masa en compostaje, es necesario, remover las pilas de material en proceso, de tal forma que el material que se presenta en la superficie, pase a formar parte del núcleo. Estas remociones del material se realizan en ocasiones puntuales del proceso, y permiten además airear el material, lo que provoca que la secuencia de etapas descrita se presente más de una vez.

2.2.1.4 Los Factores más importantes que influyen en la descomposición de la pulpa

A. Humedad

Según la OPS y la OMS, una excesiva humedad puede crear algunos problemas. Una hilera de abono orgánico efectiva debe tener una humedad comprendida entre el 40 y 60 por ciento. Ese grado de humedad es suficiente para que exista vida en la compostera y las bacterias puedan realizar su función.

B. Temperatura

De acuerdo a la temperatura ideal en que se desarrollan las bacterias y otros microorganismos se clasifican en grupos. La OPS y la OMS (18) dice que las bacterias mesofílicas, requieren temperaturas moderadas entre 20 y 40°C, conforme descomponen la materia orgánica generan calor y favorecen las condiciones de intenso calor, en donde se generan condiciones para el grupo de los termofílicos. La temperatura ideal para los termofílicos está alrededor de los 60 °C así la mayoría de patógenos y semillas indeseadas mueren, estos termofílicos son los agentes más rápidos en descomponer la materia orgánica.

C. Relación Carbono y Nitrógeno (C/N)

La relación Carbono y Nitrógeno, expresa las unidades de Carbono por unidades de Nitrógeno que contiene un material. Según la OPS y la OMS (18) una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción. Una relación Carbono y Nitrógeno óptima de entrada, es decir de material crudo o fresco a compostar es de 25 unidades de Carbono por una unidad de Nitrógeno.

Una relación Carbono y Nitrógeno inicial de 20 a 30 se considera como adecuada para iniciar un proceso de compostaje según la OPS y la OMS (18). Si la relación Carbono y Nitrógeno está en el orden de 10 nos indica que el material tiene relativamente más Nitrógeno y su descomposición será muy rápida. Si la relación es de 40, manifiesta que el material tiene relativamente más Carbono y su descomposición será más lenta.

D. pH

Influye en el proceso debido a su acción sobre los microorganismos. En general los hongos toleran un margen de pH entre 5 y 8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH= 6 y 7) recomienda la OPS y la OMS (18).

2.2.1.5 Investigaciones realizadas con degradadores de materia orgánica

Leiva (16) realizó una investigación con un degradador enzimático cuyo objetivo fue evaluar tres concentraciones de este degradador enzimático de rastrojos en la aceleración de la descomposición de la pulpa de café. Las concentraciones evaluadas fueron 50, 100 y 150 centímetros cúbicos de producto por galón de agua por tonelada de pulpa. Los promontorios de pulpa (unidades experimentales) fueron formadas con áreas de un metro cuadrado y una altura de 1.30 metros, teniendo en total de 32 promontorios de pulpa. Las variables evaluadas fueron contenidos de minerales, dureza de la pulpa, pH, porcentaje de humedad, volumen, altura de promontorios, y temperatura. Al final de la investigación obtuvo una reducción de 36.1 por ciento en el volumen con la dosis de 150 centímetros cúbicos de degradador, además mejoró la disponibilidad del contenido de macro y micro elementos minerales (16).

Ixcot Gonzáles (13) elaboró una investigación en donde evaluó la velocidad de transformación de la pulpa de café utilizando lombriz coqueta roja y un degradador enzimático de rastros. Los resultados del contenido de nutrientes no mostraron diferencia significativa entre los dos tratamientos, pero si en costos siendo más conveniente la utilización del degradador enzimático de rastros pues en tres meses se observó transformación completa de pulpa en abono orgánico (13).

ANACAFE (2) condujo un experimento, evaluando diferentes métodos para descomponer la pulpa de café. Cuatro diferentes productos microbiológicos incluyendo microorganismos efectivos fueron evaluados. Microorganismos efectivos activado fue asperjado a la pulpa de café haciendo uso de una bomba de mochila de 16 litros, mezclando 2 litros de microorganismo efectivo activado con 200 mililitros de melaza y 13.8 litros de agua. Después de la inoculación, la pulpa de café fue cubierta con un plástico y se volteo dos veces por semana (2).

Los resultados mostraron que el producto microorganismos efectivos transformó la pulpa de café en tierra en un mes y una semana. Además de la velocidad, el tratamiento microorganismos efectivos mostró más biodiversidad, observándose organismos como arañas, hongos, etc. Los otros productos descompusieron la pulpa de café después de dos meses. (2)

2.3 MARCO REFERENCIAL

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la finca “El Zapote” ubicada en el caserío San Juan de Arana del municipio de Cuilapa, Santa Rosa, a una distancia de 57 km. de la ciudad de Guatemala, entrando por el municipio de Barberena. La finca se ubica a una altura de 1170 (msnm), según De la Cruz, esta región se encuentra en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical en donde, la topografía es variada desde plana hasta accidentada, los cultivos predominantes son banano, maíz, frijol y café (12).

Durante el período experimental no se registraron precipitaciones pluviales. Las condiciones de temperatura y humedad relativa predominantes durante el tiempo de experimentación se muestran en la Figura 20.

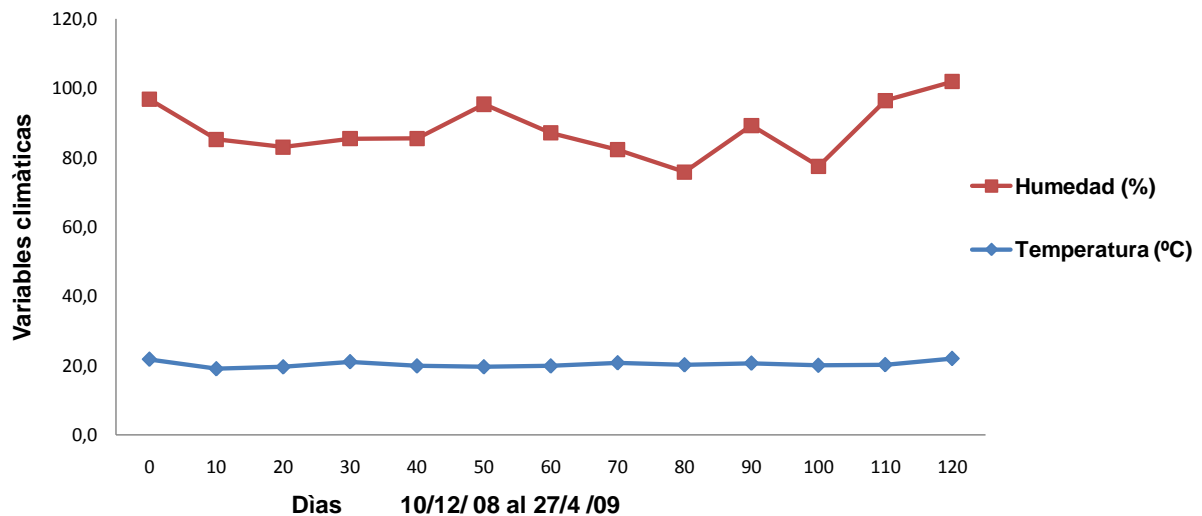


Figura 20 Climadiagrama desarrollado con datos de la estación climática de la finca Las Flores Barberena año 2008.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo general

Estudiar la transformación de la pulpa de café en abono orgánico al aplicar diferentes productos activadores de la descomposición orgánica (microorganismos efectivos, fertilizante nitrogenado y activador enzimático) en la finca el Zapote, Cuilapa, Santa Rosa.

2.4.2 Objetivo específicos

Determinar el efecto de los productos aplicados sobre la temperatura y humedad durante la transformación de la pulpa de café a abono orgánico.

Determinar las características físico-químicas del abono orgánico producido para fines de nutrición vegetal, con los tratamientos aplicados.

Determinar cual de los activadores de descomposición orgánica utilizados reúne las mejores condiciones de manejo y económicas para la elaboración de abono orgánico a partir de pulpa de café.

2.5 HIPÓTESIS

El activador enzimático (bactoagar) requiere menos tiempo para transformar la pulpa de café en abono, en comparación a la utilización de urea y microorganismos efectivos.

El uso de microorganismos efectivos produce un abono con mejores características físico-químicas para la nutrición vegetal en comparación a la aplicación de urea y activador enzimático (bactoagar).

2.6 METODOLOGÍA

2.6.1 Descripción del experimento

2.6.1.1 Tratamientos a evaluar.

El sustrato utilizado fue pulpa de café sin haber sufrido ningún proceso de degradación. Los tratamientos a la pulpa consistieron en aplicar tres diferentes productos para degradar materia orgánica; activador biológico (bactoagar), fertilizante nitrogenado (Urea), microorganismos efectivos. Al mismo tiempo, se incluyó un tratamiento testigo (sin aplicación). El experimento se monitoreó durante ciento veinte días de descomposición.

2.6.1.2 Unidad experimental

Las unidades experimentales consistieron en montículos de pulpa de café con un peso de 227.27 kilogramos, 0.62 m³ en volumen. A las unidades experimentales se agregaron los productos a evaluar, según los tratamientos:

1. Bactoagar (activador biológico)
2. Urea (urea presentación granulada)
3. Microorganismos efectivos
4. Sin aplicación de producto (testigo)

2.6.1.3 Cantidad a utilizar de cada producto

A. Bactoagar

Se evaluó el activador enzimático bactoagar utilizando la concentración recomendada por la casa comercial siendo ésta de 300 centímetros cúbicos por 15 litros de agua (cuatro galones) por tonelada de pulpa. A cada unidad experimental se aplicaron 75 mililitros de este activador biológico.

B. Urea

Esta se aplicó en presentación granulada a razón del 1 por ciento en base fresca o sea que a los 227 kilogramos de pulpa de café se mezcló con 2.27 kilogramos de urea al 46 por ciento.

C. Microorganismos efectivos (EM)

Se evaluaron en base a las recomendaciones de la casa comercial. Se aplicaron a cada unidad experimental 4.4 litros de microorganismos efectivos activado al 5 por ciento asperjado con bomba de mochila.

Activación de los microorganismos efectivos (EM)

El proceso requirió de varias etapas. En el EM1, los microorganismos se encuentran en latencia y antes de ser inoculados a un sustrato para su fermentación, deben ser estimulados a salir de la latencia, a esta acción se le denomina activación y al producto obtenido EM activado o EMA. El proceso de activación consiste en proveer a los EM, una fuente energética de fácil aprovechamiento como la melaza (11).

La activación del EM, se mezcló una parte de EM1, una parte de melaza y 18 partes de agua limpia sin clorar. El procedimiento de activación es el siguiente: Se hirvió la melaza con 7 partes de agua en un recipiente limpio. A la mezcla de melaza y agua hervida, se le agregó las otras 11 partes de agua, a manera de obtener una mezcla con una temperatura entre 35 y 40 °C, finalmente se agregó el EM1 y se agitó la mezcla, hasta alcanzar la homogeneidad (11).

La solución de microorganismos efectivos es un líquido café amarillento que presenta un sabor agridulce. El pH de la solución de microorganismos efectivos debe estar por debajo de 3,5. Si presenta un mal olor o si el pH es mayor de 4, el producto se encuentra deteriorado y ya no debe utilizarse, (18). A cada unida experimental se aplicaron 220 mililitros de solución activada de microorganismos efectivos.

2.6.1.4 Manejo del experimento en el campo

Se pesaron los 227 kilogramos de pulpa de café (500 libras) con balanza portátil. Posteriormente se colocaron en la superficie plana al aire las dieciséis unidades experimentales distribuidas aleatoriamente en los bloques, en cuatro repeticiones para cada tratamiento. En los tratamientos y el testigo se procedió a hacer volteos cada 22 días para darle aireación. Al momento de realizar el volteo se tomó una muestra equivalente a una libra del material descompuesto, inmediatamente se introdujo a una bolsa plástica con su respectiva identificación y se trasladó al laboratorio de suelos plantas y aguas de ANACAFE, para analizar las concentraciones de nutrientes del material

mediante la metodología para elementos mayores y menores a través de técnicas analíticas de espectrofotometría y de absorción atómica. Para materia orgánica se utilizó el método de combustión húmeda (Walkey y Black) y para los macro y microelementos se utilizaron los métodos empleados en el laboratorio de análisis de suelos de la Asociación Nacional del Café.

2.6.1.5 Variables

Las variables analizadas fueron las siguientes,

Elementos mayores

- Nitrógeno en porcentaje.
- Fósforo en porcentaje.
- Potasio en porcentaje.

Elementos secundarios

- Calcio en porcentaje.
- Magnesio en porcentaje.

Elementos menores

- Cobre en partes por millón (ppm)
- Hierro en partes por millón (ppm)
- Manganeso en partes por millón (ppm)
- Zinc en partes por millón (ppm)

2.6.1.6 Modelo Estadístico

El experimento se evaluó con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. La distribución de los tratamientos se realizó en un diseño de arreglo de parcelas divididas, el modelo estadístico para dicho diseño es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + (\alpha\beta)_{ij} + P_k + (\alpha P)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ij} = Variable respuesta ijk -ésima unidad experimental

μ = Media general

β_j = Efecto del j -ésimo bloque

α_i = Efecto del i -ésimo nivel del tratamiento

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i -ésimo nivel del tratamiento con el j -ésimo bloque, que es utilizado como residuo de parcelas grandes y es representado por error (a)

P_k = Efecto del K -ésimo nivel del factor B.

$(\alpha P)_{ik}$ = Efecto debido a la interacción del i -ésimo nivel del factor A con el k -ésimo nivel del factor B

ϵ_{ijk} = error experimental a Y_{ijk} , es utilizado como residuo a nivel de parcela pequeña y el definido como: Error _(a)

En el cuadro 1 se observa la identificación de los tratamientos así como su respectivo número de tratamiento.

Cuadro 1 Nombre e identificación de los tratamientos.

Tratamiento	Descripción
1	Pulpa con Bactoagar (activador biológico)
2	Pulpa con Urea
3	Pulpa con Microorganismos efectivos
4	Pulpa sin producto alguno (testigo)
	Tratamientos: Factor A: Las mediciones en el tiempo (25, 49, 78, 105 y 120 días) Factor B: Tratamientos (bactoagar, Microorganismos efectivos y Urea),

2.6.1.7 Estado de descomposición de la pulpa de café

Se tomaron muestras de la pulpa tratada con los diferentes productos así como del testigo cada 22 días. Cada muestra se colocó en una mesa para secarla durante 24 horas y por medio del tacto se determinó el grado de descomposición de la pulpa. Luego, se comparó con la escala de degradación de pulpa, desarrollada por Leiva (1988), como se observa en el Cuadro 2, tomando como base el color, olor, humedad y consistencia de la pulpa.

Cuadro 2 Escala de degradación de la pulpa de café transformada en abono.

Condición	Descripción
1. Semi- fresca	Pulpa con agregados (terrones) verdes o claros con humedad entre 85 y 90 % fuerte olor a fermentación, compacta.
2. Ligeramente fresca	Presenta aspecto tosco, en terrones, color oscuro, humedad entre 75 y 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 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 ningún agregado, 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, J. 1988. Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 46 p.

2.6.1.8 Tiempo de degradación de la pulpa.

El tiempo de degradación se registró a partir del establecimiento en campo para cada tratamiento con sus respectivas repeticiones y se analizó hasta los ciento veinte días, periodo que tardó el experimento, tomando como base para el análisis la escala de degradación descrita en la cuadro 2 y el tiempo de descomposición.

2.6.1.9 Recopilación de la información

Se determinó el contenido de nutrientes al inicio y al final de la investigación en cada repetición

Para determinar los factores climáticos a que estuvieron sometidas las diferentes unidades experimentales, se monitoreó la humedad relativa, la precipitación pluvial, temperaturas máximas y mínimas.

2.6.1.10 Análisis de datos

Se realizó análisis de varianza a las concentraciones obtenidas de elementos mayores, elementos menores y a las características biológicas.

Análisis de costos

Toda la adquisición de los diferentes productos así como los gastos de implementación y mantenimiento del ensayo se registraron, para posteriormente calcular los costos en base a lo gastado considerando el tiempo de transformación de pulpa a abono, por parte de los diferentes tratamientos en el periodo de investigación.

2.7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.7.1 Temperaturas durante la descomposición

En la figura 21 se presenta el comportamiento de la temperatura y la humedad monitoreadas dentro de los montículos de pulpa en los cuatro tratamientos, durante el tiempo que tardó el experimento.

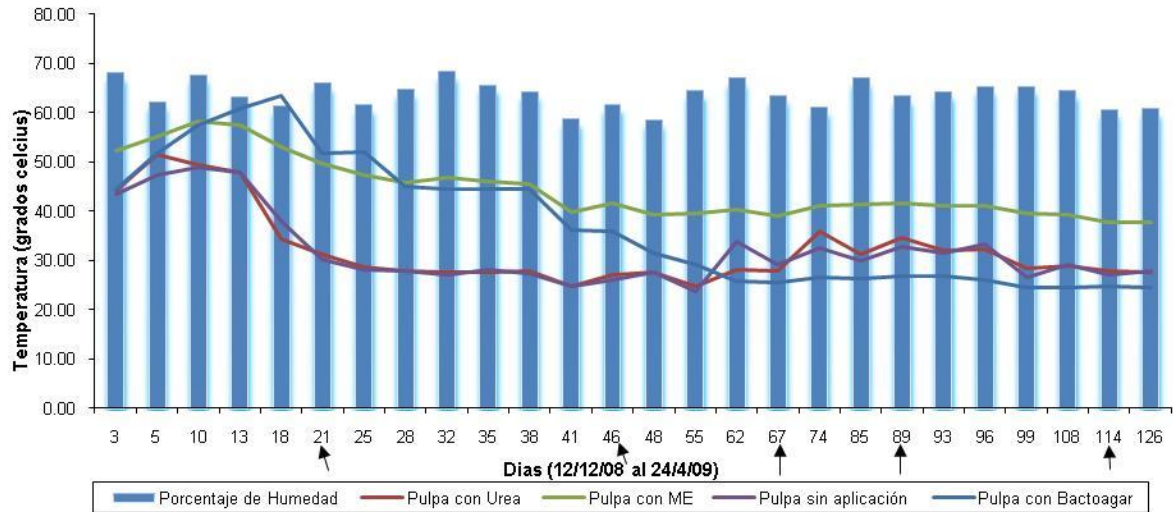


Figura 21 Comportamiento de la temperatura dentro del núcleo de cada montículo de pulpa en el periodo experimental. Las flechas indican el día de aplicación de agua.

En términos generales las temperaturas variaron con los tratamientos. El bactoagar produjo la mayor elevación de temperatura (63.5 grados Centígrados) observándose en el día 18, correspondiendo a la etapa en que actúan los organismos termófilos, donde las semillas y patógenos indeseables mueren según la OPS y OMS (16), lo que indica el inicio de la descomposición de la pulpa. La aplicación de agua y volteo efectuada a los 21 días, favoreció el descenso de la temperatura, correspondiendo estos cambios al inicio de la descomposición aeróbica, caracterizada por la alternancia de etapas mesodérmica 1 y termofónica con la participación de microorganismos mesofílicos y termofílicos, respectivamente. Posteriormente, la temperatura siguió descendiendo hasta estabilizarse en el día 28, en 44.5 grados Centígrados siguiendo esa tendencia hasta el día 38. Cuando las temperaturas se sitúan alrededor de éste valor se conoce como la etapa mesodérmica 2, en donde los organismos mesófilos sustituyen por completo a los termófilos, y son los que utilizan como alimento los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina que en la pulpa de café es muy abundante. Aquí

es donde se inicia la etapa de maduración del abono. En la misma figura 21 se observa que la temperatura continuó descendiendo hasta el día 62 cuando se estabilizó en 27 grados centígrados hasta los 126 días que tardó la prueba. Esta estabilización indicó en términos de temperatura según Lee Pazos (15) la finalización de descomposición de la pulpa.

Un comportamiento similar al de pulpa con bactoagar, fue el de pulpa con microorganismos efectivos, en donde se observó que la máxima temperatura fue de 54 grados Centígrados alcanzada a los 13 días después de haber instalado el experimento. Posteriormente presentó tendencia descendente hasta el día 28 con temperatura de 36.5 grados centígrados. Según resultados presentados en la figura 21 se puede deducir que este tratamiento no llegó a desarrollar en abundancia organismos termófilos pues según la OPS Y OMS (18) la temperatura ideal para el desarrollo de estos es de 60 grados centígrados. Por esta razón, su descomposición ocurrió más lenta que con el bactoagar, pues los organismos que sobreviven a dicha temperatura son los más rápidos para descomponer la materia orgánica según a OPS Y OMS (16). La temperatura se estabilizó el día 55 con 28 grados Centígrados, posteriormente presentó un ligero ascenso en el día 74 llegando a 31 grados Centígrados, estabilizándose en 27 grados Centígrados. En los siguientes días presentó un comportamiento irregular hasta los 120 días que tardó la prueba, afectando la formación del abono orgánico.

El tratamiento pulpa con urea presentó una tendencia similar al tratamiento testigo, con la diferencia que en el primero el ascenso de temperatura a 51 grados centígrados se presentó a los cinco días de iniciada la prueba, mientras que en el testigo, la máxima temperatura se alcanzó al día 9. Este resultado se debió a la disminución de la relación Carbono y Nitrógeno por la adición de urea. Se observó una tendencia a disminución de la temperatura el día 13 de 48 grados centígrados, hasta disminuir con el volteo y la aplicación de agua hasta el día 25 con temperaturas de 29 grados Centígrados, presentando una estabilización al llegar el día 38. A los 41 días empezó un nuevo ascenso de temperatura llegando a los 36 grados centígrados, para posteriormente estabilizarse en 28 grados el resto del tiempo. Estos incrementos de temperatura se deben a la actividad de volteos y a la aplicación de agua a los cuatro tratamientos ya que al brindarle aireación y humedad se activa la etapa térmica en donde actuaron los microorganismos termófilos, acelerando nuevamente la actividad microbiológica.

En el testigo la temperatura máxima fue de 49 grados centígrados, registrada a los 9 días de haber iniciado la prueba, experimentando luego un descenso, hasta llegar a los 24 grados centígrados, temperatura que se alcanzó a los 41 días. En las lecturas posteriores se observó nuevamente un ascenso hasta los 36 grados centígrados a los 74 días. Posteriormente se observó un comportamiento irregular, estabilizándose a partir de los 99 días con una temperatura de 28 grados centígrados. Con estas temperaturas se puede deducir que los microorganismos descomponedores trabajaron a un ritmo pausado y muy lento, si lo comparamos con los demás tratamientos, por lo que los 120 días no fueron suficientes para completar el proceso de descomposición.

2.7.2 Pulpa transformada

En todos los análisis estadísticos realizados se observa que las concentraciones de elementos en los días de descomposición no mostraron diferencias significativas, pero para la aplicación de la materia orgánica al suelo ésta debe de llenar las características descritas por Leiva (13).

2.7.2.1 Características físicas de la pulpa transformada.

A. Estado de descomposición de la pulpa tratada con los diferentes tratamiento.

Según el Cuadro 2 en donde se muestra la escala elaborada por Leiva (16), la pulpa de café está descompuesta cuando se encuentra desmenuzada, color oscuro intenso, no se observan agregados y si éstos se observan se deshacen al tacto. La pulpa tratada con los diferentes productos se analizó en su estado de descomposición periódicamente cada ocho días.

a. Pulpa tratada con bactoagar

La pulpa tratada con bactoagar cuando fue comparada con el testigo, se caracterizó por presentar agregados verdes, con fuerte olor a fermentación, durante los primeros 25 días. Posteriormente se determinó que la pulpa presentaba características de condición ligeramente fresca con un aspecto tosco, en terrones, color oscuro y olor a fermentación, ésta característica se uniformizó en todas las repeticiones a los 46 días de instalado el ensayo coincidiendo con la condición 2, del cuadro 2. Con base en la escala de Leiva (16) se alcanzó el estado de medianamente descompuesta a los 74 días hasta llegar a la condición de descompuesta a los 114 días (condición 5), con un color oscuro intenso, no se observaron agregados y si estos se encontraron se desmenuzaron al tacto, se observó apareamiento de hongos de tipo basidiomicetos desde los 25 días. La reducción del

volumen de pulpa en cada promontorio fue evidente debido a la acción de las enzimas sobre las fibras de la pulpa, lo que evidencia su efecto específico en la liberación de energía para acelerar los procesos de crecimiento bacteriano sobre la pulpa de café.

b. Pulpa tratada con Urea

En este tratamiento se observó la misma característica del tratamiento con bactoagar en los primeros 25 días. Posteriormente a los 32 días presentó un color oscuro, olor a fermentación fuerte y compacta, pulpa ligeramente fresca (condición 2). Esta característica se mantuvo hasta los 46 días en todas las repeticiones, y al igual que el testigo al analizar la pulpa no presentaba mayores cambios. Enseguida, a los 55 días la pulpa comenzó a presentar cambios en su apariencia física color oscuro intenso, fácil de manipular, alta presencia de organismos vivos como hormigas, grillos, escarabajos, hongos. En los muestreos posteriores a los 74 días se observó que la pulpa alcanzó, según la escala utilizada categoría cuatro lo que significa que se consideró pulpa medianamente descompuesta. Se siguió monitoreando hasta que se observó una pulpa descompuesta después de los 85 días de iniciado el experimento, característica que no cambio hasta finalizado el periodo de experimentación. Según The Potash & Phosphate Institute (8), “a medida que la materia orgánica es descompuesta, los organismos utilizan parte de la energía liberada y parte de los nutrientes esenciales que se encuentran en la materia orgánica. Este proceso se llama Inmovilización y es el proceso opuesto a la mineralización”. Se produce este fenómeno cuando se incorporan al suelo materias orgánicas frescas tales como pulpa de café, lo que significa que a medida que los microorganismos se encargan en forma vigorosa de descomponer esta fuente de energía fresca (pulpa) necesitan Nitrógeno para construir la proteína de sus tejidos. En este caso el fertilizante urea proporcionó este elemento en cantidad suficiente para que los microorganismo llevaran a cabo la tarea de descomposición de la pulpa y de esa forma llegara a una condición de descompuesta.

c. Pulpa tratada con microorganismos efectivos

Para el caso de la pulpa tratada con microorganismos efectivos y para la pulpa testigo, los monitoreos realizados no dieron resultados significativos en cuanto a sus características físicas y su estado de descomposición. A los 85 días la pulpa tratada con microorganismos efectivos presentó una característica de ligeramente descompuesta, mientras que la pulpa testigo presentó ligeros cambios en su aspecto físico. La pulpa tratada con microorganismos durante los 126 días

presentó características para aplicar al suelo, pero no para ser considerado como abono, llegó a la categoría de medianamente descompuesta, y con alta presencia de vida microbiana, así como de vida insectil como hormigas, escarabajos descomponedores de materia orgánica entre otros. Por su parte la pulpa testigo en los siguientes muestreos no llegó a descomponerse, presentó una apariencia de medianamente descompuesta.

2.7.2.2 Características químicas

Según los resultados de análisis de varianza que se presentan a continuación, no hay diferencias significativas entre tratamientos y concentración nutrimental, pero por motivos de la actividad biológica la pulpa no se debe de aplicar fresca al cultivo de café. En el cuadro 3 se presentan los resultados del análisis químico al inicio de la investigación y al final de la misma, en los seis muestreos para cada uno de los tratamientos evaluados.

Según los resultados observados en el cuadro 3 se aprecia que existe un incremento en la concentración de elementos totales presentes en la pulpa al inicio del experimento en comparación a la concentración de elementos totales al final del mismo.

Cuadro 3 Concentración de elementos al inicio y al final del experimento.

Características	Inicio				Final			
	Tratamientos				Tratamientos			
	Bactoagar	Urea	ME	Testigo	Bactoagar	Urea	M.E	Testigo
pH	4,2	4,45	4,4	4,275	8,75	8,55	8,925	8,75
C/N	26,66	27,41	26,86	26,28	13,32	12,68	13,97	14,27
M.O %	91.25	91.5	91.5	91.25	47.25	48.5	48.25	49.25
CO%	50,70	50,83	50,84	50,70	26,25	26,95	26,80	27,36
Nutrientes								
CaO%	0,73	0,76	0,74	0,77	0,65	0,67	0,63	0,62
K₂O %	3,78	4,05	3,89	4,86	1,99	1,57	2,08	1,76
MgO%	0,25	0,24	0,24	0,26	0,23	0,24	0,23	0,23
N%	1,91	1,87	1,86	1,93	2,03	2,14	1,96	1,96
P₂O₅%	0,31	0,32	0,30	0,33	0,34	0,34	0,35	0,32
Cobre ppm	16,45	16,23	16,08	15,98	69,03	21,03	21,90	22,00
Hierro ppm	958,73	395,40	610,63	622,30	8160,00	9232,00	9264,00	10416,00
Manganeso, ppm	36,53	21,03	29,53	29,10	531,78	593,33	516,55	565,68
Zinc ppm	14,70	13,70	10,58	12,53	33,93	36,15	28,78	32,50

*M.E (Microorganismos Efectivos)

El cuadro tres coincide con los resultados publicados por Ixcot (11) en donde encontró que la concentración de elementos totales al inicio del experimento y la concentración de elementos totales al final del mismo se produjo un descenso considerable.

A. Micronutrientes

a) Concentración del Nitrógeno en la pulpa en los diferentes tratamientos

En el cuadro 4 se ven resultados del análisis de varianza del Nitrógeno total al final del experimento, en el cual no se encontraron diferencias significativas entre los productos evaluados, por lo que la aplicación de producto alguno a la pulpa de café para su descomposición no influye en la concentración de este elemento en el abono resultante al final de 126 días.

Cuadro 4 Análisis de la varianza del Nitrógeno.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	64.35	35	1.84	11.86	<0.0001
Tratamiento	0.91	3	0.3	2.82	0.0998
Bloque	0.21	3	0.07	0.46	0.7117
Error I	0.97	9	0.11	0.7	0.7091
Días	59.58	5	11.92	76.87	<0.0001
Tratamiento*Días	2.67	15	0.18	1.15	0.3369
Error II	9.3	60	0.16		
Total	73.65	95			

En el cuadro 4 se observa el análisis de varianza para el tiempo de muestreo en donde se encontraron diferencias significativas entre días de muestreo, observándose en el cuadro 5 la comparación de medias (Tukey) de días de muestreo, en donde a los 78 días se obtiene una concentración de 2.73 % de Nitrógeno y la descomposición de la pulpa se encuentra en las condiciones físicas y biológicas para aplicar al cafetal.

Cuadro 5 Prueba Tukey para la concentración de Nitrogeno.

Días	Medias	n				
49	4.08	16	A			
25	3.60	16		B		
78	2.73	16			C	
105	2.67	16			C	
126	2.02	16				D
0	1.89	16				D

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

En la figura 22 se presenta el comportamiento de la concentración de Nitrógeno a lo largo de la descomposición de la pulpa con los productos y días de muestreo.

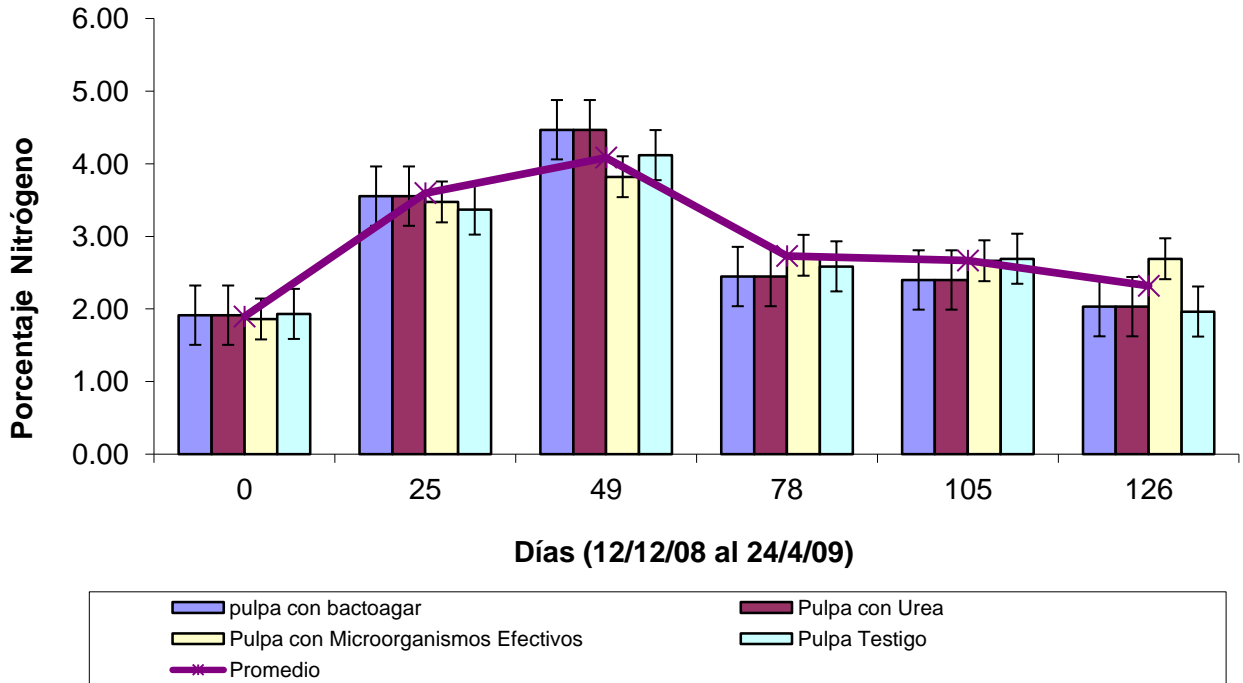


Figura 22 Comportamiento del Nitrógeno en el tratamiento así como la concentración promedio.

En la figura 22 se observa que al inicio el Nitrógeno contenido en la pulpa fue de 2 por ciento. El comportamiento de este elemento hasta los 49 días fue ascendente, la alta concentración de Nitrógeno se debe a las condiciones del material fresco, éste empieza a liberar el Nitrógeno almacenado en sus tejidos que posteriormente será atacado por los microorganismos descomponedores (17). A partir del cuarto muestreo, a los 78 días la concentración de Nitrógeno en la pulpa comenzó a decrecer, causado dicho descenso por la acción de los microorganismos. Pudiéndose cosechar la pulpa tratada con urea a los 85 días en donde según la comparación con la escala de Leiva (16) la pulpa esta descompuesta. El Nitrógeno es consumido por microorganismos descomponedores y liberado en forma de amoniaco, el Nitrógeno restante pasa a formar parte de la biomasa de los microorganismos (17). Al final del experimento se determinó que el Nitrógeno varió en 2 por ciento. A la pulpa que se aplico microorganismos efectivos acumuló más Nitrógeno a los 126 días de descomposición de la pulpa, con un valor cercano al 2.7 por ciento de Nitrógeno, según datos del análisis químico realizado en el último muestreo.

b) Concentración del Fósforo en la pulpa en los tratamientos

En el cuadro 6 se observa el análisis de varianza para el contenido de Fósforo. En este cuadro 6 se observa que no existen diferencias significativas entre productos evaluados, por lo que se determina que la aplicación de cualquiera de los tres productos para la descomposición de pulpa, no influye en la concentración de Fósforo en el producto final. Sin embargo en el mismo cuadro 6 se encuentra el análisis de varianza para el tiempo, en donde se encontraron diferencias significativas entre días de muestreo, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias Tukey, resultados en el cuadro 7.

Cuadro 6 Análisis de varianza para la concentración de Fósforo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.36	35	0.01	2.78	0.0002
Tratamiento	3.3	3	1.3	0.17	0.9147
Bloque	0.01	3	2.3	0.73	0.5402
Error I	0.05	9	0.01	1.59	0.1374
Días	0.27	5	0.05	14.53	<0.0001
Tratamiento*Días	0.03	15	1.3	0.50	0.9339
Error II	0.22	60	3.3		
Total	0.59	95			

En el cuadro 7 se observa que la fecha en que se obtiene la mayor concentración de Fósforo y que coincide con una adecuada descomposición es a los 78 días de haber iniciado el experimento en donde la pulpa tratada con urea se encuentra con características según la escala de Leiva como pulpa descompuesta.

Cuadro 7 Prueba Tukey para la concentración de Fosforo.

Días	Medias	n	A	B	C	D
0.00	0.31 %	16	A			
126.00	0.34 %	16	A	B		
49.00	0.35 %	16	A	B		
105.00	0.39 %	16		B	C	
25.00	0.42 %	16			C	D
78.00	0.47 %	16				D

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0.05$)

En la figura 23 se observa la concentración de Fósforo en la pulpa, en los tratamientos como en los días de muestreo, junto con el error estándar de cada tratamiento.

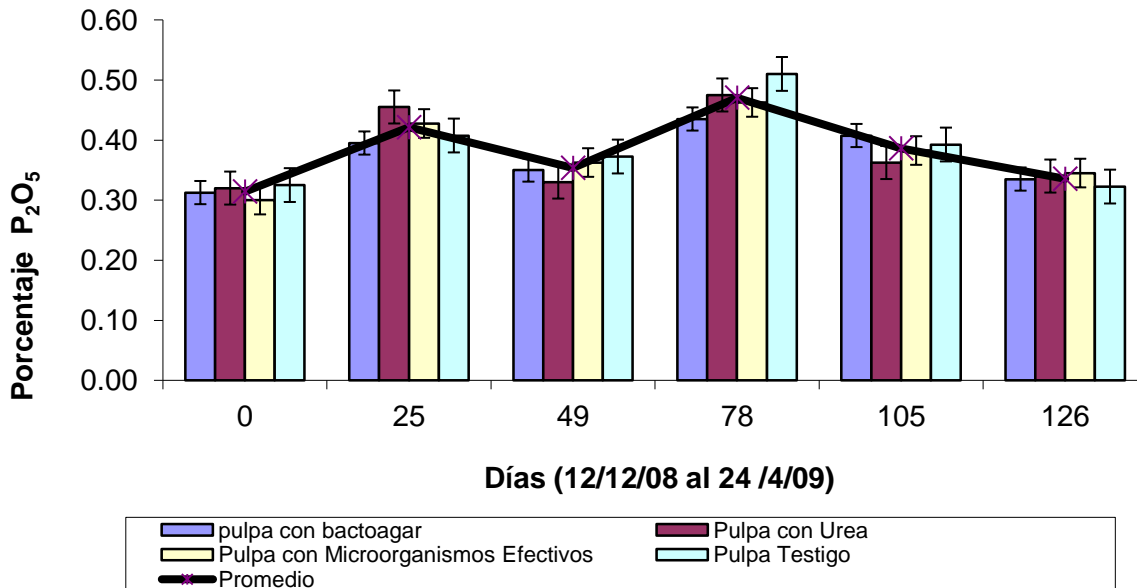


Figura 23 Concentración del Fósforo en la pulpa en los diferentes tratamientos y tiempos de muestreo.

Según la figura 23, en el inicio la pulpa presentó un contenido de Fósforo de 0.31 por ciento en P_2O_5 . Al final del experimento, el Fósforo presentó valores de 0.34 por ciento en forma de P_2O_5 . La figura 6 confirma la no significancia que existe entre productos evaluados, se observa por medio de los errores estándar.

c) Concentración del Potasio en la pulpa en los tratamientos

En el Cuadro 8 se observa el análisis de varianza para el contenido de Potasio, en dicho cuadro 8 se presenta que no existió significancia entre los productos evaluados pero una alta significancia para el tiempo de descomposición, por lo que se efectuó la prueba de comparación de medias (Tukey), cuyo resultado se observa en el Cuadro 9.

Cuadro 8 Analisis de varianza del Potasio.

FV	SC	gl	CM	F	P-valor
Modelo	183.7	35	5.25	3.64	<0.0001
Tratamiento	9.12	3	3.04	1.02	0.4265
Bloque	9.58	3	3.19	2.21	0.096
Error I	26.7	9	2.97	2.06	0.0482
Días	118.37	5	23.67	16.4	<0.0001
Tratamiento*Días	19.93	15	1.33	0.92	0.5469
Error II	86.61	60	1.44		
Total	270.95				

Como se observa en el cuadro 9 en la prueba de medias Tukey este elemento presentó un comportamiento bastante homogéneo en donde a los 78 días se observa una concentración de 3.14 por ciento de Potasio, en donde según la escala de Leiva (16) la pulpa con urea para ese tiempo esta descompuesta.

Cuadro 9 Prueba Tukey para el Potasio.

Prueba Tukey Alfa =0.05 DMS = 1.25040 Error 1.4435 gl :60				
Días	Medias	n		
25	5.01 %	16	A	
49	4.78 %	16	A	
0	4.14 %	16	A	B
78	3.14 %	16		B
105	2.93 %	16		B C
126	1.85 %	16		C

En la Figura 24 se muestra la concentración de Potasio en la pulpa en los tratamientos y días de muestreo durante el proceso de transformación de la pulpa a abono orgánico, la línea indica el comportamiento promedio de la concentración de Potasio en los productos evaluados.

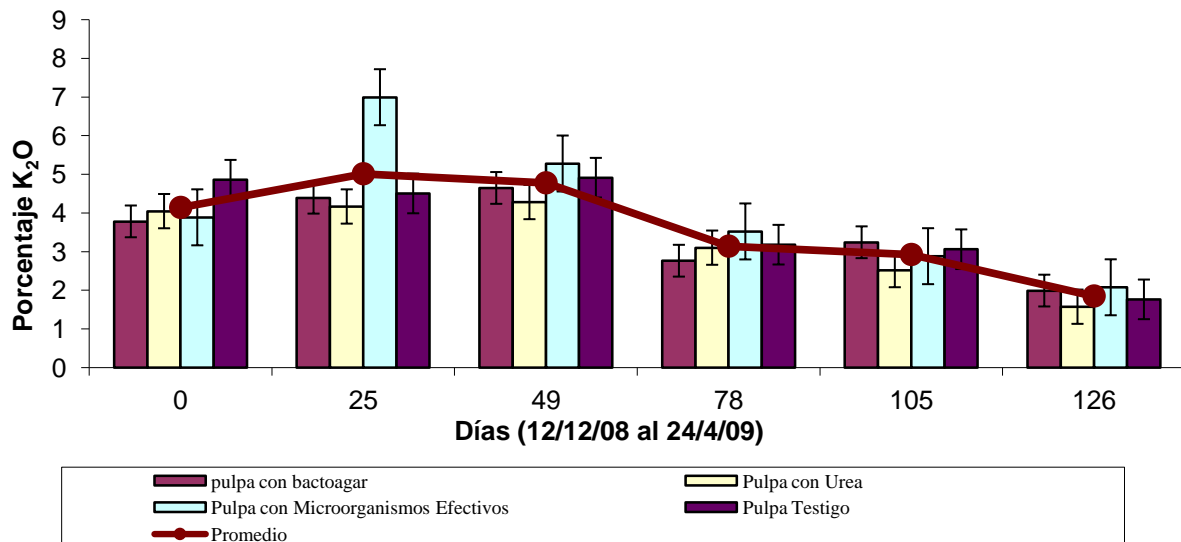


Figura 24 Concentración del Potasio en la pulpa con los productos y días de muestreo durante el proceso de transformación.

En el inicio el Potasio contenido en la pulpa presentó un porcentaje de 4.14 por ciento de K_2O como se puede apreciar en la figura 24. En la misma se observa que la pulpa tratada con

microorganismos efectivos presentó mayores niveles de Potasio a los 25 y 49 días en comparación con el testigo. En los muestreos realizados a los 78 días la concentración fue alrededor de 3.13 por ciento de potasio en la forma K_2O , observándose la misma tendencia hasta el muestreo realizado a los 105 días de iniciado el experimento. Es notable la diferencia de concentración observada a los 126 días en el experimento pues esta fue alrededor de 1.85 por ciento en K_2O .

Para los tres casos Nitrógeno, Fósforo y Potasio no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los productos evaluados, lo que significa que los productos evaluados fueron iguales en cuanto al contenido de macro nutrientes almacenados en el abono orgánico.

Sin embargo, el análisis de varianza demostró diferencias en el contenido de nutrientes entre el tiempo de muestreo. La prueba de medias de Tukey mostrada en los cuadros 5, 7 y 9 demostró que la concentración de Nitrógeno es mayor a los 49 días y el Fósforo se encuentra en mayor cantidad a los 126 días, mientras que Potasio alcanza su mayor concentración a los 25 días.

B. Elementos secundarios.

a. Concentración del Calcio en la pulpa en los diferentes tratamientos

Se puede observar en el cuadro 10 el análisis de varianza para la concentración de Calcio total en la pulpa, en donde no existe diferencia significativa en ningún producto evaluado con el testigo, por lo que la aplicación de los tres productos evaluados para acelerar la descomposición de la pulpa no influye en la concentración de Calcio en el abono obtenido.

En el mismo cuadro 10 se encuentra el análisis de varianza para el tiempo de muestreo encontrándose diferencias significativas entre días de muestreo, por lo que se procedió a realizar una prueba de medias Tukey cuadro 11.

Cuadro 10 Análisis de varianza para la concentración de Calcio.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.31	35	0.04	5.03	<0.0001
Tratamiento	0.03	3	0.01	1.06	0.4148
Bloque	4.603	3	1.53	0.21	0.8903
Error I	0.1	9	0.01	1.49	0.1739
Días	1.07	5	0.21	28.96	<0.0001
Tratamiento*Días	0.09	15	0.01	0.84	0.6353
Error II	0.45	60	0.01		
Total	1.75	95			

En el cuadro 11 se observa que a partir del día 78 de muestreo existe una alta concentración de Calcio, tiempo en que según la escala de Leiva (13) la pulpa a la que se le aplicó urea se encuentra en una condición de descompuesta.

Cuadro 11 Prueba de medias Tukey para el Calcio.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.08965 Error: 0.0074 gl: 60						
Días	Medias	n				
78	0.96 %	16	A			
49	0.91 %	16	A	B		
105	0.86 %	16		B	C	
25	0.79 %	16			C	D
0	0.75 %	16				D
126	0.64 %	16				E

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

En la figura 25 se observa la concentración de Calcio en la pulpa tratada con los productos y el testigo, en los tiempos de muestreo. En el inicio del experimento, el Calcio presentó una concentración cercana 0.75 por ciento. Conforme se realizaron los muestreos, la concentración se elevó en los días 49 y 78, pero nuevamente decreció hasta alcanzar a los 126 días valores cercanos a 0.64 por ciento.

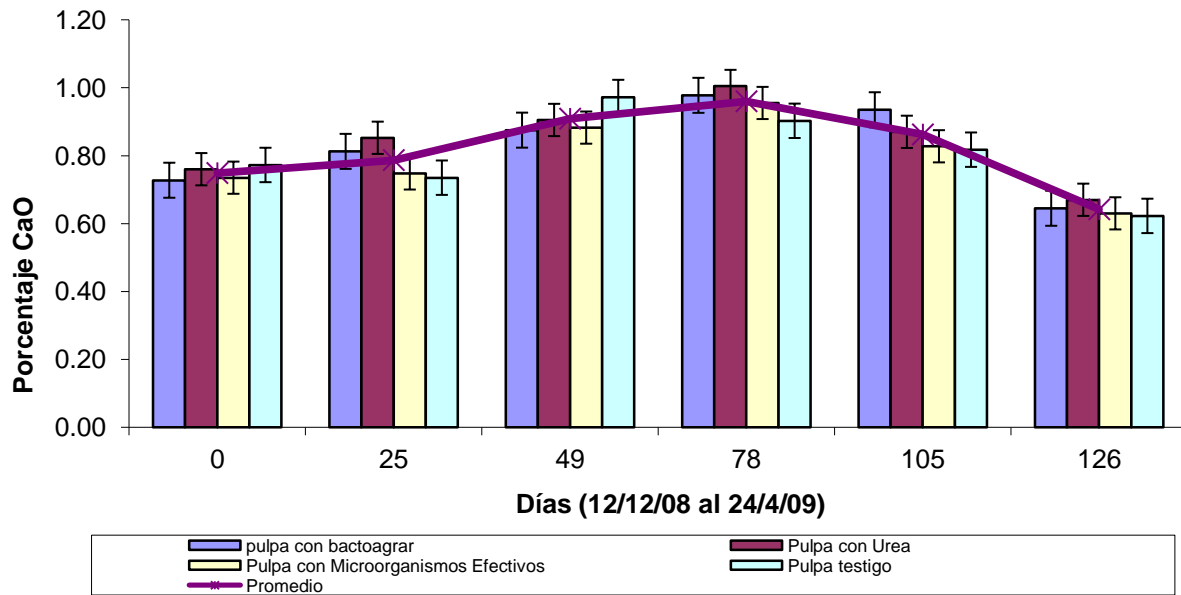


Figura 25 Concentración del Calcio en la pulpa tratada con los productos y tiempo de muestreo.

Las diferencias entre días de muestreo encontradas en el cuadro 10, lo confirma la figura 25 en donde se observa una alta concentración de Calcio en el día 78 siendo el valor más alto (1.00 por ciento). Empezando un descenso a partir del muestreo del día 105, hasta el último muestreo realizado en el día 126 que fue de 0.64 por ciento que es considerada como una alta concentración de Calcio según The Potash & Phosphate Institute (8). La alta concentración de Calcio al final del experimento, puede ser el factor que influye en la condición del pH alto registrada en el abono, según The Potash & Phosphate Institute (8).

b. Concentración del Magnesio en la pulpa con los productos evaluados

En el cuadro 12 se observa el análisis de varianza para la concentración de Magnesio total en la pulpa, en donde no existe diferencia significativa entre los productos evaluados con el testigo, por lo que la aplicación de los tres productos evaluados para acelerar la descomposición de la pulpa no influye en la concentración de Magnesio en el abono obtenido.

En el mismo cuadro 12 se encuentra el análisis de varianza para el tiempo de descomposición, encontrándose diferencias significativas entre días de muestreo, por lo que se procedió a realizar una prueba de medias Tukey (cuadro 13) para días de muestreo.

Cuadro 12 Análisis de varianza para la concentración de Magnesio.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.30	35	0.01	7.27	<0.0001
Tratamiento	3.03	3	1.203	0.59	0.6351
Bloque	6.904	3	2.304	0.19	0.8995
Error I	0.02	9	2.003	1.68	0.1127
Días	0.27	5	0.05	45.24	<0.0001
Tratamiento*Días	0.01	15	7.404	0.63	0.8349
Error II	0.07	60	1.203		
Total	0.37	95			

En el cuadro 13 se observa que entre los días 78 y 105 existe una alta concentración Magnesio, tiempo en que según la escala de Leiva la pulpa a la que se le aplicó urea se encuentra en una condición de descompuesta.

Cuadro 13 Prueba de medias Tukey para la concentración de Magnesio.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,03567 Error: 0,0012 gl: 60					
Días	Medias	N			
25.00	0.16 %	16	A		
126.00	0.23 %	16		B	
49.00	0.24 %	16		B	
0.00	0.25 %	16		B	
105.00	0.30 %	16			C
78.00	0.33 %	16			C

Letras distintas indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)

En la figura 26 se muestra el comportamiento del Magnesio en la pulpa de acuerdo a los diferentes productos evaluados y días de muestreo. Este elemento mostró un comportamiento diferente al Calcio pues el día 25 se detectaron los menores valores, variando en el rango de 0.14 a 0.18 por ciento. Al final del experimento, el Magnesio en la pulpa presentó valores más altos que al inicio, situándose entre 0.23 y 0.24 por ciento.

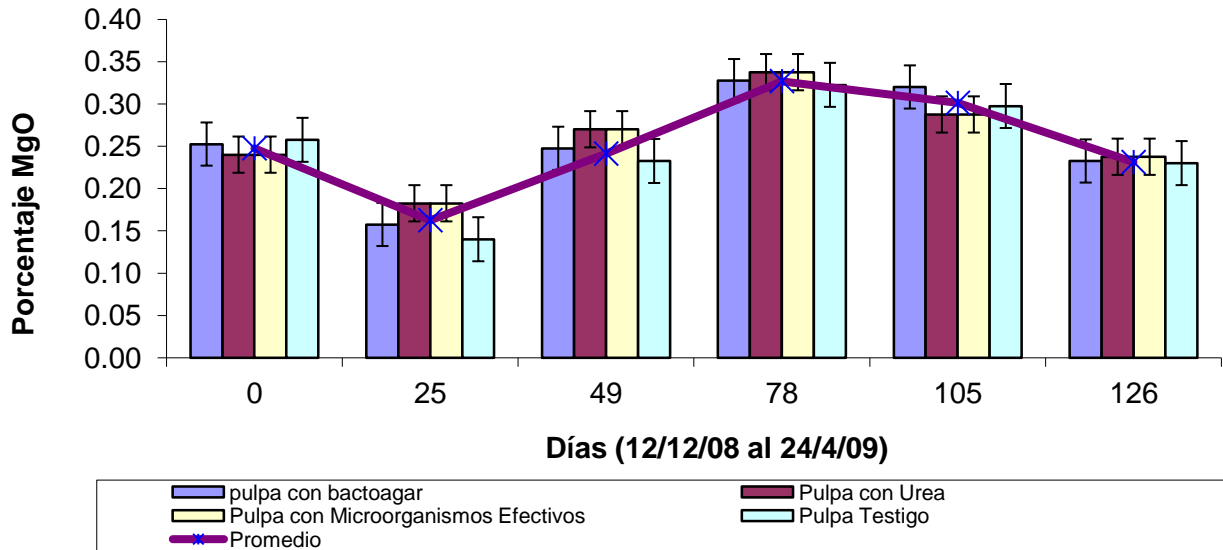


Figura 26 Concentración del Magnesio en la pulpa con los productos evaluados y días de muestreo.

Las altas concentraciones de Magnesio total en el abono puede ser por las altas concentraciones de Potasio y Nitrógeno presente, según la Fundación For Agronomic Research The Potash & Phosphate Institute (8).

C. Micro elementos

En relación al contenido de micro elementos en la pulpa, a lo largo del período de descomposición, fue observado un comportamiento diferente en comparación a los macro nutrientes. Los niveles de Cobre, Hierro, Zinc y Manganese presentaron mayores valores al final del experimento que al inicio.

a. Concentración del Cobre en la pulpa con los diferentes productos evaluados

En el cuadro 14 se observa el análisis de varianza para la pulpa tratada con los productos evaluados con el testigo en relación a la concentración de Cobre, en donde no existen diferencias significativas entre los productos evaluados, por lo que la aplicación de cualquiera de los tres productos evaluados en el presente trabajo no influye en la concentración de Cobre en el abono resultante. Sin embargo en el mismo cuadro 14 se observa el análisis de varianza para el tiempo de descomposición encontrándose diferencias significativas entre días de muestreo por lo que se procedió a realizar una prueba de medias Tukey cuadro 15.

Cuadro 14 Análisis de varianza para la concentración de Cobre.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	19263.89	35	550.4	1.54	0.0703
Tratamiento	1356.37	3	452.12	1.42	0.3009
Bloque	970.14	3	323.38	0.9	0.4445
Error I	2874.74	9	319.42	0.89	0.5369
Días	8499.09	5	1699.82	4.75	0.001
Tratamiento*Días	5563.55	15	370.9	1.04	0.4322
Error II	21458.5	60	357.64		
Total	40722.39	95			

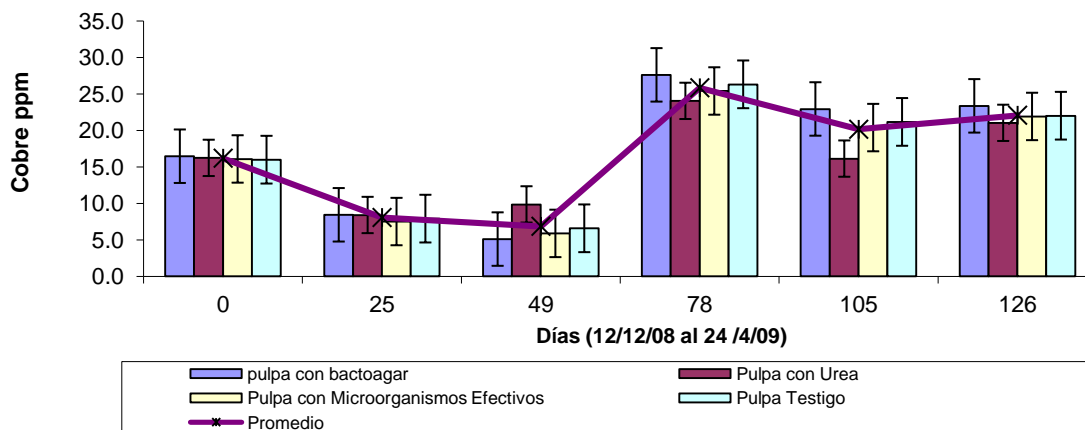
Según el cuadro 15 el contenido de este microelemento está adecuado en el día 105, cuando, según la escala de Leiva (16) la pulpa con urea se encuentra descompuesta.

Cuadro 15 Prueba de medias Tukey para la concentración de Cobre.

Días	Medias	n	A	B
126	33.49 ppm	16	A	
78	25.83 ppm	16	A	B
105	20.14 ppm	16	A	B
0	16.18 ppm	16	A	B
25	8.06 ppm	16		B
49	6.85 ppm	16		B

Letras distintas indican diferencias significativas (p <= 0.05)

En la figura 27 se puede observar la concentración de Cobre a lo largo del tiempo que tardo el experimento.

**Figura 27 Concentración del Cobre en la pulpa con los productos evaluados y días de muestreo.**

Según la figura 27 se observa que al inicio la concentración de Cobre en la pulpa tratada con los productos evaluados fueron cercanos a 16.17 ppm. En el Cobre hay una diferencia de concentración en el día 78 de muestreo, pero en el sexto muestreo, día 126 se observa un leve ascenso de la concentración de Cobre en la pulpa tratada con bactoagar como lo demuestra la figura 8. Estas altas concentraciones de Cobre total al final del experimento se deben al alto porcentaje de materia orgánica presente, (cuadro 3). Según la Fundación For Agronomic Reseach The Potash & Phosphate Institute (8) la alta presencia de materia orgánica en estos sistemas hace que el Cobre sea retenido con tal tenacidad que solo una pequeña cantidad se encuentra disponible para las plantas.

b. Concentración del Hierro en la pulpa con los tratamientos

En el cuadro 16 se observan los resultados del análisis de varianza para el contenido de Hierro total. En dicho cuadro 16 se ve que no hay diferencia significativa entre la pulpa tratada con los productos evaluados y la pulpa testigo, por lo que se concluye que la aplicación de cualquiera de los tres productos evaluados, no influyen en la concentración de Hierro total al cosechar el abono en el día 126 de descomposición. En el mismo cuadro 16 se observa la diferencia significativa que existe entre el tiempo de descomposición, por lo que se realizó una prueba de medias Tukey entre días de muestreo cuadro 17.

Cuadro 16 Análisis de varianza para la concentración de Hierro.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1031054958.88	35	29458713.11	13.62	<0.0001
Tratamiento	7215093.57	3	2405031.19	1.04	0.4206
Bloque	6965387.62	3	2321795.87	1.07	0.3674
Error I	20810997.59	9	2312333.07	1.07	0.3989
Días	967609642.21	5	193521928.44	89.46	<0.0001
Tratamiento*Días	28453837.89	15	1896922.53	0.88	0.5921
Error II	127626328.14	59	2163158.10		
Total	1158681287.02	94			

En el cuadro 17 se observa que el día 105 la concentración de hierro se encuentra en 5,632.00 ppm en donde el tratamiento pulpa con urea se encontraba en una condición de descompuesta según la escala de Leiva (16).

Cuadro 17 Prueba de medias Tukey para la concentración de Hierro.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1540,06529 Error: 2163158.1040 gl: 59				
Días	Medias	n		
0.00	494.18 ppm	16	A	
25.00	734.00 ppm	16	A	
49.00	2021.99 ppm	16	A	
105.00	5632.00 ppm	16		B
78.00	6456.00 ppm	16		B
126.00	9030.40 ppm	16		C

Letras distintas indican diferencias significativas (p <= 0.05)

En la figura 28 se observa la fluctuación de la concentración de Hierro durante el tiempo de descomposición de la pulpa.

La pulpa al inicio tiene una concentración de hierro entre 676.5 ppm. Posteriormente a partir del día 49 empieza a ascender hasta llegar a las 10416 ppm en el día 126. La pulpa tratada con urea y con microorganismos efectivos muestra similar cantidad de hierro como lo demuestra la figura 28.

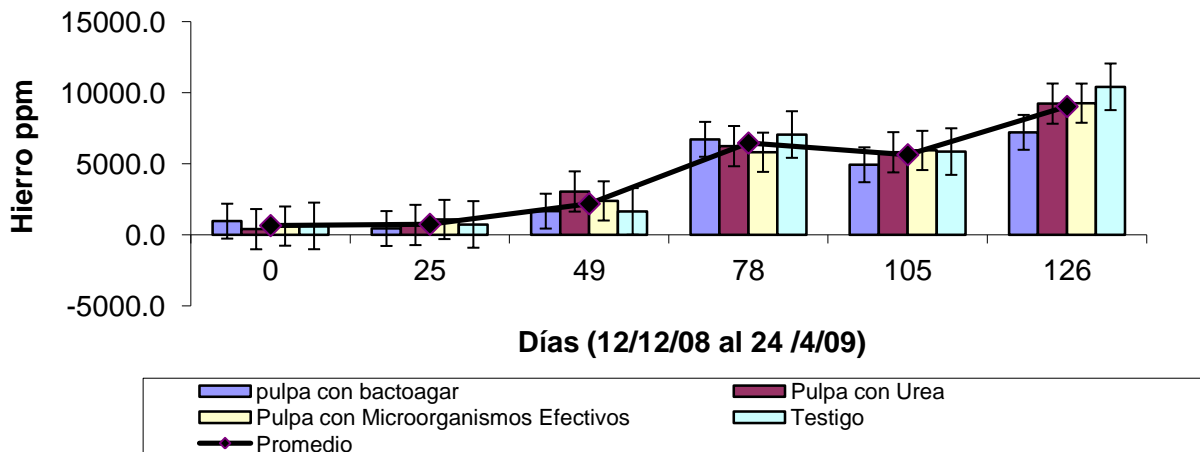


Figura 28 Concentración del Hierro en la pulpa con los productos evaluados y días de muestreo.

En la figura 28 se observa el sentido ascendente de la concentración de Hierro a través del tiempo, la alta concentración de Hierro total al final del experimento, se debe al exceso de Fósforo (figura 6) y una combinación del pH alto (figura 14), altos contenido de Calcio figura 7 al final del experimento.

c. Concentración del Manganeseo en la pulpa en los tratamientos

En el cuadro 18 se observa el resultado del análisis de varianza para el contenido de Manganeseo total en la pulpa de café, en dicho cuadro no se observan diferencias significativas entre los productos evaluados, por lo que la aplicación de cualquiera de los tres productos no influyen en la concentración de Manganeseo total en el abono elaborado de pulpa de café. En el mismo cuadro 18 se observa el análisis de varianza para el tiempo de descomposición en donde se encontraron diferencias significativas entre días de muestreo. Por lo que se llevó a cabo una prueba de medias Tukey cuadro 19.

Cuadro 18 Análisis de varianza para la concentración de Manganeseo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4216386	35	120468	33.3	<0.0001
Tratamiento	12126.63	3	4042.21	1	0.5
Bloque	2650.65	3	883.55	0.24	0.8651
Error I	78575.66	9	8730.63	2.41	0.0207
Días	4063980.1	5	812796	224.66	<0.0001
Tratamiento*Días	59052.99	15	3936.87	1.09	0.3863
Error II	217074.06	60	3617.9		
Total	4433460.1	95			

En el cuadro 19 se observa que el día 105 se encuentra con 461.19 ppm de Manganeseo en donde según la escala de Leiva (16), la pulpa con urea tiene una condición de descompuesta.

Cuadro 19 Prueba de medias Tukey para la concentración de Manganeseo.

Días	Medias	n	A	B	C	D	E
126	551.83 ppm	16	A				
105	461.19 ppm	16		B			
78	366.75 ppm	16			C		
49	113.96 ppm	16				D	
25	54.24 ppm	16				D	E
0	29.04 ppm	16					E

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

El Manganeseo tuvo un comportamiento similar que el Hierro, pues según lo muestra la figura 29 al inicio hubieron concentraciones bajas cercanas a 28.5 ppm en todos los tratamientos y después del tercer muestreo se observa un sentido ascendente hasta el final del ensayo la pulpa tratada con bactoagar aporta concentraciones altas cercanas a 551.83 ppm en el abono obtenido.

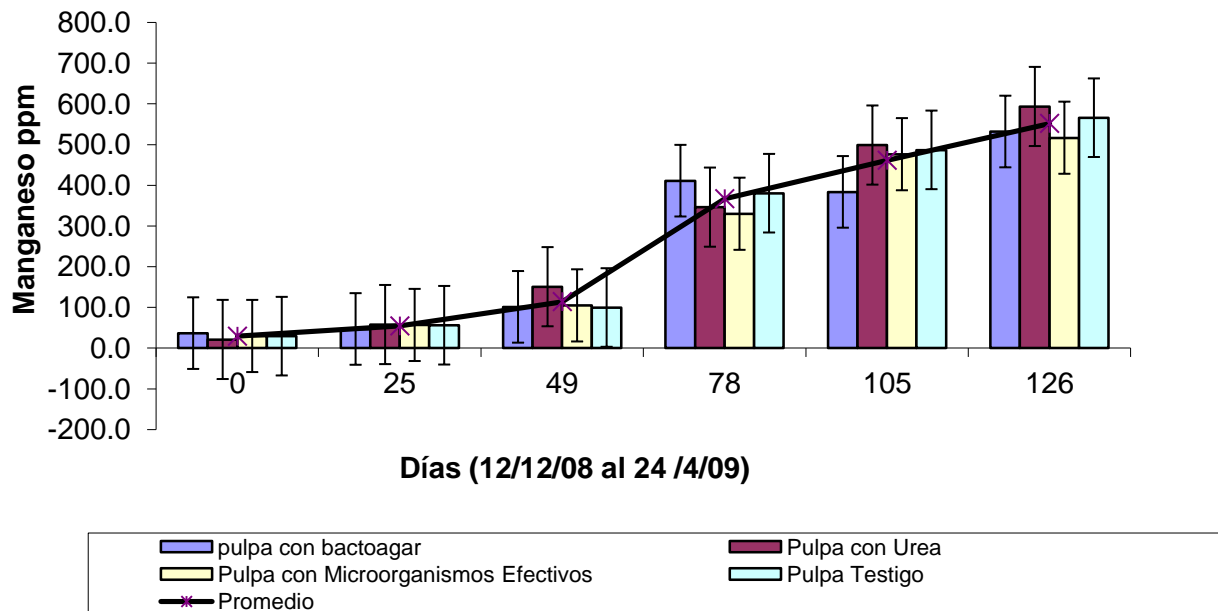


Figura 29 Concentración del Manganeseo en la pulpa con los productos evaluados y días de muestreo.

d. Concentración de Zinc en la pulpa en los diferentes tratamientos

En el cuadro 20 se observa el resultado del análisis de varianza para el contenido de Zinc total en la pulpa de café, en dicho cuadro no se observan diferencias significativas entre la pulpa tratada con los productos evaluados en relación con la pulpa testigo, por lo que la aplicación de cualquiera de los tres productos evaluados no influyen en la concentración de Zinc total en el abono elaborado de pulpa de café. En el mismo cuadro 20 se observa el análisis de varianza para el tiempo de descomposición en donde se encontraron diferencias significativas entre días de muestreo. Por lo que se llevo a cabo una prueba de medias Tukey, (cuadro 20).

Cuadro 20 Análisis de varianza para la concentración de Zinc.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6314.59	35	180.42	2.21	0.0033
Tratamiento	293.51	3	97.84	1.21	0.3624
Bloque	146.93	3	48.98	0.6	0.617
Error I	730.6	9	81.18	1	0.4533
Días	4515.02	5	903	11.08	<0.0001
Tratamiento*Días	628.53	15	41.9	0.51	0.9232
Error II	4890.83	60	81.51		
Total	11205.42	95			

En el cuadro 21 se observa que el día 105 se encuentra en el segundo grupo en donde según la escala de Leiva (16), la pulpa con urea tiene una condición de descompuesta.

Cuadro 21 Prueba de medias Tukey para la concentración de Zinc.

Días	Medias	n	
126	32.84 ppm	16	A
49	22.26 ppm	16	B
105	19.76 ppm	16	B
78	14.63 ppm	16	B
25	14.11 ppm	16	B
0	12.88 ppm	16	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

En la figura 30 se observa el comportamiento de la concentración del Zinc durante el tiempo de descomposición sometida a la pulpa. El Zinc mantuvo caídas y repuntes durante todo el ensayo en donde se puede observar en la figura 30 que el día 126 la pulpa contiene mayor concentración de este elemento, y la pulpa tratada con urea fue la que más aportó con 36 ppm.

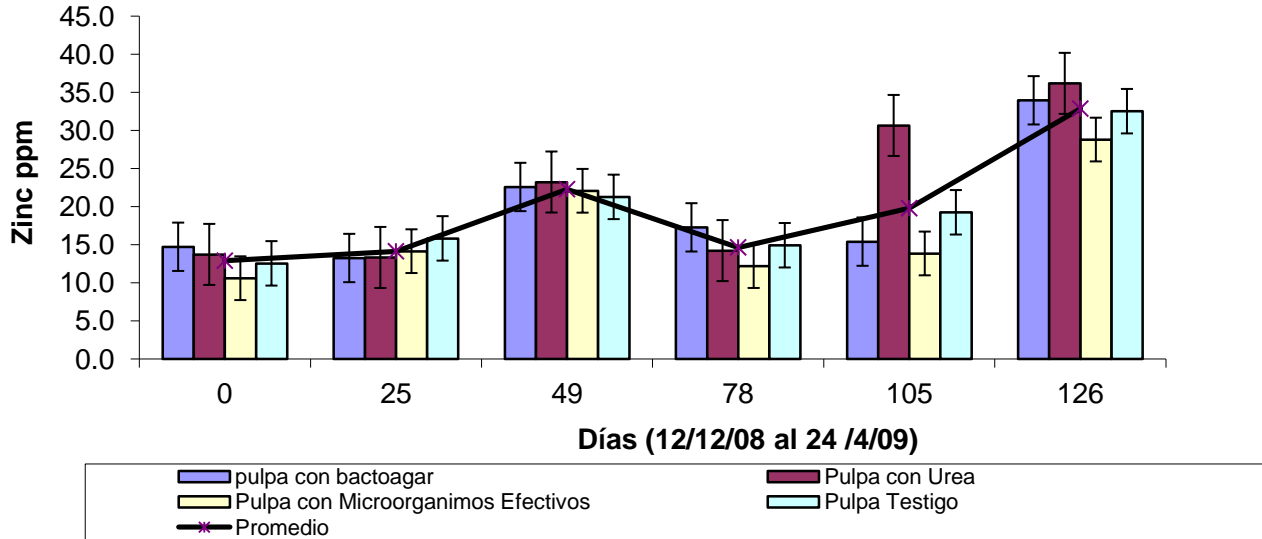


Figura 30 Concentración del Zinc en la pulpa tratada con los productos y días de muestreo.

e. Comportamiento de la relación Carbono y Nitrógeno

En la figura 31 se presenta el comportamiento de la relación Carbono y Nitrógeno en la pulpa tratada con los productos evaluados y tiempos de muestreo, hasta los 126 días de compostaje.

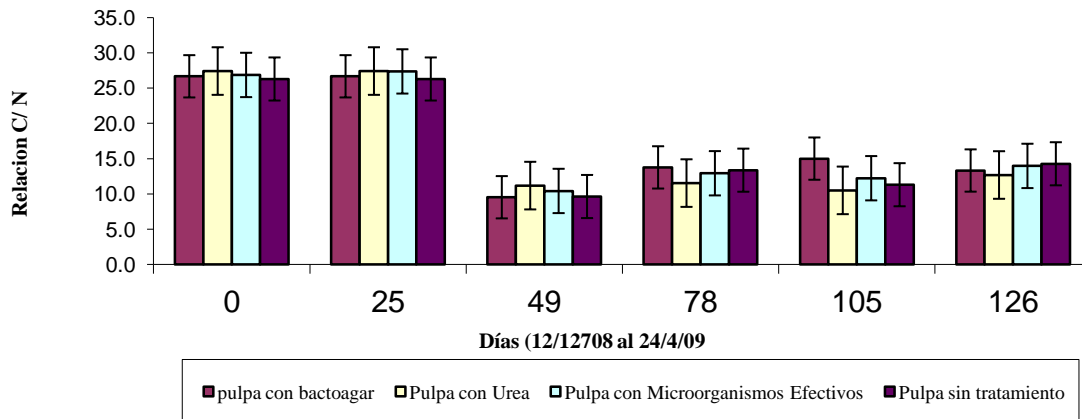


Figura 31 Comportamiento de la relación Carbono y Nitrógeno en la pulpa con los productos evaluados y tiempo de muestreo.

Según la figura 31 se observa que la relación Carbono y Nitrógeno de la pulpa utilizada en el experimento fue de 26:1 en el inicio. Esta relación se mantuvo igual hasta los 25 días en que se realizó el segundo muestreo. Posteriormente fue decayendo, llegando a valores entre 11.5:1 a los 49 días aumento a valores cercanos a 15:1 hasta el final del experimento. Según el Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos (18), esta característica del abono

es importante porque está en el rango adecuado para un abono orgánico y cumple con esta condición para ser llamado abono orgánico maduro.

f. Comportamiento del pH en los diferentes tratamientos

En relación al pH, en la figura 32 se muestra la variación durante el periodo de descomposición.

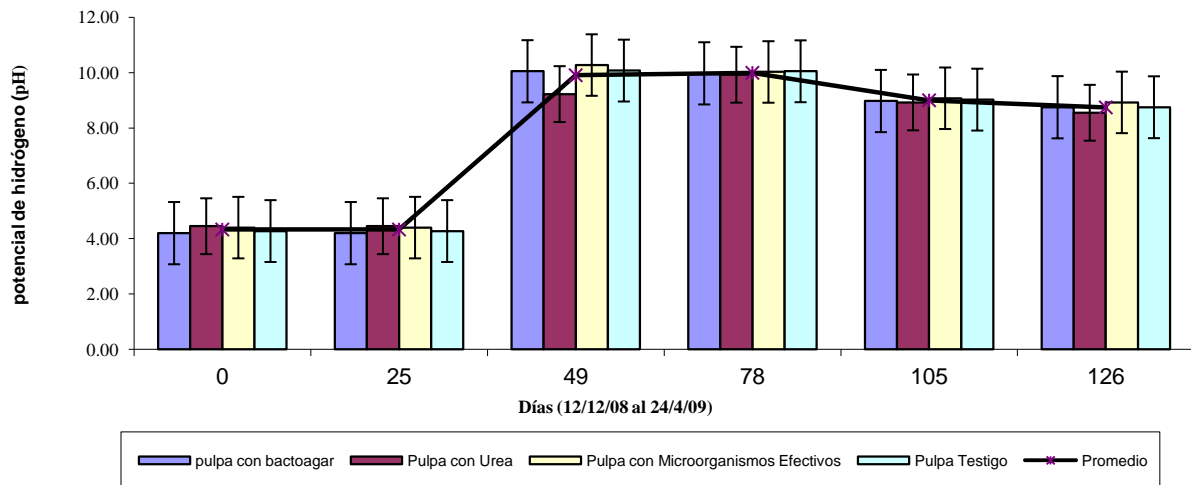


Figura 32 Fluctuación del potencial de Hidrogeno (pH) en la pulpa tratada con los productos evaluados y tiempo de muestreo.

El pH en los muestreos inicial y a los 25 días se mantuvo valores alrededor de 4.32. Sin embargo, el valor de pH se incrementó en los días 49 siguientes hasta el final del experimento dando como resultado un producto final con pH entre 8.5 como los muestra la figura 14 altamente alcalino.

En la figura 32 se observa que el pH tiende a ser alcalino, debido al proceso de descomposición de la pulpa, indicado anteriormente por el Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos (18), este libro afirma que se considera un abono de origen orgánico bien descompuesto cuando su pH sea básico.

2.7.2.3 Características bioquímicas

A. Respiración microbiana en abono de la pulpa de café

Al final del experimento el abono elaborado con los diferentes tratamientos, se sometió a pruebas bioquímicas para determinar la actividad microbiológica. Dicha actividad se mide determinando la cantidad de Monóxido de carbono liberado por los microorganismos presentes en una muestra de

abono, mediante el método por titulación descrito por Anderson e Ingram (1993) empleando trampas de álcali. Obteniendo resultados que se presentan en el cuadro 22.

Cuadro 22 Cantidad de microgramos de CO₂ en cada tratamiento.

TRATAMIENTOS	ug de CO ₂ /100 gr de compost por hora
Pulpa Tratada con Bactoagar	4827
Pulpa Tratada con Urea	4650
Pulpa Tratada con ME	4634
Pulpa Testigo	4423
Suelo utilizado con café	509

La diferencia que se observa en el cuadro 22 es mínima en los tres diferentes tratamientos en relación con el testigo, En dicho cuadro se observa que el abono elaborado con pulpa presenta diferencias en la producción del CO₂ en comparación con una muestra de suelo. El flujo de CO₂ en la pulpa tratada varió entre 4423 a 4827 ug de CO₂ en 100 gramos de abono por hora, indicando una buena actividad de la biomasa microbiana.

En el cuadro 23 se observa el resultado del análisis de varianza para el CO₂ liberado en el abono de pulpa de café. En el cuadro 23 se demuestra que no existen diferencias significativas entre la pulpa tratada con los productos evaluados, por lo que la aplicación de cualquiera de los tres productos no influyó en la actividad microbiológica.

Cuadro 23 Análisis de varianza para la respiración microbiana.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1340446.01	3	446815.34	1.06	0.4584
Tratamiento	1340446.01	3	446815.34	1.06	0.4584
Error	1683649.75	4	420912.44		
Total	3024095.76	7			

De los productos evaluados, el bactoagar se destacó como el de mayor producción de Monóxido de carbono lo que nos indica que al aportar pulpa descompuesta al cafetal también estamos contribuyendo para la actividad microbiológica del suelo.

B. Biomasa microbial

En el cuadro 24 se observa que la biomasa microbiana del abono varió de 3992 a 4887 miligramos de Carbono de los microorganismos. Estos valores son bastante altos si se comparan a los

presentes en el suelo, que dependiendo del grado de materia orgánica puede estar alrededor de 500 mg de C-BM según OPS y OMS (18).

Cuadro 24 Cantidad de miligramos de Carbono de la biomasa microbiana (C - BM) en los abonos obtenidos.

Tratamientos	mg C-BM en un gramo de abono seco
Pulpa tratada con bactoagar	4793
Pulpa tratada con urea	4059
Pulpa tratada con microorganismos efectivos	3992
Pulpa testigo	4887

Si se observa en el cuadro 24 el tratamiento pulpa con bactoagar tiene menor presencia de microorganismos medida por la biomasa, pero en el (cuadro 23) se observa que tiene mayor CO₂ liberado por lo que según Ramírez Palacio, Álvaro Andrés y Moreno Hurtado, Flavio Humberto (20) la biomasa presente está activa, caso contrario con los otros tratamientos y testigo.

En el cuadro 25 se observa el resultado del análisis de varianza para biomasa microbiana en el abono de pulpa de café, en dicho cuadro no se observan diferencias significativas entre tratamientos en relación con el testigo, por lo que la aplicación de cualquiera de los tres productos evaluados no influye en la cantidad de microorganismos presentes en el abono producido con pulpa de café.

Cuadro 25 Análisis de varianza para la biomasa microbiana.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modulo	82219.38	3	27406.46	1.87	0.2762
Tratamiento	82219.38	3	27406.46	1.87	0.2762
Error	58759.50	4	14689.88		
Total	140978.88	7			

2.7.3 Análisis de costos

Para efectuar el análisis de costos se consideraron los siguientes datos, a) el rendimiento medio de abono producido para cada tratamiento en kilogramos, b) los costos que varían para cada tratamiento.

Para este análisis no se tomaron en cuenta el tratamiento testigo debido a que la pulpa aun no había alcanzado su condición de descompuesta, por lo tanto, no presento una estabilización total en cuanto al peso de este material.

En la cuadro 26 se observa que el costo de producir abono orgánico a partir de pulpa de café y adicionándole el activador enzimático (bactoagar) de una tonelada de pulpa es de Q 274.42. La ventaja es que la pulpa a los 114 días presentó una condición de descompuesta, lo que significa que reduce el tiempo de descomposición y por consiguiente la disponibilidad del abono es a corto plazo.

Cuadro 26 Costo de compostar una tonelada de pulpa fresca con activador enzimático bactoagar en 114 días.

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario (Q.)	Total (Q)
Costo Directo				274.42
Pulpa	Metro cubico	2.48	33	81.84
Renta de la tierra	Días	114	0.55	63.33
Costo de Establecimiento	hora	2	6.5	13
Mano de Obra				9.75
Mantenimiento	hora	1	6.5	6.5
Cosecha	hora	0.5	6.5	3.25
Insumos				
Activador Enzimático	Centímetro cubico	300	0.075	22.5
Instrumentos agrícolas				
Aperos agrícolas	Unidad	3	28	84
Costos Indirectos				10.58
Cuota IGSS (6% S/MO)				0.58
Imprevistos				10
Total (Costos Directos más Costos Indirectos)				285.00

En la cuadro 27 se puede observar el costo de producir una tonelada de pulpa fresca tratada con fertilizante nitrogenado (urea). El costo del fertilizante fue de Q.200.00 por quintal significa que cada libra de fertilizante tiene un costo de Q.2.00 a cada montículo se aplicaron 5 libras.

Cuadro 27 Costo de compostar una tonelada de pulpa fresca con fertilizante nitrogenado (Urea) en 85 días.

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario (Q.)	Total (Q)
Costo Directo				109.34
Pulpa	Metro cubico	2.48	33	81.84
Renta de la tierra	Días	85	0.55	46.75
Costo de Establecimiento	Hora	2	6.5	13
Mano de Obra				9.75
Mantenimiento	Hora	1	6.5	6.5
Cosecha	Hora	0.5	6.5	3.25
Insumos				
Fertilizante Urea	Libra	20	2	40
Instrumentos agrícolas				
Aperos agrícolas	Unidad	3	28	84
Costos Indirectos				10.58
Cuota IGSS (6% S/MO)				0.58
Imprevistos				10
Total (Costos Directos más Costos Indirectos)				119.92

Como se observa en el cuadro 27 el costo de producir abono de pulpa con urea es de Q 119.92 la tonelada y se reduce el tiempo de descomposición, debido a que este tratamiento, la pulpa se encontró en condición de descompuesta a los 85 días.

En el cuadro 28 se observa los costos de producir una tonelada de pulpa fresca en abono utilizando microorganismos efectivos. El litro de EM tiene un costo Q. 65.00, calculando el valor de la activación y todo lo que implica dicha actividad el producto costó Q.2.80 por montículo de pulpa.

Según el cuadro 28 se observa que el tratamiento de pulpa con microorganismos efectivos fue más oneroso que los dos tratamientos anteriores, esto se debe a que este tratamiento presento condiciones no aptas para aplicar al cafetal a pesar de los 126 días que estuvo en tratamiento. Por lo que no puede ser llamado abono de origen orgánico. Este tratamiento se comporto de similar forma que el testigo.

Cuadro 28 Costo de compostar una tonelada de pulpa fresca con microorganismos efectivos.

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario (Q.)	Total (Q)
Costo Directo				274.77
Pulpa	Metro cubico	2.48	33	81.84
Renta de la tierra	Días	126	0.55	69.3
Costo de Establecimiento	Hora	2	6.5	13
Mano de Obra				9.75
Mantenimiento	Hora	1	6.5	6.5
Cosecha	Hora	0.5	6.5	3.25
Insumos				
Microorganismos Efectivos	Litro	6.03 EMA 5%	2.8	16.88
Instrumentos agrícolas				
Aperos agrícolas	Unidad	3	28	84
Costos Indirectos				10.58
Cuota IGSS (6% S/MO)				0.58
Imprevistos				10
Total (Costos Directos más Costos Indirectos)				285.35

En el cuadro 29 se presentan los costos de producción en kilogramos de los elementos mayores y secundarios.

Cuadro 29 Costo de la producción en kilogramos de elementos mayores.

Tratamientos	Producción kilogramo de abono	Costo quetzal en un kilogramo de abono.	Cantidad en Kilogramos				
			Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio	Calcio
Con Bactoagar	380.00	0.75	7.71	1.27	7.60	0.87	2.45
Con Urea	363.64	0.33	9.38	1.23	7.27	0.87	2.43
Con ME	375.00	0.76	10.08	1.27	7.76	0.86	2.36

Los costos de producir Nitrógeno, Fósforo y Potasio con pulpa se presentan en el cuadro 29, en donde se debe de tomar en cuenta que al aplicar pulpa también se estará aplicando macro y microelementos así como también se esta aportando actividad microbiológica, caso contrario sucede al aplicar fertilizantes en donde los costos son menores, pero solo se aplica un elemento y los efectos se observan a corto plazo. En el cuadro 30 se presenta los costos de los elementos mayores en el mercado así como su aporte nutricional.

2.7.3.1 Costo en el mercado de las diferentes fertilizantes que contienen macroelementos.

Cuadro 30 Costo en el mercado de los elementos mayores.

Fertilizante	Costo quetzal en 45.45 kilogramos	Costo quetzal en un kilogramo				
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio	Calcio
Urea (46 - 0- 0)	200	9.52	0	0	0	0
Nitrato de amonio (37-0-0)	180	10.7	0	0	0	0
11 - 52 – 0 (N – P – K)	617	134.2	28.39	0	0	0
Sulfato de Potasio (0-0-50)	617	0	0	27.15	0	0

En el cuadro 30 se calcularon el costo del kilogramo de cada uno de los elementos mayores en el mercado (Estimados con base al precio de los fertilizantes al mes de julio de 2009).

2.8 CONCLUSIONES

Se determinó que la temperatura de la pulpa varió entre los productos evaluados, alcanzándose una etapa termofílica adecuada con el producto bactoagar y urea, no así en la pulpa con los productos microorganismos efectivos y testigo. La máxima temperatura observada fue de 51 grados centígrados y 63.5 grados centígrados en el tratamiento de pulpa con urea y bactoagar, respectivamente. En consecuencia, la descomposición de la pulpa se obtuvo más rápidamente en estos productos.

La falta de una etapa termófila adecuada influyó en el proceso de la descomposición, retrasando la transformación de la pulpa en abono orgánico en la pulpa tratada con microorganismos efectivos y testigo.

No se evidenciaron diferencias en la calidad nutricional de la pulpa transformada con los productos aplicados, sin embargo, la concentración de nutrientes varió en los diferentes muestreos efectuados. Se obtuvo una adecuada concentración de nutrientes entre los días 78 y 115 de muestreo, coincidiendo con el periodo en el cual la pulpa presentó una adecuada descomposición con los productos urea y bactoagar.

En base al análisis de costos, el menor costo se obtuvo con la pulpa tratada con urea de lo cual fue debido al menor tiempo de ocupación del terreno debido a la más rápida transformación de la pulpa a abono orgánico. Sin embargo, el menor costo del bactoagar también permitiría mayor volumen de transformación en un periodo de 115 días en igual área de terreno.

2.9 RECOMENDACIONES

Para reducir el tiempo de descomposición de la pulpa a 85 días como mínimo se recomienda utilizar el tratamiento pulpa con urea, pero para descomponer la pulpa a 115 días se recomienda tratar la pulpa con bactoagar.

Se sugiere realizar estudios de descomposición de pulpa con urea en dosis de 0.25 por ciento de urea, para reducir los costos en utilización de fertilizante.

2.10 BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFE (Asociación Nacional del Café, GT). 1999. Manual de agricultura. Guatemala. 178 p.
2. _____. 2004. Investigaciones y descubrimientos sobre el cultivo del café. Guatemala. 308 p.
3. Acosta, J; Cayama, J; Gómez, E; Reyes, N; Rojas, D; García, H. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos (en línea). Venezuela. Consultado 25 ago 2010. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/904/90460303.pdf>
4. Barbado, J. 2003. Micro emprendimientos hongos comestibles. Buenos Aires, Argentina, Barbado. 59 p.
5. Braham, J; Bressani, R. 1978. Pulpa de café composición, tecnología y utilización. Guatemala, INCAP. 254 p.
6. Cardona, D. 1991. Introducción a la edafología. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Programa de Fortalecimiento Académico. 254 p.
7. FAO, IT. 1978. Reciclaje de desechos orgánicos en la agricultura. Colombia. Boletín de Suelos no. 40, 121 p.
8. Foundation for Agronomic Research, US; Potash & Phosphate Institute, US. 1988. Manual de fertilidad de los suelos. Atlanta, Georgia, US. 85 p.
9. Galindo Y, FH. 1998. Caracterización de los beneficios húmedos de café y estimación de sus cargas contaminantes sobre los ríos Savalachi y Tarros del municipio de San Pablo, San Marcos. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 76 p.
10. Girón T, J. 1999. Como aprovechar la pulpa de café. El Cafetal 1(2):4, 5 y 6.
11. Higa, T. 2007. Microorganismos efectivos y benéficos para una agricultura y medioambiente sostenible (en línea). Estados Unidos. Consultado 26 set 2010. Disponible en http://www.fundases.com/userfiles/file/MicroorG_Benef_Efect.pdf
12. IGN (Instituto Geográfico Nacional. GT). 1980. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala. tomo 3, p. 644–647.
13. Ixcot González, C. 1995. Transformación de la pulpa de café en compost, utilizando la lombriz coqueta roja (*Eisenia foetida*) y un degradador enzimático de rastros. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 82 p.
14. Krebs Reginatto, L. 2003. Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. Tesis MSc. Guayaquil, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. p. 38-39.

15. Lee Pazos, JE.1990. Determinación de macro y micronutrientes en la pulpa de café sometida a degradación enzimática (stubble digester) para su utilización como abono orgánico. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 79 p.
16. Leiva, J. 1988. Evaluación del degradador enzimático de rastrojos (stubble digester plus) en la descomposición de la pulpa de café. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 46 p.
17. Muñoz A, CY. 2002. Disponibilidad de nutrimentos de tres compost. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 67 p.
18. OPS, MX; OMS, MX. 2002. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos (en línea). México. Consultado 5 mayo 2008. Disponible en www.bvsops.org.uy/pdf/compost
19. Orellana Palomo, O. 1994. Conversión de la pulpa del fruto de café en abono orgánico, por medio de diferentes procesos. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. 152 p.
20. Ramírez Palacios, AA; Moreno Hurtado, FH. 2008. Respiración microbial y de raíces en suelos de bosques tropicales primarios y secundarios. Tesis Ing. Agr. Forestal. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. p. 4884-4891.



CAPITULO III

SERVICIOS

ELABORACIÓN DE CURVAS DE MINERALIZACIÓN DE DIFERENTES PLANTAS: BANANO (*Musa sapientum*), GRAVILEA (*Grevillea robusta* A.Cunn), CUJE (*Inga spp.*), CUSHIN (*Inga spp.*) TORRELEANA (*Eucalyptus Torreliana* F. Muell), PALO DE PITO (*Erithryna spp.*) Y ACHOTON (*Alchornia latifolia* Sw. 1788), UTILIZADAS PARA SOMBRA DE CAFÉ EN DIVERSAS LOCALIDADES SANTA ROSA.

3.1 INTRODUCCION

En Guatemala el cultivo café se produce bajo sombra, lo que permite obtener efectos directos sobre el desarrollo y la producción de frutos y un aumento en la calidad, por las condiciones micro ambientales que los árboles proporcionan. Otros beneficios están relacionados con el aporte de materia orgánica al suelo por lo que a su vez contribuye a la fertilidad del mismo.

La mineralización de los residuos orgánicos en el cultivo de café es de suma importancia en el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, puesto que a través de este proceso se reciclan los nutrientes como Nitrógeno, Fósforo, Azufre etc. En este proceso influye el clima, la mineralogía de las arcillas y el estado de los nutrientes del suelo, la calidad de la biota edáfica y la calidad de los recursos en descomposición.

La tasa de descomposición de los residuos arbóreos está influenciada por muchos factores, entre ellos la composición química y la actividad de los microorganismos del suelo. Debido a que la descomposición es un proceso biológico, llevado a cabo por bacterias y hongos, su velocidad será afectada por la temperatura y la humedad del suelo. Generalmente la descomposición se incrementa conforme la temperatura aumenta y la humedad ejerce un efecto similar.

Este estudio fue desarrollado con el propósito de verificar la velocidad de descomposición de diferentes residuos provenientes de los árboles utilizados para sombra de café. Su determinación es de importancia para efecto de reciclar más eficientemente los nutrientes contenidos en tales residuos y de esta forma, contribuir a la nutrición del café con menor dependencia de los fertilizantes químicos.

El estudio fue desarrollado en cuatro localidades cafetaleras del Departamento de Santa Rosa, durante un periodo de ocho meses, iniciando en abril y finalizando en noviembre de 2008, como parte de los servicios del Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía, realizados en la Asociación Nacional del Café.

3.2 ANTECEDENTES

Diversos estudios de mineralización de los residuos han sido realizados en Costa Rica, Venezuela, Chile y otros países. Sin embargo, en nuestro país no se tienen antecedentes de este tipo de investigaciones.

En Costa Rica se llevo a cabo un experimento en el 2004 en donde se realizaron tres ensayos sobre la contribución del material foliar de siete especies de sombra y el café sobre la disponibilidad y dinámica del Nitrógeno. En el primero, se determinó la mineralización y liberación de Nitrógeno de las hojas verdes de *Erythrina poeppigiana* e *Inga edulis* y la hojarasca: *Cordia alliodora*, *Erythrina poeppigiana*, *Eucalyptus deglupta*, *Inga densiflora*, *Inga edulis*, *Terminalia amazonia*, *Terminalia ivorensis* y *Coffea arabica*. Se midieron los contenidos de amonio y nitrato de las hojas verdes y hojarasca mezcladas con el suelo durante una incubación de ocho semanas. Las tasas promedio de mineralización de Nitrógeno por semana fueron significativamente mayores en las hojas verdes de *Erythrina* e *Inga* (21.60 y 19.40 miligramos Nitrógeno por kilogramo de suelo) que el testigo (suelo solo), en la hojarasca fue mayor en las especies de *I. edulis* e *I. densifloram* (6.74 y 3.93 mg Nitrógeno por kilogramo de suelo) y menor en las especies maderables y el café. (7)

En el segundo ensayo, se determinó el efecto de la descomposición del material foliar, de las especies anteriores, en el crecimiento inicial de plantas de maíz. La producción de biomasa y la extracción de Nitrógeno por las plantas de maíz fueron mayores en hojas verdes de *E. poeppigiana*. La liberación de Nitrógeno fue mayor en las especies leguminosas que en las maderables. En el tercer ensayo, se evaluaron las tasas de descomposición y liberación de Nitrógeno y Carbono del material foliar y radicular de las especies *I. densiflora* y *C. arabica*. Después de 18 semanas, las pérdidas de peso y Nitrógeno siguieron un patrón exponencial. (7)

En el 2002 el Departamento de Ciencias Ecológicas y la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, Santiago (3), realizaron un estudio en donde el objetivo era evaluar el efecto de la fragmentación del bosque natural Maulino (Maule, provincia de Chile) en la producción y descomposición de hojarasca. La producción de hojarasca se evaluó como la biomasa acumulada mensualmente, la hojarasca se colectó en trampas recolectoras, ubicadas en el centro del bosque continuo y de los cuatro fragmentos estudiados, una vez al mes se removió la hojarasca de las

trampas. La hojarasca se secó a 80 grados centígrados hasta peso constante y la biomasa se expresó en gramos, en peso seco, por mes. Para conocer el aporte en biomasa de los distintos componentes de la hojarasca. La descomposición de hojarasca se evaluó como la pérdida de biomasa de hojarasca a través del tiempo, en relación al peso inicial. La biomasa de hojarasca acumulada en el horizonte superficial del suelo se evaluó mediante la extracción de toda la hojarasca en cuadrantes de 25 x 25 centímetros, en Octubre de 2000 y Enero de 2001. La hojarasca se secó a 80 grados centígrados hasta peso constante y la biomasa se expresó como masa, en peso seco. Fue observado que a una menor humedad del suelo en los fragmentos existe menor tasa de descomposición de hojarasca. (4)

En el Centro de Ecología del Instituto de Investigaciones Científicas, en Caracas Venezuela se realizó un estudio sobre la distribución de Nitrógeno en la fitomasa de un cultivo de *Coffea arabica* variedades bourbon y caturra utilizando Banano (*Musa sapientum*) como sombra, así como sus variaciones a lo largo de un año, ubicado sobre pendientes en Los Andes de Venezuela. En este estudio se observó que la caída de hojarasca presenta un máximo al final de la estación seca, ocasionando su acumulación en la superficie del suelo, la cual se descompone rápidamente haciendo que esa acumulación sea mínima a comienzos de la época lluviosa. Los resultados muestran que de los 415 kilogramos Nitrógeno por hectárea de la biomasa aérea, la mayor parte se encuentra en los cafetos (326 kilogramos Nitrógeno por hectárea), mientras el resto se encuentra en *M. sapientum* (71 kilogramos Nitrógeno por hectárea) y especies herbáceas (17 kilogramos Nitrógeno por hectárea) las cuales son arrancadas periódicamente durante el deshierbe. Anualmente se incorporan al suelo 118 kilogramos Nitrógeno por hectárea por caída de hojarasca y 20 kilogramos Nitrógeno por hectárea por deshierbe. (2)

En este estudio se determinó que el Nitrógeno devuelto al suelo a través de la hojarasca es ligeramente mayor que el exportado por la cosecha. El balance entre los requerimientos de Nitrógeno del sistema y el retornado al suelo por la hojarasca y el deshierbe presenta un déficit de 163 kilogramos Nitrógeno por hectárea, el cual es compensado con fertilizantes. Sin embargo, la aplicación de estos sería más eficiente si la fertilización se hiciera en épocas distintas al período de marzo a abril, momento de máxima descomposición de la hojarasca. (2)

3.3 MARCO TEÓRICO.

3.3.1 Marco conceptual

3.3.1.1 Descripción de las especies utilizadas como sombra en cultivo de café.

A. *Alchornea latifolia* Sw. (achoton)

Según Standley, PC; Steyermark, JA. 1946 (7) es de la familia *Euphorbiaceae* se encuentra en altitudes de 0 a 1,600 metros sobre el nivel del mar, pero preferentemente alrededor de los 400 a 800 metros sobre el nivel del mar. Especie de rápido crecimiento a menudo es abundante a lo largo de pendientes abruptas de arrancas y cañadas en claros de bosque, cafetales y a lo largo de caminos. Crece en suelos derivados de material calizo o ígneo y metamórfico, pero siempre en suelos con buen drenaje y buena capacidad de retención de humedad. Suelo: negro, resina con caliza, café-oscuro pedregoso, oscuro arcilloso.

Usos

En México se utiliza para recuperación de terrenos degradados. Esta planta se ha empleado para rehabilitar sitios donde hubo explotación minera. El árbol es usado como sombra para café. (7)

B. *Inga spp.*

En este género se agrupan diversas especies de la familia *Mimosaceae*, entre ellas las conocidas como cuje, guaba, cushin. En Guatemala se encuentra a 1500 metros sobre el nivel del mar o menos. Las diferentes especies son utilizadas como árbol de sombra en cafetales debido a la sombra que produce. Es de fácil propagación por semilla, rápido crecimiento, capacidad de fijar Nitrógeno, adaptabilidad a una amplia variedad de suelos, producción de mulch de lenta descomposición (control de malezas, liberación lenta de nutrientes y conservación de la humedad del suelo). Muchas especies del género *Inga* son conocidas como paternas, cushines, chalanes, cuajiniquiles y guabas. (3)

Usos

Posibilidad de ser combinada con otras especies del género para producir diversidad. La Madera empleada para leña, la pulpa blanca que rodea las semillas es comestible. Han sido utilizadas para prevenir la erosión y mantener la fertilidad de los suelos en las plantaciones de café de los países centroamericanos. (3)

C. *Eritrina spp.*

Es un árbol de tamaño de medio a grande, a menudo de 10 a 15 metros de altura y nativo de Centroamérica y de Suramérica. En Centroamérica se cultiva ampliamente como sombra para plantaciones de café y cacao y es un árbol popular como ornamental dice Rodríguez Escobedo (6). Se distribuye en el trópico húmedo de Centroamérica (Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras y Guatemala) y del Sur (Colombia, Venezuela, Perú, Bolivia y Brasil).

Usos

En regiones de Centroamérica tiene múltiples usos según Rodríguez Escobedo (6) la *eritrina spp.* Es utilizada como poste para sostener cercas con fines de delimitación de terrenos por su rápida adaptación al suelo. Estudios de reciclaje de nutrientes en café y cacao bajo sombra de esta especie han demostrado su valor en Costa Rica, Brasil y Venezuela, y es preferida frente a otras especies por lo rápido de su establecimiento y la gran producción de biomasa.

D. *Grevillea robusta*

Pertenece a la familia *Proteaceae*. Se encuentra clasificada en subfamilia y tribu hasta llegar al género *Grevillea*, especie *Grevillea robusta*. Es la especie más grande del género *Grevillea*. Nativa de las costas del Este de Australia. Es un árbol siempre verde de rápido crecimiento, de 18 a 35 metros de altura con hojas verde oscuras delicadamente dentadas bipinnadas reminiscentes de fronda de helecho. Tiene crecimiento rápido. (3)

Usos

La madera de este árbol es ampliamente usada en ebanistería externa de ventanas debido a su resistencia a la pudrición. Se utiliza como planta de interior en contenedor y como árbol de jardín aislado para destacarlo. Hay que tener en cuenta su gran desarrollo para evitar plantarlo cerca de edificaciones. En Guatemala es comúnmente utilizado como sombra de café por su hábito de rápido crecimiento. (3)

E. *Acrocarpus fraxinifolius* (mundani)

El cedro rosado es originario de la india donde se le conoce como árbol güijarra, fresno, lazcar, mundani, cedro rojo, cedro rosado y cedro tluxtleco. Es un árbol de porte grande que alcanza una altura de 30 metros y emite ramas muy extendidas que son divisiones del tronco principal. (3)

En México, el cedro rosado se cultiva con éxito desde el nivel del mar hasta los 2000 metros sobre el nivel del mar siempre que la humedad sea suficiente. El crecimiento del árbol es en general rápido observándose desarrollo vertical en algunos sitios de hasta 8.50 metros en los primeros 12 meses, con un crecimiento normal entre los 5 y 7 metros al año de establecido. (3)

Usos

Se cultiva en algunas regiones tropicales de México para obtener la madera, la cual se utiliza para fabricar muebles y para construcciones rurales. En la India se usa como pulpa para hacer papel. Bajo condiciones favorables de luz se ha usado esta especie como sombra para plantaciones de té y café ya que la presencia de esta especie enriquece las plantaciones. En Guatemala en algunas regiones es utilizada como sombra de café por su rápido crecimiento. (3)

F. *Eucaliptus torreliana*

Son árboles de la Familia Mirtaceae, perennes, de porte recto, la corteza exterior (ritidoma) es marrón clara con aspecto de piel y se desprende a tiras dejando manchas grises o parduscas sobre la corteza interior, más lisa. Las hojas jóvenes son sésiles, ovaladas y grisáceas, alargándose y tornándose coriáceas y de un color verde azulado brillante de adultas. Es un árbol que alcanza 30 metros de altura, buen tronco y copa densa. (3)

Usos

En las áreas cafetaleras es usado como sombra y para madera y en las áreas urbanas las administraciones municipales utilizan esta especie como ornamental (3)

G. Banano (*Musa sp.*)

Pertenece a la familia de las musáceas, las hojas sirven para estimar las etapas morfológicas y fonológicas del cultivo, se distinguen tres partes importantes; vainas, pecíolo y lámina. (3)

Usos

La planta de banano en Guatemala es utilizada para diferentes fines siendo uno de estos como sombra de café, por el tamaño de hojas y su capacidad de retención de humedad en época seca. En Guatemala es ampliamente utilizada de forma intensiva para la producción y comercialización del fruto, principalmente en el departamento de Izabal. (3)

3.3.1.2 Descripción de los agrosistemas

Fassbender (1993), define los agrosistemas como una serie de sistemas y tecnologías del uso de la tierra en las que se combinan árboles con cultivos agrícolas, en función del tiempo y espacio para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida. Por otro lado, lo define como una forma de cultivo múltiple en la que se cumplen tres condiciones fundamentales:

- 1) Existan al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente,
- 2) Uno de los componentes debe ser leñosa perenne.
- 3) Uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas

3.3.1.3 Árboles de Sombra en Sistemas forestales con Café

Según el Centro de ecología, Instituto de Investigaciones Científicas, VE (2). La presencia de árboles favorece los sistemas de producción en aspectos tales como el mantenimiento del reciclaje de nutrientes y el aumento en la diversidad de productos como leña, y oxígeno. La búsqueda de la sostenibilidad ecológica y de conservación de la fauna edáfica ambas basadas desde el punto de vista a largo plazo, hacen que los árboles sean atractivos. La demanda creciente por madera o árboles vivos por sus funciones ecológicas (fijación de Nitrógeno y Carbono) son elementos que alimentan el interés de plantar más árboles.

Los efectos benéficos de los árboles sobre la fertilidad de los suelos pueden influir tanto en una mejora en la estructura del suelo como aumentos en la disponibilidad de nutrimentos. Estos efectos de los árboles sobre los suelos son consecuencia de la materia orgánica obtenida por medio de afirma Di Stefano, JF (4).

- 1) La hojarasca y las podas
- 2) La descomposición de raíces.

Además, las especies arbóreas pueden influir sobre el pH, cationes, materia orgánica, contenido y disponibilidad de nitrógeno y fósforo del suelo.

En Centroamérica, la dominancia de áreas de café bajo sombra comparado con café a pleno sol puede ilustrar un ejemplo de un agrosistema combinado exitoso que puede ser sostenible a través del tiempo y a la vez generar ingresos y trabajo, por los múltiples productos como café, madera, frutos y energía (leña).

3.3.1.4 Efectos de la materia orgánica sobre las propiedades biológicas del suelo

El aporte de materia orgánica presume un aumento de alimentos y energía para los microorganismos y demás flora responsable de llevar adelante los ciclos bioquímicos en la naturaleza, bien por la mejora de las condiciones físico-químicas del suelo o bien por el aporte de microorganismos benéficos dice Bertsch, HF(1). La materia orgánica presenta efectos directos e indirectos sobre la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento vegetal. Para servir como fuente de Nitrógeno, Fósforo, y Azufre a través de su mineralización por los microorganismos del suelo, la materia orgánica influye en el aporte de nutrientes desde otras fuentes (1).

La Universidad Mayor de San Andrés La Paz, Instituto de Ecología, Herbario Nacional de Bolivia (10) afirma que los materiales vegetales como residuos de cultivos, hojarasca, residuos de podas incorporados al suelo, son determinantes para la actividad de los microorganismos, ya que constituyen una fuente importante de energía para su crecimiento. Estos importantes procesos ayudan a mantener el ciclo de nutrición de las plantas y para la conservación de la materia orgánica del suelo a largo plazo, a través de la producción de formadores de sustancias húmicas.

3.3.1.5 Fertilización orgánica

Se puede aplicar cantidades considerables de nutrientes en forma orgánica a través de los desechos de hojas y podas en los sistemas agroforestales. Las cantidades aplicadas pueden variar dependiendo del clima, tipo de suelo, especies de árbol, espacio y técnicas de manejo. El uso eficiente de los fertilizantes orgánicos requiere de un entendimiento de los controles de la liberación de nutrientes de estas fuentes según La Universidad Mayor de San Andrés La Paz, Instituto de Ecología, Herbario Nacional de Bolivia (10). (9)

3.3.1.6 Liberación y Mineralización de Nitrógeno a partir de materiales vegetales en descomposición

La Universidad Mayor de San Andrés La Paz, Instituto de Ecología, Herbario Nacional de Bolivia, (10) definen la descomposición de materiales vegetales puede como el proceso mediante el cual se degradan sus tejidos hasta los constituyentes elementales de las proteínas, carbohidratos, grasas y otros. La liberación de Nitrógeno es el término usualmente empleado para designar la pérdida de este elemento (en forma orgánica y/o mineral) a partir de materiales en descomposición. Mientras que la mineralización de Nitrógeno se refiere estrictamente al proceso de transformación de Nitrógeno orgánico en Nitrógeno mineral, proceso que es importante para el crecimiento de las plantas.

La descomposición de los tejidos vegetales y la liberación y mineralización de Nitrógeno Suárez, J; Carrillo, A (8) afirman que frecuentemente muestran una fase inicial rápida, las cuales son degradados por los microorganismos que componen la biomasa del suelo, obteniéndose productos secundarios (constituyentes de la pared celular, como celulosa y hemicelulosa). Esta nueva biomasa y sus productos metabólicos son, a su vez, sustratos para la segunda fase, que es mucho más lenta, regulada principalmente por el contenido de lignina. La relación Carbono y Nitrógeno y la relación lignina y celulosa de los residuos vegetales tiene mucha influencia en la velocidad de descomposición del material vegetal, a su vez la etapa rápida de descomposición se cumple dentro de los tres primeros meses. A partir de los tres meses de instalado el compostaje comienza la segunda fase de descomposición que es mucho más lenta. Este efecto puede explicarse por la diferente composición química del material vegetal que tiene mayor influencia que la climatología del sitio, por lo menos en la descomposición a corto plazo.

3.3.1.7 Factores que afectan los procesos de descomposición, liberación y mineralización de Nitrógeno.

La descomposición de los materiales vegetales y mineralización de Nitrógeno son procesos regulados por la descomposición química de los tejidos, las condiciones ambientales, las características edáficas y la fauna y los microorganismos del suelo según la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias Ecológicas (9).

A. Humedad

Di Stefano, JF (4) afirma que la humedad es un factor que influye en la población microbiana es la humedad, que es importante en el crecimiento de los microorganismos y en la velocidad de la descomposición ya que el nivel óptimo de humedad para los organismos descomponedores que se hallan en el suelo es de 60 a 70 por ciento, sin embargo este nivel puede variar dependiendo de la temperatura.

B. Organismos descomponedores

La descomposición efectuada por organismos esta caracterizada por una compleja comunidad de biota incluyendo la microflora y la fauna del suelo. Los hongos y las bacterias son fundamentalmente los responsables para que se efectúen los procesos bioquímicos en la descomposición de residuos orgánicos (9). La fauna del suelo aumenta la biodegradación y humidificación de residuos orgánicos:

1. Pulverizando los residuos orgánicos y aumentando el área superficial para la actividad microbiana.
2. Produciendo enzimas que transforman biomoléculas complejas en compuestos simples y polimerizan los compuestos para formar el humus.
3. Mejorando el ambiente para el crecimiento y las interacciones microbianas, por ejemplo, las larvas aumentan la descomposición de residuos orgánicos.
4. Incorporando la materia orgánica en el suelo.

C. Calidad del material vegetal

Las tasas de descomposición y liberación de nutrientes son determinadas por la calidad de la materia orgánica. Según Suárez, J (8) la calidad del material vegetal es definida por los contenidos de nutrientes. Actualmente, se le esta dando una mayor importancia al estudio del aporte de minerales a través de la descomposición de materia orgánica que ofrecen los árboles de especies leguminosas y no leguminosas en los sistemas agroforestales. Los árboles son capaces de mantener o aumentar la fertilidad de los suelos a través del reciclaje de nutrientes, mantenimiento

de la materia orgánica del suelo por medio de la producción y descomposición de hojarasca y de los residuos de podas. La descomposición de residuos vegetales sobre la superficie del suelo es de particular importancia para los procesos de transformación de la materia orgánica y las relaciones tróficas del suelo, las que dependen de las condiciones del suelo, pH, humedad y temperatura y el manejo brindado al suelo.

D. Condiciones ambientales

El proceso de la mineralización es afectado principalmente por factores tales como: pH, temperatura y humedad. La temperatura y la precipitación modifican la naturaleza y la rapidez de la descomposición del material vegetal, si se presenta un cambio en la temperatura, este puede alterar la composición de la flora activa y afectar los procesos de descomposición y liberación de nutrientes. Bertsch 1995 (9), menciona que las tasas de descomposición y de liberación de Nitrógeno son más altas bajo condiciones de alta precipitación, muy probablemente debido a la remoción de compuestos solubles de Carbono. El pH del suelo puede regular las tasas de descomposición debido al efecto directo sobre los organismos que en él habitan, de tal forma que la descomposición y la mineralización del Nitrógeno resulta más alta en suelos neutros que en suelos ácidos.

3.4 MARCO REFERENCIAL

El proyecto de Servicios del Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía se llevó a cabo en cuatro localidades de los municipios de la zona cafetalera del Departamento de Santa Rosa, específicamente en cuatro fincas, las cuales se ubican según De la Cruz () en la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical (templado) y se encuentra en el mapa de zonas de vida con el símbolo (bh-s) (t). En donde las condiciones climáticas son de lluvias muy frecuentes principalmente en Mayo a Noviembre y la topografía del terreno es de relieve ondulado a accidentado y escarpado. Las fincas se localizan en:

1. Finca “El Chagüite” se encuentra en la aldea Ixpaco del municipio de Pueblo Nuevo Viñas del departamento de Santa Rosa. Esta aldea se encuentra a 88 kilómetros por Cuilapa y a 70 kilómetros por Pueblo Nuevo Viña, su acceso es por una carretera de aproximadamente tres kilómetros de terracería, y a 25 kilómetros por la entrada a Chiquimulilla, según datos del Instituto Geográfico Nacional, la finca se localiza 14 grados, 11.589 minutos al Norte y 90 grados 613 minutos al Oeste
2. Finca “El Zapote” se encuentra en el caserío San Juan de Arana a una distancia de 57 kilómetros de la Ciudad de Guatemala entrando por el municipio de Barberena con Latitud 14 grados 18.794 minutos al Norte y 90 grados 19.016 minutos Longitud Oeste, a una altura de 1044 metros sobre el nivel del mar.
3. Finca “El Recreo” se localiza en el municipio de Santa Rosa de Lima a una distancia de 74 Kilómetros de la Ciudad Capital con Latitud Norte de 14 grados, 26.229 minutos y Longitud Oeste 90 grados y 17. 690 minutos y con una altitud de 1028 metros sobre el nivel del mar.
4. La finca “Las Flores” se localiza en el municipio de Barberena en la región central del Departamento de Santa Rosa sobre la carretera Interamericana CA 1, a 54 kilómetros de distancia de la Ciudad Capital. Las coordenadas geográficas los sitúan en una Latitud Norte 14 grados, 18 minutos y una Longitud Oeste de 90 grados, 21 minutos y con 1189 metros sobre el nivel del mar.

3.5 OBJETIVO GENERAL

Comparar el tiempo de descomposición del material foliar de las especies utilizadas como sombra para café, banano (*Musa sapientum*), gravilea (*Grevillea robusta A.Cunn*), cuje (*Inga spp.*), cushin (*Inga spp.*) torreliana (*Eucalyptus torreliana*), Palo de pito (*Erithryna spp.*) y Achatón (*Alchornea latifolia*), en cuatro localidades de los municipios de la zona cafetalera del Departamento de Santa Rosa.

3.5.1 Objetivos Específicos

- a) Determinar el aporte de Nitrógeno para el cultivo de café a partir de la descomposición de residuos de las especies banano (*Musa sapientum*), gravilea (*Grevillea robusta A.Cunn*), cuje (*Inga spp.*), cushin (*Inga spp.*) torreliana (*Eucalyptus torreliana*), Palo de pito (*Erithryna spp.*) y Achatón (*Alchornea latifolia*).
- b) Determinar el tiempo medio de descomposición de los residuos en el suelo de las especies mencionadas.

3.6 METODOLOGÍA

Para el estudio de descomposición de hojarasca, proveniente de arboles para sombra de café se utilizó un sistema abierto conocido como bolsas de descomposición, en donde se estableció el material vegetativo presente en cada finca durante la época lluviosa del 2008.

3.6.1 Material vegetativo.

En el estudio se realizó la colecta del material vegetativo de las especies de sombra en el agrosistema de café (*Coffea arabica*), en cada una de las fincas donde se establecieron los ensayos. En la finca “El Recreo”, se colectaron residuos de banano (*Musa sapientum*), gravillea (*Grevillea robusta A.Cunn.*) y cuje (*Inga vera*). En la finca Las Flores, se colectó material vegetativo de cushin, guaba, banano, gravillea y eritrina. En la Finca El Zapote, se colectó material vegetativo de cuje, mundani y banano y en la Finca El Chaguite, del Departamento de Santa Rosa se colectó material vegetativo de Cuje, Achatón y Torreliana. En las cuatro fincas se realizaron ensayos similares, estableciendo las especies colectadas en cada finca.

3.6.2 Selección de parcelas

Las parcelas se establecieron en áreas en donde la presencia del material vegetativo colectado es abundante y accesible para colectar posteriormente las bolsas de descomposición. En cada finca, se delimitaron 4 parcelas de 10 X 15 metros cuyos límites se marcaron con atomizador de mano (4 repeticiones).

3.6.3 Bolsas de descomposición

Las bolsas de descomposición, consiste en una pequeña bolsa elaborada con tela plástica con malla de 2 milímetros. La malla plástica verde o negra, se cortó con tijera en fragmentos de 20 centímetros de ancho y 40 centímetros de largo para unir las orillas con grapas de aluminio utilizando una engrapadora. La bolsa queda con dimensiones de 20 x 20 centímetros.

3.6.4 Manejo del material en descomposición

3.6.4.1 Secado y pesado del material vegetativo (muestras).

El material vegetativo colectado en el campo fue deshidratado en horno a una temperatura de 65 grados Celsius por un espacio de cuatro días hasta que presentaran peso uniforme. Cada residuo colectado en campo se introdujo en la bolsa de descomposición no sin antes medir 20 gramos de masa en una balanza portátil con capacidad de 500 gramos. Dichas bolsas se colocaron en una caja de cartón de un metro de ancho por un metro de largo aproximadamente, con el objetivo de evitar que se extrajera parte de la hojarasca por motivos de transporte o manejo.

3.6.4.2 Colocación de las bolsas de descomposición.

En cada parcela se colocaron de 10 a 12 bolsas de descomposición conteniendo 20 gramos de material vegetativo. La colocación de las bolsas fue cercana al área de influencia de cada árbol de sombra, según fuera el caso, en contacto con el suelo y quedando cubierta por un centímetro de grosor de hojarasca aproximadamente.

3.6.4.3 Recolección de bolsas de descomposición

Quince días después de colocadas las bolsas en las parcelas se colectaron al azar, cuatro bolsas de cada residuo (una en cada parcela). Los muestreos se realizaron con intervalo de 15 días hasta que la mayor parte del material vegetativo hubiera sido descompuesto. En el mismo momento de la colecta en el campo se transportaron al laboratorio de análisis de suelos de ANACAFE, en bolsas de papel tratando de evitar su deshidratación y así, evitar pérdida de peso. Luego se colocaron al horno a una temperatura de 65 grados hasta que la pérdida de peso fuera constante. Por razones de manejo, las muestras se colocaron en bolsas de papel teniendo cuidado de no perder material al vaciarlo de la bolsa.

3.6.4.4 Pesado y secado del contenido en las bolsas de descomposición.

Las bolsas colectadas en las parcelas fueron transportadas cuidadosamente al laboratorio de análisis de suelos y plantas de ANACAFE, en donde la humedad que contenía por su presencia en el campo, se eliminó colocándolas en horno a 65 grados Celsius y posteriormente pesadas en balanza semianalítica para determinar el material remanente de cada bolsa de descomposición y molidas en molino con malla de 0.25 milímetros, para su posterior análisis foliar.

3.6.4.5 Análisis químico del material vegetativo del contenido en las bolsas de descomposición

Después de secado y pesado el contenido de cada una de las bolsas de descomposición fue analizado en el laboratorio de análisis de suelos de ANACAFE, a efecto de determinar su contenido de nutrientes.

3.6.5 Contenido de humedad del suelo.

En el mismo momento que se colectaron las bolsas de descomposición se realizó un muestreo del contenido de humedad del suelo para determinar el porcentaje de humedad a 20 y a 40 centímetros de profundidad, con el objetivo de conocer las condiciones que hídricas del suelo en que se encontraba el material en descomposición.

3.6.6 Análisis de datos

Para la información obtenida (peso seco y contenido de nutrientes) se procedió a realizar descripciones con estadística descriptiva (promedio, desviación estándar y coeficiente de variación).

Para los datos de descomposición se utilizó un modelo estadístico de regresión que mejor representara el comportamiento de la descomposición de los residuos. El tiempo medio de descomposición de los residuos fue determinado utilizando el modelo exponencial.

3.7 RESULTADOS

3.7.1 Condiciones climáticas que predominaron en las regiones durante el ensayo experimental.

Las condiciones climáticas que predominaron en las regiones en donde se estableció el ensayo de mineralización se presentan en la figura 33.

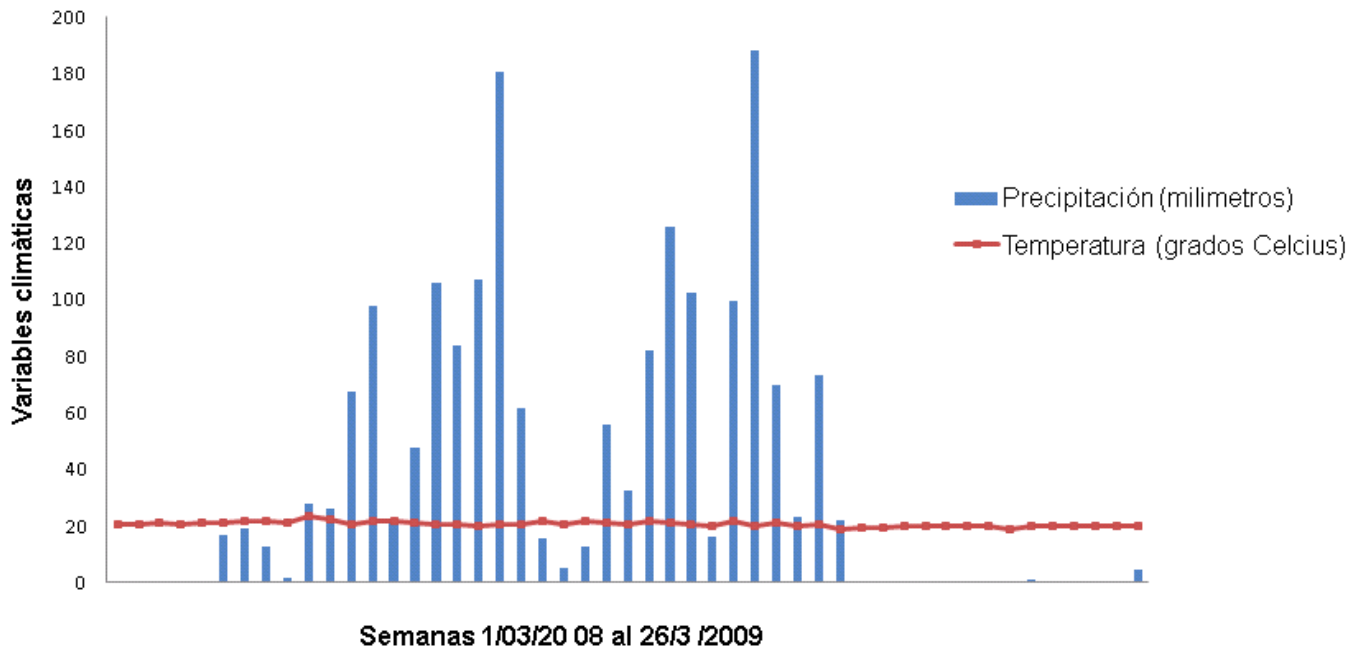


Figura 33 Condiciones climáticas presentes durante el tiempo de que tardó el ensayo.

En la figura 33 se presentan las condiciones climáticas como temperatura y precipitación pluvial que predominaron durante la exposición de las bolsas de descomposición con el material vegetativo colectado.

3.7.2 Descomposición del material vegetativo proveniente de especies de sombra para café en Finca El Recreo, Santa Rosa de Lima.

3.7.2.1 Descomposición del material vegetativo seco.

En el cuadro 31 se presentan los resultados del peso seco y porcentaje de material remanente en cada colecta, del material vegetativo colocado en las bolsas de descomposición, (promedio de 4 repeticiones) en la finca El Recreo.

Cuadro 31. Peso seco del material vegetativo y porcentaje de material remanente en las bolsas de descomposición de tres especies utilizadas para sombra de café en Finca El Recreo. 2008.

Colectas		Cuje		Gravilea		Banano	
Fecha	Días	Peso seco		Peso seco		Peso seco	
		g	Porcentaj e	g	Porcentaj e	g	%
09/04/2008	0	20.0	100.0	20.0	100.0	20.0	100.0
07/05/2008	28	18.4	92.0	19.0	95.1	16.9	84.6
28/05/2008	49	17.9	89.6	18.2	91.1	15.3	76.5
19/06/2008	71	16.3	81.6	18.0	89.8	10.1	50.3
08/07/2008	90	15.3	76.5	15.8	79.1	9.4	47.1
22/07/2008	104	13.7	68.6	14.8	74.0	6.1	30.6
05/08/2008	118	14.3	71.6	15.1	75.6	6.8	34.1
26/08/2008	139	13.0	64.8	15.2	76.1	5.7	28.6
17/09/2008	161	11.9	59.6	14.0	70.0	5.2	25.8

Material Remanente = Material vegetativo que se encuentra en la bolsa de descomposición al momento de la colecta después de un determinado tiempo en el campo.

En el cuadro 31 se observa que en el período en que se llevó a cabo el experimento (161 días) el material vegetativo de banano se descompuso el 74.2 por ciento, quedando en la bolsa de descomposición de la última colecta apenas el 25.8 por ciento de lo colocado inicialmente. El material vegetativo que presentó mayor resistencia a la descomposición fue el de gravilea pues en la última colecta se recuperó el 70 por ciento, indicando que únicamente el 30 por ciento fue descompuesto. El material de cuje fue intermedio entre los materiales, llegando a descomponerse el 40.4 por ciento de lo colocado inicialmente en las bolsas de descomposición.

En la parcela donde se colocaron las bolsas con material vegetativo de cuje, se observó mayor acumulación de materia orgánica en la superficie del suelo. El cultivo de café se mostraba con mayor vigorosidad, aunque algunos cafetos presentaban síntomas de enfermedades y deficiencias de nutrientes.

En la parcela donde se colocaron las bolsas con material vegetativo de banano (*musa sapientun*), se observó que en el entorno en donde estaba establecida la macolla había mayor conservación de humedad y por lo tanto las matas de café que se localizaban en dicho lugar presentaban mejor apariencia que las demás.

En la parcela donde se colocaron las bolsas con material vegetativo de gravilea, la humedad en tiempo de lluvia presentó un ascenso acelerado, con condiciones de suelo con excesivo material arcilloso y por ende con característica de anegamiento lo que dificulta el manejo.

En la figura 34, se observa la línea roja, la cual indica el tiempo de vida media de los residuos (tiempo en el cual el 50 por ciento de los residuos son materiales. Este resultado puede observarse gráficamente por el tiempo en el cual el 50 por ciento del material vegetativo es el descompuesto. 50 por ciento de la materia seca descompuesta del banano (*Musa sapientum*) se obtuvo a los 71 días de haber establecido el ensayo.

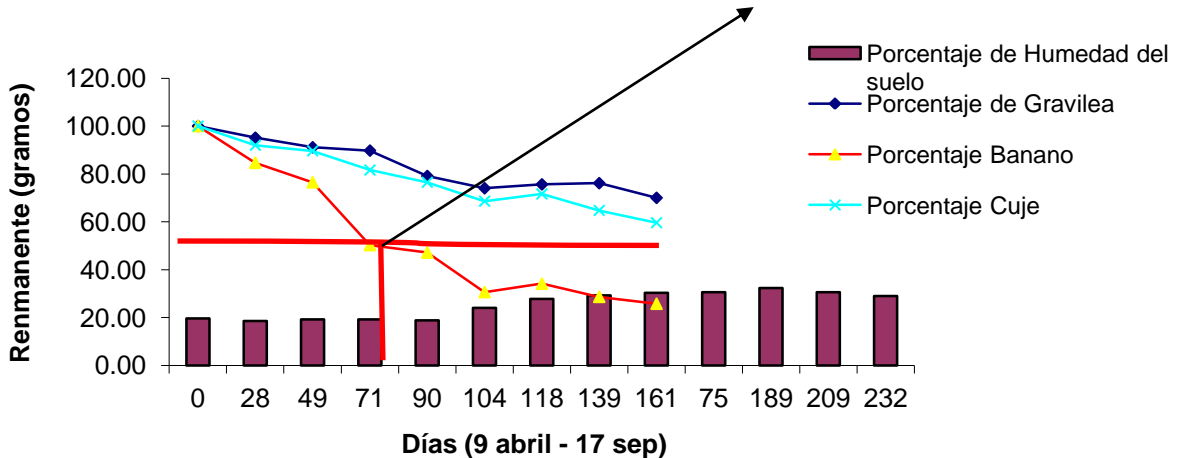


Figura 34 Porcentaje del material vegetativo remanente en relación al tiempo en días, en Santa Rosa de Lima.

En el cuadro 32 se presentan los resultados del análisis químico foliar inicial. En base a estos resultados se estimó la cantidad potencial de Nitrógeno de los materiales vegetativos. En el cuadro 32 se presentan los resultados del aporte de Nitrógeno para el cultivo de café, con la descomposición de los residuos contenidos en las bolsas.

Cuadro 32. Nitrógeno (mg) residual y liberado del material contenido en las bolsas de descomposición, en el experimento de Finca El Recreo, 2008.

		Cuje		Gravilea		Banano	
Colectas		Nitrógeno (miligramos)					
Fecha	Días	Residual	Liberado	Residual	Liberado	Residual	Liberado
09/04/2008	0	676.0	0.0	390.0	0.0	460.0	0.0
07/05/2008	28	621.9	54.1	371.0	19.0	389.3	70.7
28/05/2008	49	605.9	70.1	355.4	34.6	351.9	108.1
19/06/2008	71	551.8	124.2	350.0	40.0	231.2	228.9
08/07/2008	90	517.1	158.9	308.6	81.4	216.8	243.2
22/07/2008	104	463.9	212.1	288.6	101.4	140.9	319.1
05/08/2008	118	484.2	191.8	294.9	95.1	157.0	303.0
26/08/2008	139	437.7	238.3	296.9	93.1	131.7	328.3
17/09/2008	161	403.1	272.9	273.0	117.0	118.5	341.6

3.7.3 Descomposición de los residuos en finca El Zapote, Cuilapa Santa Rosa

En este caso los residuos de los tres árboles de sombra de café fueron establecidos en la misma parcela, por lo tanto las condiciones son similares entre especies.

3.7.3.1 Porcentaje de descomposición de materia seca

En el cuadro 33 se presentan los resultados del peso seco y porcentaje de material remanente de cada material colocado en las bolsas de descomposición, en las colectas efectuadas (promedio de 4 repeticiones) en la finca El Zapote.

Como es característico en los procesos de descomposición, se observa una fuerte pérdida de peso durante las primeras semanas de ser establecido el ensayo, seguido por un periodo de muy lenta descomposición. Se presentó una variabilidad relativamente alta entre las repeticiones, la cual tendió a aumentar con el tiempo.

Se determinó el peso seco de las muestras de las hojas a través del tiempo, parte de este peso pudo ser el resultado de la “contaminación” por suelo facilitado por la apertura de la malla utilizada, aunque siempre se trató de eliminar el máximo de este.

Cuadro 33. Peso seco del material vegetativo y porcentaje de material remanente en las bolsas de descomposición de tres especies utilizadas para sombra de café en la Finca El Zapote. 2008.

Colectas	Fecha	Días	Cuje		Mundani		Banano	
			Peso seco		Peso seco		Peso seco	
			Gramos	Porcentaje	gramos	Porcentaje	gramos	Porcentaje
	13/03/2008	0	25.0	100.0	25.0	100.0	25.0	100.0
	15/04/2008	31	23.8	95.3	23.3	93.0	22.7	90.6
	07/05/2008	51	23.7	94.9	22.2	88.9	21.9	87.6
	28/05/2008	72	21.3	85.0	20.1	80.2	17.2	68.6
	19/06/2008	94	20.6	82.2	18.4	73.6	14.9	59.4
	08/07/2008	114	18.2	72.9	14.5	58.1	8.2	32.6
	22/07/2008	128	17.1	68.2	13.2	52.9	5.0	20.1
	05/08/2008	142	17.2	68.6	10.2	40.6	4.3	17.2
	26/08/2008	156	16.0	63.9			3.4	13.5

Como se observa en la figura 35, el 50 por ciento de la materia seca contenida en la bolsa de descomposición se desmineralizó a los 109 días en el banano (*Musa sapientun*), seguido por el mundani con un periodo de tiempo de 142 días, con el cuje (*Inga spp.*) no se pudo determinar el tiempo de descomposición pues no se llego a mineralizar el 50 por ciento del contenido en la bolsa de descomposición.

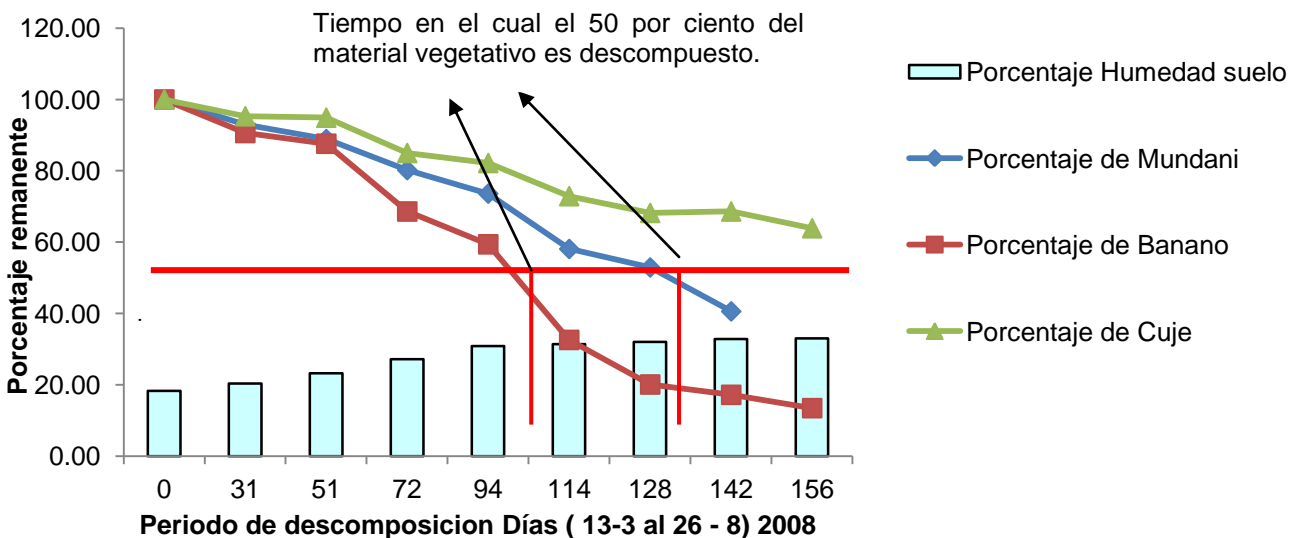


Figura 35 Porcentaje de residuo remanente con relación al tiempo en días en Cuilapa Santa Rosa.

En el cuadro 34 se presentan los resultados del aporte de Nitrógeno para el cultivo de café, con la descomposición de los residuos contenidos en las bolsas bajo las condiciones de la finca el Zapote.

Cuadro 34. Nitrógeno (mg) residual y liberado del material contenido en las bolsas de descomposición, en el experimento de Finca El Zapote, 2008.

Colectas		Cuje		Mundani		Banano	
		Nitrógeno, miligramos					
Fecha	Días	Residual	Liberado	Residual	Liberado	Residual	Liberado
09/04/2008	0	845.0	0.0	700.0	0.0	575.0	0.0
07/05/2008	28	805.3	39.7	651.0	49.0	521.0	54.0
28/05/2008	49	801.9	43.1	622.3	77.7	503.7	71.3
19/06/2008	71	718.3	126.8	561.4	138.6	394.5	180.6
08/07/2008	90	694.6	150.4	515.2	184.8	341.6	233.5
22/07/2008	104	616.0	229.0	406.7	293.3	187.5	387.6
05/08/2008	118	576.3	268.7	370.3	329.7	115.6	459.4
26/08/2008	139	579.7	265.3	284.2	415.8	98.9	476.1
17/09/2008	161	540.0	305.0			77.4	497.6

El cuadro 34 se observa la capacidad de liberación del Nitrógeno del banano en comparación con el mundani y el cuje, en donde se observa que el banano libero 497 miligramos de Nitrógeno durante los 161 días mientras que el mundani liberó 415 miligramos de Nitrógeno y por último el cuje que solamente liberó 305 miligramos de Nitrógeno.

3.7.4 Descomposición de los residuos en Finca El Chagüite, Pueblo Nuevo Viñas Santa Rosa

3.7.4.1 Porcentaje de descomposición de materia seca

En el cuadro 35 se presentan los resultados del peso seco del material vegetativo y porcentaje de material remanente en las bolsas de descomposición de las especies de sombra de la finca El Chagüite.

El achoton (*Alchornia latifolia*), cuje (*Inga spp.*) y torreleana (*Eucaliptos torreleana*) según el cuadro 35 presentaron diferencias en el tiempo de descomposición requiriendo menor tiempo para su descomposición el achoton, (*Alchornia latifolia*).

Cuadro 35. Peso seco del material vegetativo y porcentaje de material remanente en las bolsas de descomposición de tres especies utilizadas para sombra de café en Finca El Chagüite. 2008.

Colectas		Cuje		Torreliana		Achoton	
Fecha	Días	Peso seco		Peso seco		Peso seco	
		gramos	Porcentaje	gramos	Porcentaje	Gramos	Porcentaje
2/04/2008	0	20.0	100.0	20.0	100.0	20.0	100.0
24/04/2008	21	18.2	91.1	17.1	85.5	19.0	95.0
15/05/2008	42	16.9	84.4	15.2	75.9	16.9	84.5
29/05/2008	56	17.0	85.0	12.5	62.5	13.8	69.0
12/06/2008	71	15.8	79.0	11.6	58.0	8.9	44.5
26/06/2008	85	14.7	73.5	10.9	54.5	7.6	38.0
10/07/2008	99	14.2	71.0	8.2	41.0	5.1	25.5
24/07/2008	113	13.0	65.0	4.9	24.5	5.2	26.0
07/08/2008	127	12.5	62.5	5.5	27.5	5.5	27.5
04/09/2008	155	12.9	64.5	4.4	22.0	3.8	19.0
23/09/2008	175	11.1	55.5	3.8	19.0	3.0	15.0

En esta región se observó según la figura 36 un cambio brusco en cuanto al tiempo de descomposición del residuo contenido en las bolsas de descomposición, se aprecia en la figura 36 que para desmineralizar el 50 por ciento del material vegetativo del achoton (*Alchornia latifolia*) transcurrieron 60 días, seguido por la torreleana (*Eucaliptos torreleana*) con un tiempo de descomposición de 100 días aproximadamente, el cuje (*Inga spp.*) no se determinó la vida media de su descomposición pues durante el tiempo de duración del ensayo no se llegó a descomponer el 50 por ciento de la materia seca de este material vegetativo.

En cuanto al monitoreo de la humedad en el suelo se determinó que en los primeros muestreos descendió, empezando con un 25 por ciento de humedad de forma general esto se observa conforme se va avanzando en el tiempo y la cantidad de muestreos se van determinando que la curva tienen un ritmo ascendente hasta llegar al último muestreo que se realizó el 4 de septiembre cuando la época lluviosa estaba finalizando.

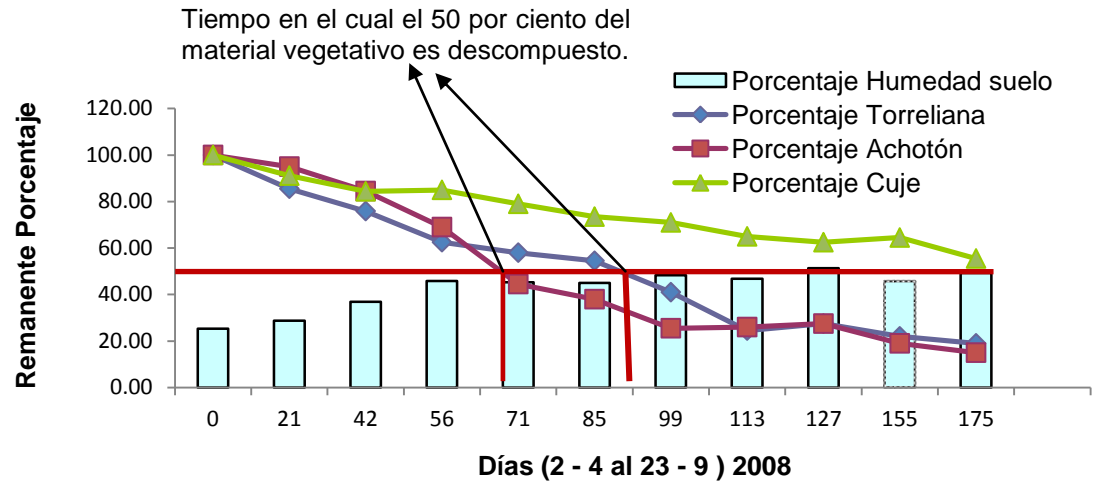


Figura 36 Porcentaje de residuo remanente en relación con el tiempo en días en Pueblo Nuevo Viña Santa Rosa.

En el cuadro 36 se observa la cantidad de Nitrógeno presente al momento de haber sido colocadas las bolsas de descomposición, en donde se aprecia una alta concentración de Nitrógeno es originado por la *Alchornea latifolia Sw*, (el achoton), seguido por el material de la *Inga spp*, (cuje) y en el que menos hubo presencia de Nitrógeno según análisis de laboratorio fue el material vegetativo de *Eucalipthus torrelia*, (torrelia). Al final del ensayo se determinó según el cuadro 36 que el material que liberó mayor cantidad de Nitrógeno (578 miligramos) es la *Alchornea latifolia Sw*, (achoton) representando un 85 por ciento y el que menos liberó fue la *Inga spp*, el cuje con un 44 por ciento del Nitrógeno presente en la hoja en relación al Nitrógeno presente al inicio del ensayo.

Cuadro 36. Nitrógeno (mg) residual y liberado del material contenido en las bolsas de descomposición, en el experimento de Finca El Chagüite, 2008.

Colectas		Cuje		Torrelia		Achoton	
Fecha	Días	Nitrógeno, mg				Residual	Liberado
		Residual	Liberado	Residual	Liberado	Residual	Liberado
2/04/2008	0	676.0	0.0	480.0	0.0	680.0	0.0
24/04/2008	21	616.0	60.0	410.4	69.6	646.0	34.0
15/05/2008	42	570.4	105.6	364.2	115.8	574.6	105.4
29/05/2008	56	574.6	101.4	300.0	180.0	469.2	210.8
12/06/2008	71	534.0	142.0	278.4	201.6	302.6	377.4
26/06/2008	85	496.9	179.1	261.6	218.4	258.4	421.6
10/07/2008	99	480.0	196.0	196.8	283.2	173.4	506.6
24/07/2008	113	439.4	236.6	117.6	362.4	176.8	503.2
07/08/2008	127	422.5	253.5	132.0	348.0	187.0	493.0
04/09/2008	155	436.0	240.0	105.6	374.4	129.2	550.8
23/09/2008	175	375.2	300.8	91.2	388.8	102.0	578.0

3.7.5 Descomposición de los residuos en Finca Las Flores, Barberena, Santa Rosa

3.7.5.1 Porcentaje de descomposición de materia seca

En el cuadro 37 se presenta el peso seco así como el porcentaje del material remanente en las bolsas de descomposición de las tres especies utilizadas en la finca Las Flores.

Cuadro 37. Peso seco del material vegetativo y porcentaje de material remanente en las bolsas de descomposición de tres especies utilizadas para sombra de café en Finca Las Flores. 2008.

Colectas		Gravilea		Guaba		Banano		Eritrina		Cushin	
Fecha	Días	Gramos	Porcentaje	Gramos	Porcentaje	Gramos	Porcentaje	Gramos	Porcentaje	Gramos	Porcentaje
13/08/08	0	18.60	100.0	18.67	100.0	18.73	100.0	18.70	100	19.03	100
27/08/08	14	16.60	89.2	17.23	92.3	15.60	83.3	15.00	80.2	14.07	73.9
11/09/08	28	15.67	84.2	16.93	90.7	13.23	70.7	12.97	69.3	13.43	70.6
30/09/08	47	16.30	87.6	15.97	85.5	10.73	57.3	12.97	69.3	12.40	65.2
23/10/08	70	14.77	79.4	15.10	80.9	10.10	53.9	12.17	65.1	11.87	62.4
05/11/08	83	14.30	76.9	14.17	75.9	9.40	50.2	11.23	60.1	10.90	57.3
18/11/09	96	13.63	73.3	13.70	73.4	7.10	37.9	10.57	56.5	9.57	50.3
04/12/09	112	13.33	71.7	13.07	70.0	6.57	35.1	6.67	35.7	9.20	48.3
19/12/09	127	13.43	72.2	12.67	67.8	6.53	34.9	6.90	36.9	9.50	49.9
26/01/09	165	12.4	66.7	12.4	66.4	6.6	35.2	5.9	31.6	9.2	48.3

El periodo en que se llevo a cabo el ensayo en la finca las flores fue de 165 días, significando que al inicio del ensayo fue en plena época lluviosa por lo que la presencia de masa residual en los muestreos se fue comportando de una forma descendente lo que significa que mientras avanza el ensayo la humedad en el suelo disminuye y por lo tanto la cantidad de residuo encontrado en los muestreo descenderá muy lentamente. El porcentaje de material vegetativo remanente en las bolsas de descomposición a los 83 días, que es el 50 por ciento de lo que tardo el ensayo era para *Grevillea robusta*, gravilea 79 por ciento, para *Inga spp*, (guaba) 81 por ciento, para (*Musa sapientun*), banano el 53.9 por ciento, para *Eritrina spp* 65.1 por ciento y para *Inga spp*, cuje fue de un 62 por ciento.

En la figura 37 se observa la tendencia de las diferentes curvas, de las cuales la curva que representa la descomposición del material vegetativo *Musa sapientun*, (banano), esta muestra una descomposición acelerada en comparación con la (*Grevillea robusta*) gravilea, que es el material vegetativo que menos dio señas de descomposición.

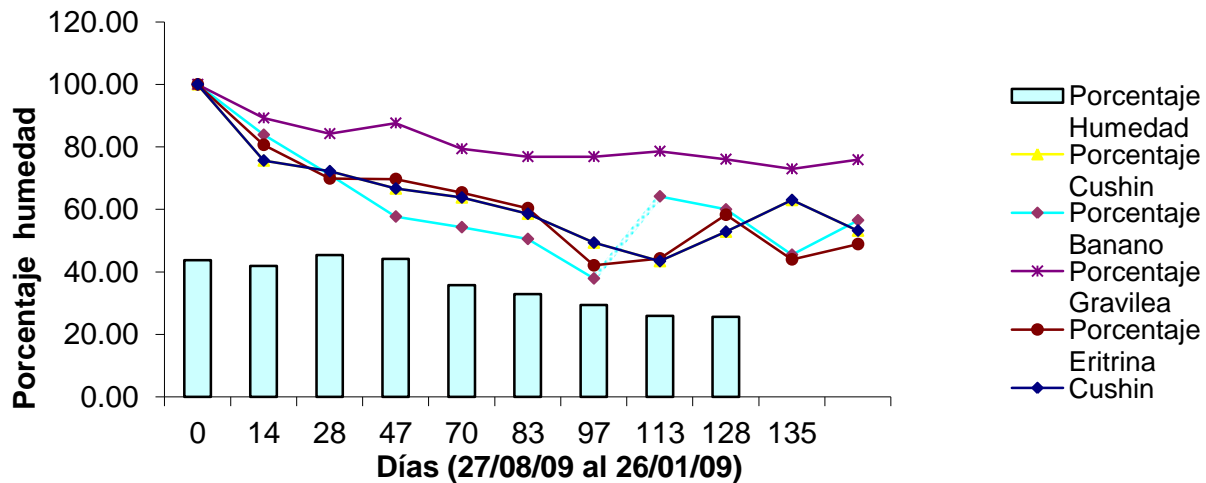


Figura 37 Porcentaje de residuo remanente en relación al tiempo en días en la finca Las Flores, Barberena Santa Rosa.

En el cuadro 38 se presentan los resultados del análisis químico que se obtuvieron en los cinco materiales vegetativos al inicio del experimento, por lo que el Nitrógeno conforme avanzaba el experimento se perdía.

Cuadro 38. Nitrógeno (miligramos) residual y liberado del material contenido en las bolsas de descomposición, en el experimento de Finca Las Flores, 2008.

Colectas		Nitrógeno, miligramos									
Fecha	Días	Gravilea		Guaba		Banano		Eritrina		Cushin	
		R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
13/08/08	0	361	0	620	0	506	0	673	0	664	0
27/08/08	14	322	39	572	48	421	85	540	133	491	173
11/09/08	28	304	57	562	58	357	149	467	206	469	195
30/09/08	47	316	45	530	90	290	216	467	206	433	231
23/10/08	70	286	75	501	119	273	233	438	235	414	250
05/11/08	83	277	84	470	150	254	252	404	269	380	284
18/11/09	96	264	97	455	165	192	314	380	293	334	330
04/12/09	112	259	102	434	186	177	329	240	433	321	343
19/12/09	127	261	100	421	199	176	330	248	425	332	332
26/01/09	165	241	120	412	208	178	328	212	461	321	343

R = Nitrógeno remanente en los residuos vegetales

L = Nitrógeno liberado de los residuos vegetales

Basándose en los resultados que presenta el cuadro 38 se asume que todo el Nitrógeno liberado es el Nitrógeno disponible para las plantas. Se observa con respecto a las tasas de liberación de Nitrógeno que la *Eritrina spp* fue la que liberó más Nitrógeno con 461 miligramos, seguido por el

Inga spp, cushin con 343 miligramos de Nitrógeno, seguido por (*Musa sapientun*) banano con 328 miligramos, posteriormente 208 miligramos que presento la *Inga spp* guaba y de último que era el material más fibroso *Grevillea robusta* (gravilea) liberó 120 miligramos de Nitrógeno con base a el peso seco.

3.8 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.8.1 Pérdidas de peso

Observando los patrones de pérdida de peso presentado por las especies utilizadas para sombra de café durante el período de evaluación, se puede decir que este proceso fue más intensivo en las primeras semanas de descomposición, en las especies de arboles para sombra que se establecieron en la época en donde se presentaban condiciones de alta humedad. En el ensayo se pudo ver la marcada diferencia entre el comportamiento de la descomposición de tejido vegetativo proveniente de las diferentes fuentes de sombra.

En las tres fincas en donde se evaluó *Musa sapientum* (banano), se puede observar que el material vegetativo presentó una rápida descomposición con una pérdida acelerada de peso en pocos días después de haber establecido el ensayo. Mientras que los materiales vegetativos *Inga spp* (cuje), *Inga spp* (guaba) y *Grevillea robusta* (gravillea) presentaron una lenta pérdida de peso.

Según análisis realizados en el laboratorio de suelos de ANACAFE, las concentraciones iniciales de Nitrógeno para cada material evaluado, *Musa sapientum* (banano), *Alchornia latifolia* (achoton) y la *Eritrina spp* son las más altas, seguido por el *Inga spp* (cushin), *Inga spp* (cuje) y de último *Grevillea robusta* (gravillea).

Como se observa en los resultados se puede deducir que el tiempo de descomposición entre los diferentes residuos de sombra, hay diferencia entre una especie y otra, como por ejemplo entre la (*Alchornia latifolia*), el banano (*Musa sapientum*) y (*Eucalipto torreleana*) a pesar que cada una se encuentran en condiciones diferentes, las otras especies presentaron hojarasca con descomposición más lenta, analizando la relación Carbono y Nitrógeno de los diferentes residuos, este factor es determinante, pues ésta característica en las tres especies mencionadas, se encuentra alta en contenido de Nitrógeno, por ende el periodo de descomposición es más rápido. También influyo las condiciones tanto del suelo como ambientales pues el porcentaje de humedad del suelo en donde estaba establecida la (*Alchornia latifolia*) se presentaba de una forma atípica, pues las muestras tienen altos contenidos de humedad esto se aplica por la alta presencia de materia orgánica en el suelo, debido a que la (*Alchornia latifolia*), se defolia al momento de la floración y esto hace que exista un aporte de hojarasca al suelo muy importante y por ende también de nutrientes y de humedad.

Musa sapientum (banano), según los resultados en época seca ayuda a mantener humedad en el entorno de la macolla y esto hace que el café aproveche esta humedad y a la vez resiste la época de ausencia de agua y por ende baje las tasas de mortalidad de plantilla por razones de estrés hídrico, para que esto se cumpla se debe de hacer un manejo adecuado a la macolla, esto quiere decir una poda periódica tratando que la mata no sea muy abundante de lo contrario traerá problemas de plagas como se observó en la parcela cuando no había manejo de mata.

En cuanto al residuo de cuje (*Inga spp*), este residuo presenta mayor lentitud en descomposición pues en los análisis foliar llevado a cabo en el laboratorio de suelos de ANACAFE, mostró que la relación Carbono y Nitrógeno se encontraba alta en cuanto al Carbono por lo que toma más tiempo en mineralizarse, esto es importante de tomar en cuenta pues la acumulación de residuo de este tipo de sombra se presenta una mayor lixiviación de nutrientes, y un mayor retardo en la disponibilidad de los nutrientes a la planta de café.

En el caso de la gravillea (*Grevillea robusta*), se descompone más lento todavía, este tipo de residuo para acelerar este proceso debe de ser manejado consistiendo en una remoción de los residuos. Esta lentitud en la descomposición se observa por el alto contenido de Carbono en la relación Carbono y Nitrógeno, pues de todos es sabido que las estructuras con contenido de Carbono son más difíciles de descomponer.

Una menor humedad del suelo en las parcelas en comparación con la presencia de más humedad en otras podría influir en que en este lugar exista una menor tasa de descomposición de residuos.

La baja tasa de descomposición en los fragmentos provocaría un aumento en retención de los nutrientes en la hojarasca y una disminución en la cantidad de nutrientes disponibles para asociados a la hojarasca, se ha detectado que una mayor presencia de hojarasca provoca una menor presencia de malezas.

3.9 RECOMENDACIONES

En el caso de los residuos de (*Inga spp*) cuje, en el cultivo de café se recomienda una combinación de diferentes especies de sombra, para que en el caso de la acumulación del residuo de una sombra exista otro residuo que baya constantemente renovando y aportando los nutrientes que el agro ecosistema demande.

La asociación de achoton (*Alchornia latifolia*) con café es una de las alternativas que se deben seguir observando en cuanto al reciclaje de nutrientes dentro del sistema, ya que la incorporación de las hojas verdes como abono verde, mediante podas y defoliación en la época de floración contribuyen a un mayor aporte de materia orgánica al suelo, así como a una mayor mineralización y liberación de Nitrógeno.

Es muy recomendable asociar con el cultivo del café especies maderables, combinadas con musáceas con el fin de tener un sistema mas diversificado, en los cuales se pueda suplir las necesidades del Nitrógeno por parte del café, con material vegetal (hojarasca) proveniente de la caída natural de hojas de las especies maderables y de podas o manejo para el caso de las musáceas, esto con el fin de tener disponibilidad de Nitrógeno en el corto plazo como las musáceas, y a mediano y largo plazo como lo son (*Inga spp*) cuje y (*Grevillea robusta*) gravilea.

Las especies maderables presentaron una descomposición y mineralización lenta en la hojarasca, lo que perjudica al sistema, si se tiene como objetivo una renovación rápida de nutrientes. Sin embargo, esto resulta ser positivo desde el punto de vista de conservación de los suelos, ya que una cobertura de lenta descomposición protege el suelo de la radiación solar, conserva la humedad, minimiza la temperatura y evita la pérdida de materia orgánica por erosión.

Se requiere continuidad de estudios que evalúen la descomposición de materiales vegetales combinados entre dos o más, especialmente con especies que posean residuos de alta calidad con otras de baja calidad esto con el fin de permitir desarrollar estrategias de manejo de los sistemas cafetaleros en busca de un mejoramiento de la duración a largo plazo del sistema.

3.10 BIBLIOGRAFÍA

- 1 Bertsch, HF. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, Llmusa. 157 p.
- 2 Centro de Ecología, Instituto de Investigaciones Científicas, VE. 1998. Contenido y flujos de nitrógeno en la biomasa y hojarasca de un cafetal a plena exposición solar en Los Andes venezolanos. Caracas, Venezuela. Consultado 29 ago 2008. Disponible en www.revfacagronluz.org.ve/v15_6/v156z001.html
- 3 Daorden, ME. 2005. Las especies ornamentales de la estación experimental agropecuaria INTA San Pedro. Buenos Aires, Argentina. Consultado 2 jul 2008. Disponible en http://www.inta.gov.ar/sanpedro/info/doc/pdf/060306_Las_especies_ornamentales.pdf.
- 4 Di Stefano, JF. 2005. Caída de hojarasca y tasas de descomposición de las hojas de *Vochysia guatemalensis* en una plantación de 10 años Tabarcia de Mora, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 27(2):8-20.
- 5 Muñoz A, CY. 2002. Disponibilidad de nutrimentos de tres compost. Tesis MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 67 p.
- 6 Rodríguez Escobedo, R. 2008. Estudio de las plantas medicinales conocidas por la población de la comunidad de primavera, del municipio de Ixcán, Quiché, utilizando técnicas etnobotánicas. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 155 p.
- 7 Standley, PC; Steyermark, JA. 1946. Flora de Guatemala. Chicago, US, Chicago History Natural Museum, Fieldiana Botany. v. 24, 13 ptes.
- 8 Suárez, J; Carrillo, A. 1976. Descomposición biológica de leguminosas y otros materiales de la zona cafetera Colombiana. Colombia, CENICAFE. p. 67-77.
- 9 Universidad de Chile, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias Ecológicas, CL. 2002. Producción y descomposición de hojarasca en un bosque Maulino fragmentado. Santiago, Chile. Consultado 2 set 2010. Disponible en www.mantruc.com/pilar/seminario-palacios-bianchi2002.pdf
- 10 Universidad Mayor de San Andrés La Paz, Instituto de Ecología, Herbario Nacional de Bolivia, BO. 2006. Descomposición de hojarasca en un sistema de descanso largo en altiplano de Bolivia. La Paz, Bolivia. Consultado 17 jul 2008. Disponible en editorenjefe.ecologiabolivia.googlepages.com/05hojarasca41-3.pdf