



Evaluación de diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras

Nidia Moreno Clavijo

Ariel Adrián Romero Jiménez

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2016

Evaluación de diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras

Nidia Moreno Clavijo
Ariel Adrián Romero Jiménez
Cohorte IX

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director (a):

Nelson Rodríguez Valencia, Ingeniero Químico PhD.

Línea de Investigación: Biosistemas Integrados

Doctor:

John Freddy Betancur Pérez

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia

2016

Agradecimientos

Los autores del presente proyecto de investigación expresan total agradecimiento a las siguientes personas:

A Manuel Tiberio Hincapié; Caficultor y Administrador de la Finca Rebambaramba, por su dedicación, compromiso y entrega en lo que se propone.

A Nelson Rodríguez Valencia. Ingeniero Químico. PhD. Investigador Científico III. Disciplina Gestión de Recursos Naturales y Conservación. Cenicafé. Director de Tesis. Por su paciencia, motivación constante y orientación permanente.

AI CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. “Pedro Uribe Mejía”. Por su apoyo y disposición en la prestación de los servicios de laboratorios y otros servicios requeridos para el desarrollo de nuestro trabajo.

Nidia

Un agradecimiento especial a dos Caficultores: mis padres; a mi mamá, como representante de la mujer cafetera y a mi padre que a pesar de ya no estar en este mundo me dejó la mejor herencia: el amor por el café

Ariel

Un agradecimiento especial a mis padres por su esfuerzo en mi educación permanente y hermanos su motivación.

Resumen

En la zona cafetera del país, se generan subproductos altamente contaminantes para las fuentes hídricas, ocasionando problemas ambientales con repercusiones sociales, siendo la pulpa del café el subproducto de mayor impacto. Con el objetivo de contribuir a la disminución de la contaminación y de aprovechar el subproducto como fuente nutricional, este estudio tuvo como objetivo evaluar diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico y así determinar para los diferentes métodos, el tiempo, el rendimiento del proceso y la calidad nutricional del subproducto como fertilizante final. Se evaluaron 5 tratamientos con el proceso de compostaje y 1 tratamiento con lombricompostaje empleando 4 kg de lombriz roja (*Eisenia foetida*) por metro cuadrado, adicionando en ellos microorganismos eficientes, levaduras y fuentes de carbono como la miel de purga y primeros enjuagues del lavado del café (aguas mieles), en los tratamientos de lombricompostaje no se adicionaron las fuentes de carbono ya que su pH es limitante para el desarrollo de las lombrices. En este estudio se obtuvo un material descompuesto, ya que en todos los tratamientos la relación final de C/N estuvo dentro del rango de 10 – 15. El tratamiento 4 (inoculado con levaduras y 1^{er} enjuague del lavado del café) y el tratamiento 6 (inoculado con 1^{er} y 2^{do} enjuagues del lavado del café) presentaron los mejores rendimientos, en base seca, en la obtención de abono orgánico (50,16 y 40,32%, respectivamente), generando mayores cantidades de material orgánico, para ser incorporados como fertilizante orgánico al suelo, y permitiendo reducir la contaminación orgánica de las aguas mieles, al emplear parte de ellas como materia prima en la elaboración del abono orgánico.

Palabras clave: Pulpa de Café, Abono orgánico, Contaminación hídrica, Compostaje, Lombricompostaje, Microorganismos.

Abstract

In the coffee area of the country, highly polluting byproducts are generated to the waters sources, causing environmental problems with social percussions, coffee pulp being the byproduct of greater impact. In order to contribute to the reduction of the pollutions by coffee pulp and to take advantage of byproducts such as nutritional source, this study aims to evaluate different methods for processing coffee pulp into organic fertilizer and determine for different methods, time, process yield and nutritional quality of the end product as fertilizer 5 treatments with the process of composting and one treatment using vermicomposting with 4 kg of red worm (*Eisenia foetida*) per square meter was assessed, adding them efficient microorganisms, yeast and carbon source such as molasses and first Wash rinses coffee (mucilages), carbon sources was not added to vermicomposting treatments due to this its high pH is limiting the development of worms. In these studies, a decomposed material was obtained as in all treatments the final ratio of C / N was within the range of 10 – 15, treatments 4 (inoculated with yeast and first Wash rinses coffee) and 6 (treated first and second wash rinses coffee) had better performance on dry basis therefore considered as the best treatments for incorporation into organic fertilizer to the soil orgánico (yields of 50,16 y 40,32%, respectively), with the advantage that the use of washing heads are being removed contamination processes.

Keywords: coffee Pulp, organic fertilizer, water pollution, pollutions, composting, vermicomposting, microorganisms.

Contenido

	Pág.
Resumen	VI
Lista de figuras	11
Lista de tablas	14
Introducción	15
1. JUSTIFICACIÓN	19
2. Problema de investigación	22
2.1 Pregunta de Investigación	24
3. Objetivo	25
3.1 Objetivos General	25
3.2 Objetivos Específicos.....	25
4. Hipótesis de trabajo	26
5. Marco Teórico	27
5.1 Marco Contextual.....	27
5.2 Marco Conceptual.....	29
5.2.1 El Fruto	29
5.2.2 Beneficio del café.....	32
5.2.3 Subproductos y aguas residuales del café	36
5.2.4 Aguas Residuales	37
5.2.5 Manejo de la Pulpa	40
5.3 Marco Legal.....	43
5.3.1 Decreto 3678 de 2010.....	45
5.3.2 Decreto 3930 de 2010.....	47
5.3.3 Decreto 2667 del 2012.....	48
5.3.4 Resolución 1207 del 2014.....	48
5.3.5 Resolución 631 del 2015.....	49
5.3.6 Decreto 1076 del 2015.....	50
5.3.7 Otra Normativas	51
6. Materiales y Métodos	56
6.1 Área de estudio y muestra	56
6.2 Materiales	57

6.3	Parámetro de Evaluación	61
6.4	Método de Campo.....	62
6.4.1	Compostaje	66
6.4.2	Lombricompostaje	68
6.4.3	Testigo 1: Compostaje de la pulpa.....	70
6.4.4	Testigo 2: Lombricompostaje de la Pulpa	71
6.4.5	Tratamiento 1: Compostaje de la pulpa + EM	72
6.4.6	Tratamiento 2: Lombricompostaje de la pulpa +EM	73
6.4.7	Tratamiento 3: Compostaje de la pulpa + levadura + miel de purga.....	74
6.4.8	Tratamiento 4: Compostaje de la pulpa + levadura + 1ª Cabeza de Lavado	74
6.4.9	Tratamiento 5: Compostaje de la pulpa + 1ª Cabeza de Lavado.....	75
6.4.10	Tratamiento 6: Compostaje de la pulpa + 1ª y 2ª cabeza de lavado.....	75
6.5	Variables a medir	75
6.6	Evaluación estadística.....	76
7.	Resultados y Discusión.....	77
8.	Conclusiones y recomendaciones	87
8.1	Conclusiones.....	90
8.2	Recomendaciones.....	91
A.	Anexo: Diseño de fosas para unidades experimentales en los tratamientos de compostaje y lombricompostaje.....	102
B.	Anexo: Reporte de Análisis laboratorio disciplina de suelos -Cenicafé.....	106
C.	Anexo. Resultados Análisis Físicoquímicos.....	107
	Bibliografía	117

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Cargas contaminantes potencialmente vertidas a los sistemas hídricos.....	16
Figura 2. Proceso Convencional de beneficio húmedo de café.....	23
Figura 3. Etapas del desarrollo del fruto.....	30
Figura 4. Estructura del fruto del café	31
Figura 5. Diagrama del Flujo del proceso de beneficio de café por vía húmeda con tres clasificaciones	33
Figura 6. Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los subproductos del beneficio del café	38
Figura 7. Nitrógeno Total Kjeldahl (Nt) de los subproductos del beneficio húmedo de café	39
Figura 8. Finca Rebambaramba, Municipio de El Líbano – Tolima.....	56
Figura 9. Fosa de compostaje para las unidades experimentales.....	57
Figura 10. Fosa de Lombricompostaje para las unidades experimentales.....	58
Figura 11. Pulpa de café fresca para el uso de las unidades experimentales.....	58

Figura 12. Microorganismos Eficientes (EM) utilizados en el Tratamiento 1.....	59
Figura 13. Levaduras utilizadas en los tratamientos 3 y 4	60
Figura 14. Miel de purga empleada en el tratamiento 3	60
Figura 15. Lombriz Roja (<i>Eisenia foetida</i>).....	61
Figura 16. Construcciones realizadas para el desarrollo del trabajo experimental.....	62
Figura 17. Cultivo de café variedad castillo, Lote C5.....	63
Figura 18. Toma de pH a las muestras de las unidades experimentales con dispositivo electrónico y cinta de colores	64
Figura 19. Toma de temperatura a las muestras de las unidades experimentales.....	65
Figura 20. Medición del volumen del lixiviado en las muestras de las unidades experimentales.....	65
Figura 21. Relación de la densidad y el Angulo de reposo del fruto del café.....	67
Figura 22. Interior de las fosas para los tratamientos de compostaje.....	67
Figura 23. Diseño con “espacio libre” en las unidades experimentales de compostaje para facilitar el volteo semanal	68
Figura 24. Construcción de fosas para lombricompostaje.....	69
Figura 25. Toma de muestra por réplica (50 gr), para la medición de diferentes variables.....	71

Figura 26. Muestras de pulpa empacadas por cada Tratamiento para envío a Cenicafé.....	73
Figura 27. Evolución del pH en las unidades experimentales durante 12 semanas.....	78
Figura 28. Evolución de la variable Temperatura en las unidades experimentales durante 12 semanas.....	80
Figura 29. Evolución del volumen de lixiviados de las unidades experimentales durante 12 semanas.....	82
Figura 30. Comparativo de la relación C/N de la masa inicial con respecto a la masa final	86
Figura 31. Comparativo de Rendimientos en Base Húmeda y Base Seca.....	87

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Estructura de la economía cafetera del departamento del Tolima.....	18
Tabla 2. Dimensiones fosa según la producción anual de C.P.S.....	42
Tabla 3. Normatividad en el recurso hídrico en Colombia.....	44
Tabla 4. Principios y conceptos que fundamentan las políticas de RESPEL.....	54
Tabla 5. Algunas propiedades físicas del fruto del café y sus subproductos.....	66
Tabla 6. Caracterización química de las cabezas de lavado (aguas mieles) aplicadas a los tratamientos 4, 5 y 6	81
Tabla 7. Retención de cabezas de lavado (aguas mieles) por las masas de pulpa de café.....	83
Tabla 8. Retención de lixiviados por las masas de pulpa de café.....	83
Tabla 9. Caracterización química de los lixiviados finales arrojados para los Tratamientos 5 y 6	84
Tabla 10. Contaminación Inicial de las cabezas de lavado.....	85
Tabla 11. Rendimiento en Base Húmeda. ANOVA y Turkey.....	88
Tabla 12. Rendimiento en Base Seca. ANOVA y Turkey.....	88

Introducción

La UNESCO (2015) define que “El agua dulce es el recurso más importante para la humanidad, es un bien transversal a todas las actividades sociales, económicas y ambientales. Es una condición para toda la vida en el planeta, un factor propicio o limitante para cualquier desarrollo social y tecnológico, además de una posible fuente de bienestar o miseria, cooperación o conflicto.

Para garantizar la gestión y el suministro de este recurso, se hace necesario proteger todos los sistemas de aguas vulnerables, a través de diversos instrumentos, que conlleven a mitigar los impactos de las amenazas relacionadas con este recurso natural, garantizando de esta manera el acceso a cantidad y calidad del agua de manera integrada y equitativa.

En Colombia, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (2010-2022), establece los objetivos y estrategias del país para el uso y aprovechamiento eficiente del agua; el manejo del recurso por parte de autoridades y usuarios; los objetivos para la prevención de la contaminación hídrica, considerando la armonización de los aspectos sociales, económicos y ambientales; y el desarrollo de los respectivos instrumentos contemplados.

Todos estos mecanismos están encaminados a afrontar las amenazas y los efectos de problemas ambientales de trascendencia global como es el cambio climático caracterizado por un incremento de temperatura que favorece la evaporación del agua de

las fuentes superficiales, causando en los últimos años, precipitaciones más fuertes, con capacidad de erosionar los suelos agrícolas.

A esto se suma la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Entre los aspectos que más influyen en la alteración de la calidad del agua son los vertimientos de aguas residuales domésticas mal tratadas o sin tratar, los controles inadecuados de los desechos industriales, la ubicación de las fábricas en zonas no aptas para esta actividad industrial, la deforestación, la agricultura migratoria y los inadecuados métodos de cultivo.

La carga neta de contaminantes por vertimientos puntuales que potencialmente llega a los sistemas hídricos del país provenientes de los sectores industria, doméstico (incluye sacrificio de animales) y beneficio del café. (Ver Figura 1) IDEAM (2015).

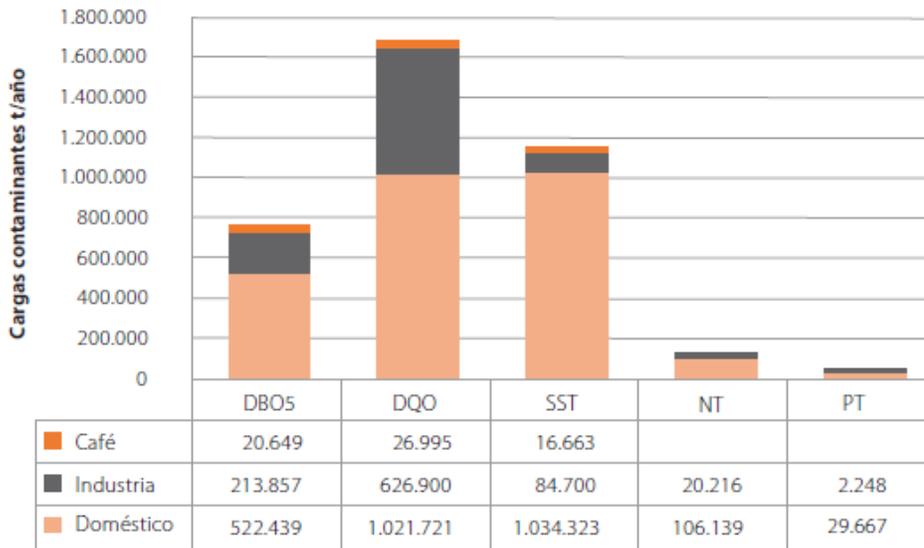


Figura 1. Cargas contaminantes potencialmente vertidas a los sistemas hídricos (t/año) 2012 (Fuente: IDEAM 2015)

La actividad agrícola contribuye a cambiar directamente la oferta hídrica de una zona, cuando se vierte directamente las aguas residuales del proceso productivo a las fuentes de agua: Es el caso de la Caficultura, que hasta hace menos de 20 años, no estuvo exenta de generar estos impactos negativos al medio ambiente. “En el proceso del

beneficio del café se utilizaban más de 40 L de agua para producir 1,0 Kg de café pergamino seco, y el agua residual era vertida sobre las fuentes de agua, afectando su disponibilidad para el uso posterior del recurso y acabando con la vida acuática presente en los cuerpos de agua”.(FNC, 2013, p112.)

De igual manera, la pulpa de café, es un residuo que significa una fuente contaminante de aguas superficiales y suelos, esto a pesar de las múltiples investigaciones realizadas por CENICAFÉ, que han generado nuevas tecnologías y al uso de ellas por parte de muchos Caficultores en diferentes zonas del país, sin lugar a dudas.

Sin embargo, es preciso señalar que la pulpa aún sigue siendo un “problema” para otros productores, estos son aquellos pequeños Caficultores con menos de 5 hectáreas de café, que por falta de recursos económicos, desconocimiento, entre otras, no hacen uso de estas nuevas tecnologías; es el caso del departamento del Tolima: 96.673 Hectáreas representan el 84,1% del total de área en café del departamento, éstas pertenecen a 59.595 Caficultores agrupados como pequeños productores, es decir esto es el 96% del total de Cafeteros registrados en SIC@, como se muestra en la Tabla 1, es por esto que en la zona cafetera, aún se evidencia que la pulpa tiene dos fines: el primero es arrojarla a las fuentes hídricas y el segundo es disponerla sin tratamiento en el sitio donde fue realizado el proceso de despulpado, allí queda expuesta a procesos naturales de descomposición, procesos que son muy lentos, debido a la falta de condiciones: Al final termina convirtiéndose, en potencial contaminante de las aguas superficiales y subterráneas, a través de los lixiviados generados en su proceso de descomposición y los conformados por el arrastre de sus componentes por las lluvias, cuando la pulpa no se almacena en lugares cubiertos.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, siempre ha estado atenta a la protección del ambiente, a la conservación de la biodiversidad y a la conservación de los suelos y las aguas de la zona cafetera. Es así, que a través del Centro Nacional de Investigaciones del Café – CENICAFÉ, ha investigado diferentes prácticas y procesos para el manejo, tratamiento y valorización de estos residuos.

Tabla 1. Estructura de la economía cafetera del departamento del Tolima.

ECONOMIA CAFETERA	HECTAREAS POR CAFICULTOR	CAFETEROS	% CAFETEROS	AREA CAFÉ (has)	% ÁREA CAFÉ
PEQUEÑOS	<1 y 1 a 5	59.595	96,00%	99.673	84,10%
MEDIANOS	5 a 10	2.186	3,50%	14.008	11,80%
EMPRESARIALES	>10	307	0,50%	4.792	4,00%
TOTAL		62.088	100,00%	118.473	99,90%

Fuente: Comité de Cafeteros del Tolima - Programa SICA - © Copyright FNC 2015

Desde 1984, se han efectuado investigaciones relacionadas con el manejo eficiente del agua en el proceso de beneficio húmedo del café y con el tratamiento anaerobio de las aguas residuales generadas en el proceso, tendientes a encontrar la solución más económica para descontaminarlas. Dichas investigaciones se realizaron tanto a escala de laboratorio, de planta piloto y de campo, en las instalaciones de Cenicafé y en las fincas de productores de los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle. (CENICAFÉ, 2011).

Dado que día a día la Caficultura Colombiana se enfrenta a nuevos retos: uno de ellos está dado por la adopción de las nuevas tecnologías en combinación con otras medidas de adaptación que le permita a los Caficultores hacer frente a los cambios ambientales, sociales, tecnológicos y económicos que continuarán presentándose en el futuro; es por esto que el objetivo principal de este estudio se centra en evaluar diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en las fincas cafeteras en Colombia, con el fin de permitir continuar con una producción de café sostenible y competitiva, favoreciendo de esta forma el desarrollo económico y social de las comunidades.

1. JUSTIFICACIÓN

El beneficio convencional es el proceso que tradicionalmente se ha utilizado en Colombia para transformar el fruto del café cereza en café pergamino.

Tradicionalmente el café ha sido beneficiado por vía húmeda, dando origen a una bebida suave de alta calidad, pero generando problemas de contaminación al medio ambiente. De acuerdo con la distribución de los componentes del fruto fresco y maduro de café, sólo el 9,5% del peso es utilizado en la preparación de la bebida. El 90,5% restante lo constituyen el agua y los subproductos del proceso, de los cuales los principales son la pulpa y el mucílago (Calle, 1977).

En los últimos 12 meses (diciembre 2014 a noviembre 2015) Colombia produjo 13,8 millones de sacos de 60 kilos de café verde (Congreso cafetero 2015), la tecnología de despulpado y transporte de pulpa sin agua, permite una economía de 22,5 millones de metros cúbicos de agua limpia, suficientes para abastecer el consumo anual de una población de 308 mil habitantes, asumiendo un consumo diario de 200 litros de agua por habitante, según lo reportado por Veenstra (1995) para América Latina y un consumo de agua entre 20 y 25 L/kg cps para el despulpado y transporte de la pulpa con agua.

Adicional a la cantidad de agua limpia utilizada para realizar el beneficio del café, que termina siendo contaminada en las fincas cafeteras de Colombia se suma los subproductos del café que salen luego de realizar el proceso de beneficio. En estudios de Cenicafé se encontró que la pulpa de café representa el 73,7 % de la contaminación potencial de los subproductos del beneficio de café y el 26,3% restante de la

contaminación la constituye el mucílago fermentado. Zambrano e Isaza (como se citó en FNC, 2013)

El manejo de la pulpa de café ha sido uno de los más difíciles siendo el desecho de mayor volumen, que se acumula por períodos largos y conlleva a la generación de malos olores, siendo un medio propicio para la reproducción de moscas y otras plagas responsables de múltiples enfermedades. (Vásquez, *et al.*, 2010)

La contaminación que la pulpa y el mucílago producen se debe a que parte de su materia orgánica se disuelve o queda en suspensión en las aguas, en las diferentes etapas del transporte y del beneficio del fruto de café. El material orgánico disuelto puede retirar o consumir muy rápidamente el oxígeno del agua que lo contiene, en un proceso natural de oxidación. La pulpa y el mucílago contenidos en un kilogramo de café cereza (cc) pueden retirar todo el oxígeno a 7,4 metros cúbicos de agua pura, propiciando su rápida putrefacción en 24 horas. (Roa *et al.*, 1999)

Según Roa *et al* (1999) Otros problemas que la utilización del oxígeno del agua por los residuos orgánicos del beneficio del café, pueden ocasionar, son:

- Muerte de los animales acuáticos y de las plantas por falta de oxígeno y por la alta acidez
- Proliferación de microorganismo indeseables
- Impotabilidad e inutilización de las aguas para el uso doméstico
- Inutilización de las aguas para el uso industrial, incluyendo el beneficio del café en otros beneficiaderos
- Proliferación de malos olores, atracción de moscas y otros insectos y deterioro del paisaje

De los 13,8 millones de sacos de 60 kg de café verde producidos en Colombia (Congreso Cafetero 2015), 514 mil toneladas aproximadamente corresponden a pulpa del café; estos grandes volúmenes producidos en post-cosecha, son considerados contaminantes, si no se disponen de forma adecuada.

Un uso de este subproducto es la elaboración de abono orgánico, que puede ser destinado en las fincas cafeteras con varios usos. Sin embargo, una de las dificultades en el proceso de compostaje tradicional es el tiempo que tarda la descomposición de la pulpa para convertirse en abono orgánico, por esto se plantea disminuir a 90 días, a través de la adición o enriquecimiento de este sub-producto con varios elementos, buscando un resultado final que cumpla con los parámetros exigidos por la Norma Técnica Colombiana (NTC 5167 2004) sobre *Materiales Orgánicos Utilizados como Fertilizantes o Acondicionadores de Suelos*.

Para Blandón, Dávila y Rodríguez (1999) la importancia de los abonos orgánicos radica en que proporcionan nutrimentos al cultivo, mejoran las propiedades físico-químicas y microbiológicas del suelo, incrementando su productividad y por tanto, disminuyendo indirectamente el uso de fertilizantes químicos y los costos de producción del cultivo.

Este trabajo de investigación busca contribuir con la Caficultura del país, a través de soluciones sencillas, prácticas y económicas, que los productores pueden implementar en sus fincas para realizar el manejo de los residuos generados por el cultivo del café; con esto se apunta a una producción de café que además de ser productiva y rentable, sea una caficultura realizada bajo prácticas de conservación al medio ambiente, basada en los principios que protegen y preservan los recursos naturales, convirtiéndose en una estrategia indirecta de valor agregado para los productores del grano.

2. Problema de investigación.

Los autores consideran que el cultivo de café en comparación con otros cultivos que se produce en la región es uno de los más amigables con el medioambiente durante su proceso productivo; según Komar (2006) en su investigación confirma que el café se perfila como un cultivo potencial para la conservación de aves y otras especies según las hipótesis de otros estudios alrededor del mundo, igualmente lo confirma Sánchez *et al* (2010), que los cafetales cultivados bajo sombra, pueden convertirse en refugios para la fauna nativa de estas zonas que anteriormente fueron ocupadas por bosques de baja montaña.

Además que los manejos integrados para el control de plagas y enfermedades evaluados por Cenicafé han permitido al caficultor hacer uso mínimo de insumos agroquímicos y un mejor control sanitario con actividades físicas, culturales y biológicas, FNC (2013). Sin embargo, en el proceso del beneficio, se rompe con el manejo sostenible y ambiental, esto debido a la contaminación generada a través de los subproductos como las mieles del lavado y la pulpa de café.

En Colombia el proceso de beneficio comienza con la recolección manual de los frutos maduros, característica que genera una calidad de café muy estimada por los consumidores, pero puede llegar a generar una alta contaminación del agua y del medio ambiente. Por cada 10 millones de sacos de 60 kilos de café verde que se producen en Colombia, la pulpa y el mucílago como subproductos secos del proceso convencional de beneficio húmedo del café PBHC, equivalen a 373 mil toneladas, teniendo en cuenta factores de conversión según Calle, Uribe y Zambrano. En el caso de que estos subproductos no se utilicen o se dispongan conveniente mente para su descomposición, se pueden convertir en una fuente de contaminación del medio ambiente. Convencionalmente, la pulpa al ser transportada con el agua durante la operación de despulpado, lixivia compuestos que contaminan el agua generando las aguas residuales de despulpado, (D) y como consecuencia, queda en las fosas una pulpa lavada, que se somete a descomposición. Tradicionalmente, el mucílago se remueve del grano mediante

la fermentación natural y se lava con agua limpia generando las aguas residuales del lavado del café, (L) (ver Figura 2)

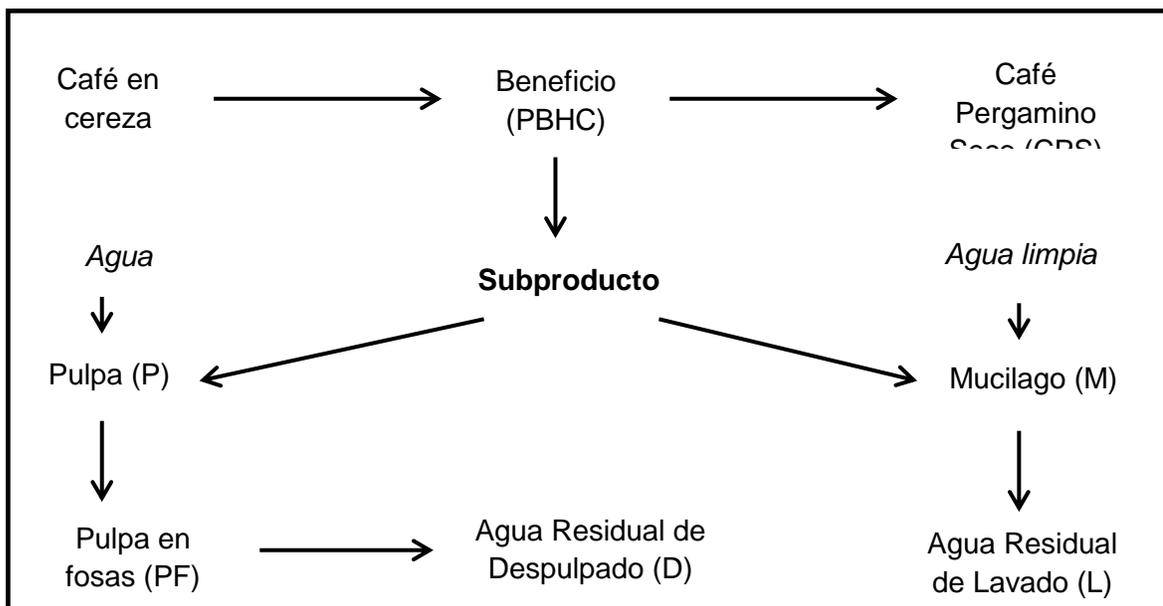


Figura 2. Proceso Convencional de beneficio húmedo de café (fuente Zambrano *et al.*, 1998)

La solución a la problemática que generan los subproductos del café tiene repercusiones ambientales y sociales a la luz de la mejora de la calidad de vida de los caficultores, representada en menores riesgos de enfermedad de transmisión hídrica y conservación de sitios para recreación, y económicos que es un requisito en la comercialización de cafés especiales, los cuales tienen un precio preferencial, además que la mala calidad del agua afecta la calidad del grano, lo que representa pérdidas para los productores.

Debido a que la gran mayoría de los productores de café, de acuerdo a la estructura de su economía, son catalogados como pequeños, se planteó diseñar estrategias que pudieran ser adoptadas sin dificultad, esto es a través del aprovechamiento de los subproductos generados en el beneficio del fruto, además de darle valor agregado a los mismos, evitando así que éstos se convierten en fuentes de contaminación ambiental de los recursos suelo y agua, además que estarían cumpliendo con las exigencias condensadas en las normativas ambientales vigentes.

2.1 Pregunta de Investigación

¿Cuál es el mejor método para la transformación de la pulpa del café en abono orgánico, en fincas cafeteras?

3. Objetivo

3.1 Objetivos General

Evaluar diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras.

3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la utilización de diferentes tipos de organismos (lombrices, bacterias, levaduras) en el proceso de transformación de la pulpa de café en abono orgánico.
- Evaluar el efecto de la adición de fuentes de Carbono (miel de purga y primeros enjuagues del lavado del café) sobre el proceso de transformación de la pulpa de café mediante compostaje.
- Comparar el compostaje (con y sin adición de microorganismos y de fuentes de carbono) y el lombricompostaje, en la transformación de la pulpa de café en abono orgánico.
- Determinar para los diferentes métodos de transformación el rendimiento medio del proceso.
- Evaluar el efecto de la adición de los primeros enjuagues del lavado del café sobre la pulpa en la disminución del impacto ambiental generado por las aguas mieles.
- Seleccionar con base en los rendimientos y en la disminución de la contaminación orgánica de los subproductos del café, el mejor método de transformación de la pulpa de café en abono orgánico.

4. Hipótesis de trabajo

H1: La adición de microorganismos eficientes permite acelerar el proceso de descomposición de la pulpa de café.

H2. Los mayores rendimientos en el proceso de transformación de la pulpa de café se alcanzan adicionando levaduras y miel de purga.

H3: Los dos primeros enjuagues del lavado del café se pueden integrar al proceso de transformación de la pulpa sin generar vertimientos.

5. Marco Teórico

5.1 Marco Contextual

La pulpa de café se puede emplear como alimento natural, según Noriega *et al* (2008) la pulpa al ser ensilada preserva sus características nutrimentales, tornándola de particular importancia para la alimentación animal; a los 120 días de ensilaje la pulpa presenta los mayores contenidos de proteína cruda, menores valores de extracto libre de nitrógeno y valores bajos de taninos que le proporcionan un alto valor nutricional pudiéndose recomendar en la dietas para animales.

Ferrer *et al* (1995) demostró que utilizando melaza al 3% y 4% en el ensilaje de la pulpa de café como activador del proceso en 133 días es efectivo para preservarlos de una degradación microbiológica inadecuada y que durante el proceso de cosecha presenta características físico-químicas y organolépticas adecuadas para la alimentación de bovinos.

Rodriguez (2003) evaluó que el proceso de ensilaje tiene una duración aproximada de 25 días distribuido en dos fases, la respiración y la fermentación; después de 30 días de realizado el proceso de fermentación aerobio y anaerobio el producto es estable para ser empleado como sustrato en la producción de cultivos de hongos comestibles y Lombricompost.

Bermudez *et al* (2001) caracterizó la pulpa de café como resultado remanente de la producción de *Pleurotus Ostreatus* en 8 semanas como potentes agentes biodegradadores de sustratos lignocelulosicos y confirmó su calidad superior para usarlo en la alimentación animal y/o biofertilizante.

Por lo anterior con el fin de alcanzar un mayor aprovechamiento de la pulpa de café y buscando las especies más productoras de *Pleurotus sp*, Bermúdez *et al* (2005) evaluó la producción de setas comestibles utilizando diferentes cepas de *Pleurotus sp*. Los resultados obtenidos en el estudio de las diferentes cepas de *Pleurotus sp* sobre pulpa

de café indican la factibilidad de emplear las cepas CCEBI 3021, 3022, 3023, 30224, 3025 y 3027 para la producción de setas comestibles con calidad, siendo las cepas CCEBI 3027, 021 y 3024 excelentes productoras:

Rodriguez y Jaramillo (2005) afirman que por cada tonelada de sustrato fresco que involucre pulpa de café en un 50% o más, se podrán obtener en promedio, 100 kg de hongos frescos, 4,5 kg de lombriz roja y 150 kg de lombricompuesto húmedo, por ciclo de cultivo de 3 meses.

Cadena (2009) afirma que los microorganismos eficientes (E.M.) actúan como potencializadores de otros microorganismos biotransformadores de materia orgánica como el *Trichoderma* haciendo su actividad más eficiente al aumentar su capacidad de biotransformar la celulosa de los residuos de cosecha y disminuir el tiempo de permanencia de estos residuos en campo en un 50%

Brown *et al* (2004) estudió tres fuentes de inóculos naturales y encontró que la variante de inóculo con estiércol vacuno posee los mayores valores de producción acumulada de metano (10,29 L) respecto a las otras dos variantes de fango sobrenadante y fango sedimentado. De igual manera fue en el estiércol vacuno donde se observó el mayor valor de actividad metanogénica relativa (0,004 mL CH₄/g SV * d), así como la mayor actividad enzimática de la celulosa total con un valor de 0,263 7 mmoles/min.mL, por lo que se recomienda ésta como la mejor variante por utilizar para la biodegradación anaerobia de la pulpa de café, entre todas las variantes ensayadas.

Vásquez *et al* (2009) demostró experimentalmente que es posible acelerar el proceso de compostaje utilizando microorganismos nativos de la pulpa del café y disminuir a 40 días el tiempo requerido para obtener un sustrato orgánico de buena calidad al finalizar el tratamiento, ajustado a la Norma técnica colombiana NTC 5167- 2004, que regula los materiales orgánicos usados como fertilizantes y acondicionadores de suelos en Colombia, de igual manera Vásquez *et al* (2010) demostró que con una eficiencia entre el 32% y 38% se logra un abono orgánico con la calidad sanitaria exigida por la Resolución

00150 de Enero de 2003, donde los microorganismos nativos más eficientes son *Pseudomonas spp.*- *Stenotrophomona maltophilia* y *Citrobacter koseri* y *Pseudomonas*.

Arango y Dávila (1991) estudiaron la lombriz *E. foetida* como organismo vivo que acelera la descomposición de la pulpa de café y demostraron que este proceso de un metro cubico de pulpa fresca fue de 80 días utilizando 5 kg de lombriz roja Californiana.

Raphael *et al* (2012) demostraron que la descomposición de la pulpa de café con dos especies diferentes de lombriz, *Eudrilus euganiae* y *Perionyx ceylanesis* se da en un tiempo de 112 días y 165 días respectivamente y una eficiencia del vermicompost del 77,9%.

Black *et al* (1996) adelantaron estudios preliminares donde demostraron la rentabilidad de la lombricultura para el manejo de los subproductos.

5.2 Marco Conceptual

5.2.1 El fruto de café

5.2.1.1 Composición

El fruto del café es una drupa globular de peciolo corto y su importancia biológica radica en que éste contiene la semillas que permite la continuidad de la especie, desde el punto de vista productivo el fruto en su estado de madurez es considerado como café cereza (cc) el cual contiene la semilla que posteriormente después de un proceso de separación natural o mecánico se convertirá en el producto final que comúnmente se denomina Café Pergamino Seco (CPS).

5.2.1.2 Etapas del desarrollo del fruto de café

En el desarrollo del fruto del cafeto se pueden distinguir cinco etapas. Ver Figura 3.



Figura 3. Etapas del desarrollo del fruto. (Fuente: Adaptado de Arcila y Jaramillo, 2003)

Es la cuarta etapa cuando el endospermo llena el grano entero e inicia el proceso de maduración (FNC 2013), el color de la epidermis dependiendo de la variedad y grado de maduración del fruto varía de verde a amarillo o rojo, disminuye de forma gradual el

contenido de clorofila (Ocampo *et al.*, 2010) respondiendo de forma contraria la formación de antocianinas (Marín *et al.*, 2003), es decir, este es el momento ideal de recolección o cosecha del grano.

5.2.1.3 Estructura del fruto de café

El fruto de café es una drupa en la cual los tejidos externos en la madurez se separan, por una capa mucilaginosa, del endocarpio, delgado, duro y coriáceo, llamado pergamino. Salazar *et al.*, Huxley y León y Fournier (citados por Arcila *et al.* 2007).

El fruto del cafeto está compuesto por el pericarpio (pulpa de café), el mesocarpio (mucílago de café), el endocarpio (pergamino o cascarilla) y el endospermo (café almendra). Ver figura 4.

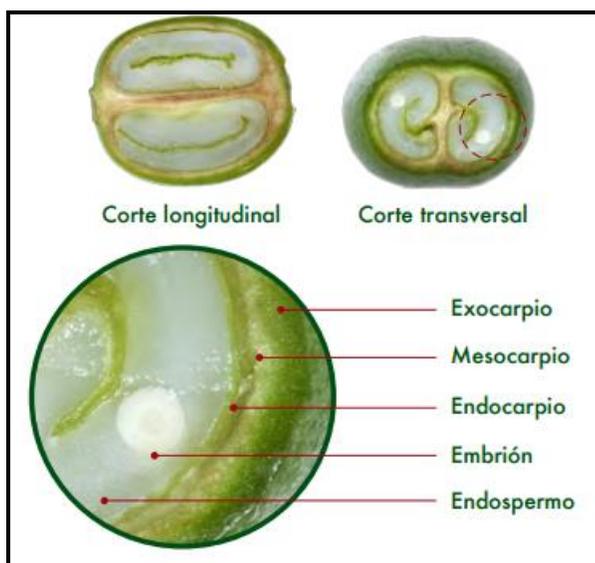


Figura 4. Estructura del fruto del café (Fuente: FNC 2013)

La pulpa de la cereza madura está formada por el exocarpio (epidermis), que es la capa externa del fruto y representa el 43,2% del fruto en base húmeda. El color de la epidermis varía desde verde o amarillo hasta rojo o rojo intenso y algunas veces hasta violeta o negro. El color depende de la variedad de café y del grado de madurez del fruto.

Recubierto por la epidermis se encuentra el mesocarpio, el cual está constituido por una capa gruesa de tejido esponjoso de 5 mm de espesor, rico en azúcares y mucílagos, que recubre los dos granos, los cuales se encuentran unidos por sus caras planas. El mucílago representa el 11,8% del fruto en base húmeda.

Los granos están revestidos por una doble membrana: la primera es el endocarpio, amarillo pálido y de consistencia dura y frágil, comúnmente llamado pergamino, representa del 6,1% del fruto en base húmeda; y la segunda, más fina que la anterior y adherida al grano (albumen), llamada película plateada (tegumento seminal), que representa el 0,2% del fruto en base húmeda.

El endospermo, también llamado café verde, representa el 38,9 y 55,4% del fruto en base húmeda y base seca, respectivamente. (Puerta *et al.*, 1988 citado por Arcila *et al.* 2007).

5.2.2 Beneficio del café

El proceso del beneficio de café es un proceso agroindustrial que lo realiza propiamente el caficultor en su finca, y consiste en un conjunto de actividades para transformar el fruto del Café recolectado a Café Pergamino Seco.

La Federación Nacional de Cafeteros a través del Centro Nacional de Investigaciones del café ha realizado investigaciones acerca de este proceso con el fin de que el beneficio del café no solo conserve la calidad del grano, si no también proteja las condiciones ambientales del entorno, por lo cual es conocido como Beneficio Ecológico del café.

Beneficio ecológico del café por vía húmeda es un conjunto de operaciones realizadas para transformar el café cereza en café pergamino seco, conservando la calidad exigida por las normas de comercialización, evitando pérdidas del producto y eliminando procesos innecesarios, lográndose además, el aprovechamiento de los subproductos lo cual representa el mayor ingreso económico para el caficultor y la mínima alteración del agua estrictamente necesaria para el beneficio (Roa *et al.*, 1999).

El proceso del beneficio del café comprende las siguientes etapas: Recolección, recibo, despulpado, remoción del mucilago vía natural o mecánica, lavado y secado. Ver Figura 5. Como se mencionó anteriormente el beneficio ecológico no solo pretende conservar la calidad del grano, pretende además reducir el consumo del agua y eliminar la pulpa y el mucilago sin contaminar el entorno ambiental.

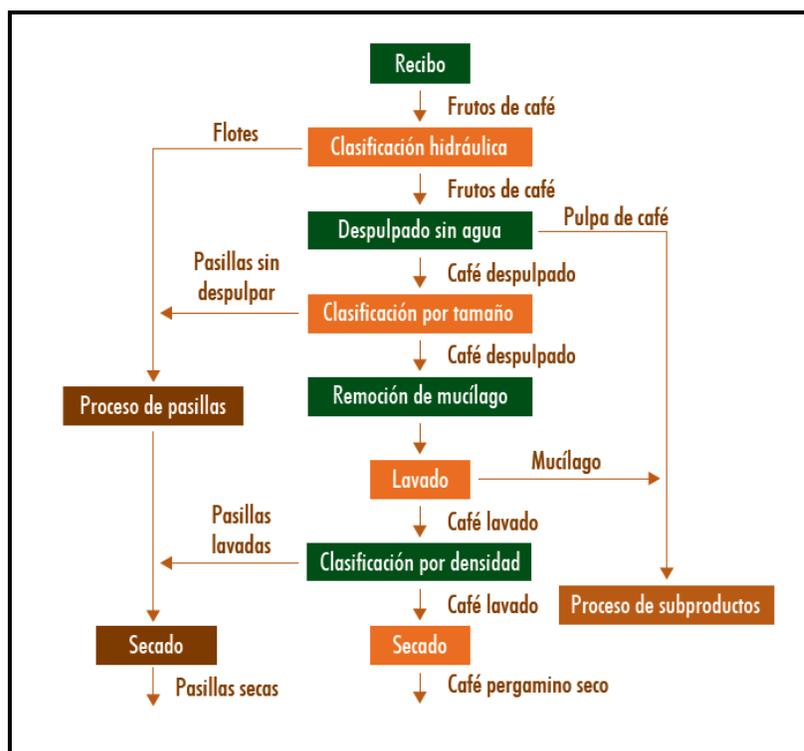


Figura 5. Diagrama del Flujo del proceso de beneficio de café por vía húmeda con tres clasificaciones. (Fuente: FNC 2013)

5.2.2.1 Despulpado de café

El despulpado del café es la primera etapa del beneficio húmedo en la que el fruto pasa por una transformación, dado que se dejan libres de pulpa o cascara, las dos semillas que normalmente se encuentran dentro del grano. Esta labor la realizan eficientemente las maquinas despulpadoras, las cuales aplican esfuerzos cortantes y de comprensión a

los frutos para que la pulpa se rasgue y salgan libremente las dos semillas, esto gracias a la acción lubricante del mucilago que los recubre (FNC 2013)

Investigaciones realizadas determinaron los volúmenes mínimos requeridos para realizar el despulpado de café en máquinas de cilindro horizontal, encontrando que si esta operación se hacía sin agua, las características del producto eran iguales a la del café procesado con agua, y que la potencia requerida era igual (Álvarez, 1991)

5.2.2.2 Remoción del Mucilago

El mucilago es una película gelatinosa constitutiva del café que queda expuesta cuando el fruto es despulpado, la cual está fuertemente adherida al endocarpio o pergamino, y se caracteriza por tener una fuerte capacidad de retención del agua debido a su composición, por lo que su contenido de humedad puede ser muy variable de acuerdo con las condiciones climáticas que prevalezcan durante la recolección.

En Colombia, el mucilago en el café despulpado es removido por fermentación natural, medios mecánicos y adición de enzimas. El método natural consiste en la remoción del mucilago por el proceso de fermentación y el lavado de la masa, generando aguas residuales conocidas como las mieles del café, el proceso mecánico consiste en la remoción de la masa gelatinosa por agitación y fricción, y como método alternativo se utiliza la adición de enzimas pectinolíticas que aceleran el proceso de degradación del mucilago y permiten realizar el lavado del café con mayor prontitud.

5.2.2.3 Fermentación del mucilago del café

La fermentación es un proceso bioquímico de una duración aproximada de 10 a 18 horas el cual permite que el mucilago del café, transcurrido este tiempo, se disuelva en agua. Hay que entender que durante este tiempo el proceso de fermentación le ocurre al mucilago del café y no al grano por lo cual no se deteriora la calidad del café y por lo tanto no hay defectos en la bebida, de ahí la importancia de no realizar una sobre

fermentación, siendo este es un proceso crítico de mayor cuidado para la conservación de su calidad. (Roa *et al.*, 1999).

5.2.2.4 Uso de Enzimas Pectonolíticas para la remoción del Mucílago del café

Es entendido que el tiempo se traduce en dinero, por tal afirmación, se ha estudiado la aceleración del tiempo de fermentación natural del café por medio de la inclusión de enzimas que aceleran el proceso, en el cual naturalmente las reacciones bioquímicas son más lentas.

Las investigaciones de Cenicafe mostraron que es posible realizar una remoción del mucílago mayor al 98% en un tiempo de tres horas, con una aplicación de concentración del producto de 100mg/kg de café en baba, el proceso acelerado por las enzimas no afectan la carga orgánica del agua residual del lavado (Peñuela *et al.*, 2011).

5.2.2.5 Lavado del Café

El lavado del café es una práctica que se realiza generalmente al café fermentado de forma natural, donde además de realizar el lavado, simultáneamente se hace la clasificación del café. Esta práctica se realiza con el fin de remover definitivamente el mucílago fermentado de los granos del café.

Es la etapa donde se hace el uso del agua como fuente prima para el proceso, es determinante para esta operación considerar aspectos fundamentales para asegurar la cantidad y calidad.

Con lo que respecta a la cantidad de agua a utilizar, se debe tener en cuenta el menor volumen específico, los tanques tina, con bordes al interior redondeados permiten el uso de 4,17 litros de agua/kg de café pergamino seco, repartidos en cuatro enjuagues, cubriendo la masa de café (sobre pasando unos 3 cm de su superficie con agua limpia), esta acción permite remover y clasificar los granos de mala calidad (pasilla). Sí se

disponen adecuadamente estas mieles y se despulpa el café sin utilizar agua se logra controlar el 85% de la contaminación potencial. (FNC, 2013).

5.2.2.6 Desmucilaginado Mecánico

Por acción mecánica, a través del uso de agitadores de alta velocidad, puede ser removido el mucilago del café pergamino; los fluidos, mucílago más el agua adicionada y las partículas provenientes de la pulpa presente en el café despulpado, restos de granos (inmaduros, atacados por la broca, etc.) y otras impurezas, dan origen a suspensiones altamente pseudoplásticas. Oliveros citado por Roa *et al* (1999) explica como su viscosidad se reduce notoriamente cuando la tasa de deformación a la que se somete se incrementa.

Oliveros *et al.* (1995), desarrollaron un equipo para el desprendimiento, lavado y limpieza del mucilago que recubre el café despulpado, sin necesidad de someter esa capa gelatinosa a degradación por otros medios, como la fermentación natural. El equipo es denominado *Deslim* por las labores que realiza al café (Desmucilaginado, Lavado y Limpieza) y con el cual se disminuye el consumo específico del agua.

5.2.3 Subproductos y aguas residuales del café

El proceso del café por vía húmeda produce tres clases de subproductos, la pulpa el mucílago y las aguas residuales. La pulpa separada del fruto representa el 73,7% de la contaminación potencial en un proceso de beneficio tradicional, y el mucílago que queda sobre el fruto representa el 26,3%(FNC 2013)

5.2.3.1 La pulpa o cacota

Según Montilla (2006), La pulpa es el primer producto que se obtiene en la etapa de beneficio del fruto y representa, en base húmeda, alrededor del 43,58% del peso del fruto fresco

Cuando la pulpa es descargada en las corrientes de agua o en campo abierto, genera una importante carga contaminante en ellos y se deja de aprovechar una fuente importante de materia orgánica (humus) para el mismo cultivo. Por esta razón, es importante contar con un procesador, el cual permitirá descomponer la pulpa de café de una manera sostenible.

La pulpa del café es el subproducto del proceso del Beneficio del café (PBHC) que mayor problema de contaminación hídrica puede ocasionar si no se maneja y dispone adecuadamente en el medioambiente.

5.2.3.2 Mucilago

Según Montilla (2006) El mucilago se genera en la etapa del desmucilaginado, y en base húmeda, representa alrededor del 14,85% del peso del fruto fresco. En términos de volumen, por cada kilogramo de café sin seleccionar se producen 91 ml de mucilago fermentado (Zambrano e Isaza 1994)

5.2.4 Aguas Residuales del café

Se producen durante el proceso de Beneficio húmedo del fruto de café, estas son aguas biodegradables, pero poseen una acidez alta, concentraciones de materia orgánica alta, solidos suspendidos conformados particularmente por pectina y protopectinas, demandas biológicas y químicas de oxígeno muy altas, del orden de 15000 a 30000 ppm en las aguas mieles, y entre 60000 y 120000 ppm en los lixiviados generados en la mezcla pulpa mucilago, lo que corresponde a poderes contaminantes entre 60 y 240 veces superiores a las aguas residuales domesticas (Zambrano y Rodríguez, 2008)

5.2.4.1 Contaminación del agua por subproductos del beneficio del café

En términos de contaminación acuática, la Demanda Química de Oxígeno, DQO, es un análisis de laboratorio que permite determinar químicamente la cantidad de oxígeno que

se requiere para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua residual. Análogamente, mediante la determinación del Nitrógeno total, Nt, se conoce la proporción presente de este elemento para ajustar la relación C/N, la cual permite el desempeño óptimo de sistemas biológicos de tratamiento (valles *et al* 1980). Lo anterior se traduce en un indicador para el aprovechamiento de este elemento después de su tratamiento. (Zambrano, Isaza 1998)

Las Figuras 6 y 7 reúnen la distribución porcentual de la DQO (Demanda Química de Oxígeno) y Nt (Nitrógeno Total) de los subproductos de un proceso convencional de beneficio húmedo del café. De acuerdo con la Figura 6, es indudable que la pulpa del café es el subproducto del PBHC que mayor problema de contaminación hídrica puede ocasionar, si no se maneja y dispone adecuadamente en el medio ambiente. Lo anterior pone la tecnología de despulpado y transporte de la pulpa sin agua (Álvarez 1991) como la principal estrategia para reducir contaminación ambiental por subproductos del PBHC.

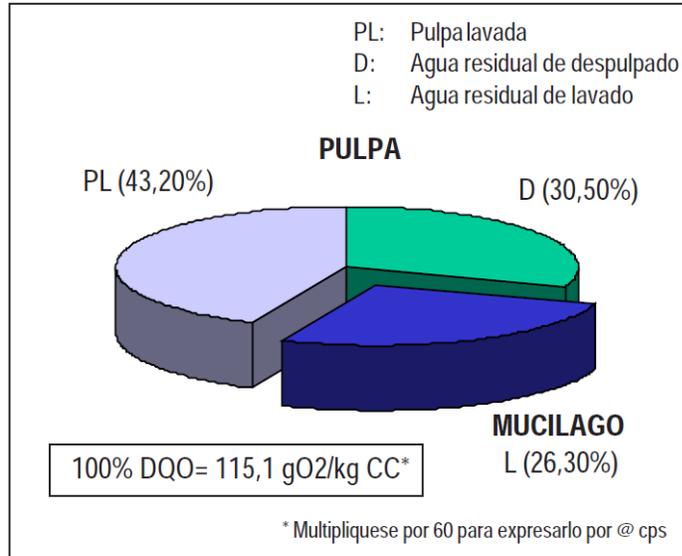


Figura 6. Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los subproductos del beneficio del café (Fuente: Zambrano et al 1998)

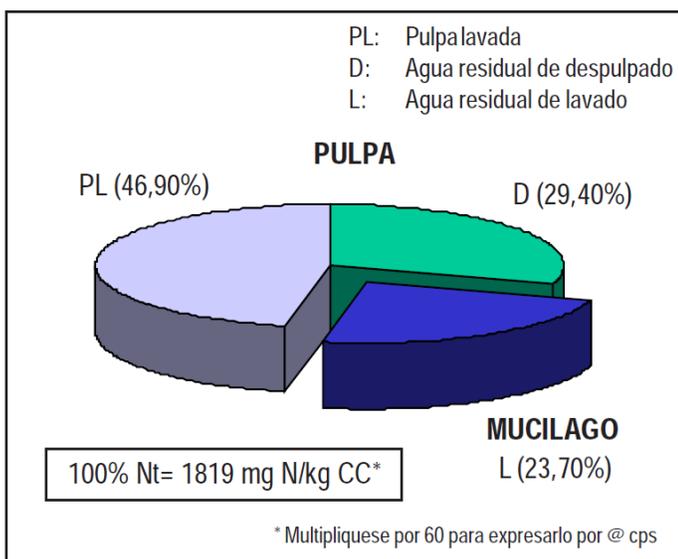


Figura 7. Nitrógeno Total Kjeldahl (Nt) de los subproductos del beneficio húmedo de café.
(Fuente Zambrano et al 1998)

En los subproductos del PBHC la pulpa ofrece la mayor fuente de nitrógeno; así se puede deducir de la Figura 2, donde el nitrógeno corresponde a las tres cuartas partes del nitrógeno total contenido en los subproductos del PBHC. Si se transporta este subproducto con agua se puede reducir drásticamente este elemento. (Blandón 1996)

La pulpa del café descompuesta es una fuente excelente de materia orgánica para el suelo. La materia orgánica descompuesta aeróbicamente se utiliza como abono orgánico en forma de compost.

El compost de pulpa es un material de consistencia arcillosa, rico en nitrógeno, fósforo y potasio, con excelentes propiedades acondicionadoras del suelo, conformada entre otros por minerales y una amplia variedad de microorganismos que representa un papel importante para el desarrollo de las plantas. A lo anterior debe sumarse que los fertilizantes presentes en este tipo de abono orgánico se van disponiendo lentamente en el suelo, lo que permite aumentar su aprovechamiento mejorando las propiedades físicas del suelo.

5.2.5 Manejo de la Pulpa de café

Dependiendo del tamaño de las fincas, los productores podrán hacer un aprovechamiento más integral de los subproductos, uno de estos usos, es a través de la utilización de la pulpa de café para la producción de abono orgánico.

5.2.5.1 Abono Orgánico

Se entiende por abono orgánico todo material de origen orgánico utilizado para fertilización de cultivos o como mejorador de suelos. Se incluye dentro de los abonos orgánicos materiales como la gallinaza, la pulpa de café, coberturas como el kudzu o Arachis, compost y ácidos húmicos.

El sistema tradicional, más conocido en la zona cafetera para la transformación de la pulpa en abono orgánico, ha sido el compostaje que es la descomposición en fosas y el lombricompostaje que acelera el proceso de transformación de este subproducto

5.2.5.2 Compostaje

Es la descomposición de la pulpa en fosas, estas son construcciones en las cuales ocurre la transformación de la pulpa en compost. El compost es un proceso biológico controlado de transformación de la materia orgánica a través de la descomposición aeróbica. (Arcila et al 2007)

5.2.5.3 Fosas de Compostaje

Son construcciones especiales, siempre techadas, donde se almacena y se desarrolla una adecuada descomposición (transformación en humus) de la pulpa para su posterior utilización. Para fincas con producciones superiores a 500@ cps/año, se recomienda construcciones sólidas y duraderas (adobe y cemento). Para producciones inferiores, en guadua, comúnmente llamadas “chiqueros”. (FNC, 1979).

5.2.5.4 Diseño de Fosas

Para el diseño de las fosas se debe tener en cuenta el volumen específico de producción de pulpa fresca según la producción anual de arrobas cps/ha - año, con esto se asegura que la capacidad de almacenamiento sea suficiente. Ver tabla 2.

Durante el beneficio por vía húmeda del café se generan subproductos y efluentes líquidos altamente contaminantes para los ecosistemas y el medio ambiente. Como se mencionó, el mucílago aporta el 26,3% de la carga contaminante total generada por los residuos del beneficio por vía húmeda.

Al aplicar el sistema de los cuatro enjuagues para la remoción del mucílago fermentado, se obtiene una reducción considerable en el volumen de agua requerida, dando lugar a un efluente líquido altamente concentrado que al ser descargado a las corrientes de agua generaría un fuerte impacto negativo en las mismas y en la vida acuática en ella existente, además, daría lugar al cobro de las Tasas Retributivas, afectando de esta forma los ingresos del caficultor y su calidad de vida.

5.2.5.5 Lombricompostaje

La lombricultura es el cultivo intensivo de la lombriz roja *Eisenia foetida* en residuos orgánicos para obtener lombricompost. En este caso, con pulpa del café, se realiza en «camas» o «lechos» de un metro de ancho y longitud variable de acuerdo a la disponibilidad de terreno, tradicionalmente de 2 a 3 m y una altura de 0,40 m. El área en donde se establece el lombricultivo debe estar techada para evitar el encharcamiento por el agua de lluvia, con cerramiento lateral para evitar la entrada de aves y otros depredadores de la lombriz.

De acuerdo a la densidad de la lombriz, en promedio 5 kg de lombriz/m², se alimenta el lombricultivo una o dos veces a la semana con pulpa y se estima que en un metro cuadrado se maneja y procesa una tonelada de pulpa por año.

Tabla 2. Dimensiones fosa según la producción anual de café pergamino seco. (Fuente FNC1979)

Producción anual @ arrobas* CPS	Altura de la fosa metros	Ancho de la Fosa metros	Largo de la fosa metros	Volumen de la fosa metros³
500	2	2	3	12
600	2	2	4	16
700	2	2	4,5	18
800	2	2	5	20
900	2	2	5,5	22
1000	2	3	4	24
1200	2	3	5	30
1400	2	3	6	36
1600	2	3	7	42
1800	2	3	7,5	45
2000	2	3	8	48
2500	2	4	8	64
3000	2	4	9,5	76
3500	2	4	11	88
4000	2	4	12	96
4500	2	4	14	112
5000	2	5	12,5	125
6000	2	5	15	150
7000	2	5	17,5	175
8000	2	5	20	200
9000	2	5	22,5	225

**una @ arroba equivale a 12,50 kilos*

De acuerdo a la densidad de la lombriz, en promedio 5 kg de lombriz/m², se alimenta el lombricultivo una o dos veces a la semana con pulpa y se estima que en un metro cuadrado se maneja y procesa una tonelada de pulpa por año.

El lombricompuesto obtenido se utiliza como abono en huertas, viveros, etc. (Ferruzzi 1987) En CENICAFE se ha encontrado que la mezcla de una parte de lombricompuesto con tres partes de suelo es la más adecuada para la preparación de almácigos de café. (Salazar 1992).

5.3 Marco Legal

El artículo 8 de la Constitución Política de 1991 dispone que es obligación del estado y las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la nación.

La Guía Ambiental para el sector Cafetero, segunda edición, en su marco jurídico señala que en los artículos 79 y 80 de la Constitución Nacional se dispone que el Estado tiene el deber de proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y garantizar el desarrollo sostenible a través de la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.

Las políticas nacionales desde el año 1974 con el Decreto-ley 2811 de 1974 por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de protección de medioambiente se han implementado con mayor rigidez; la normatividad en el recurso hídrico (ver tabla 3.) como instrumento para gestión integral del recurso hídrico, se agrupa en cuatro instrumentos: de planeación, de comando y control, económicos y sancionatorios.

Tabla 3. Normatividad en el recurso hídrico en Colombia

Norma	Número	Año	Epígrafe
Decreto Ley	2811	1974	Por la cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de protección al Medio Ambiente.
Decreto	1594	1984	Por él se reglamenta parcialmente el Título I de la ley 9 de 1979, así como el capítulo II del título VI -Parte III- libro II y el título III de la parte III-libro I- del Decreto -ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos
Ley	99	1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medioambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental - SINA- y se dictan otras disposiciones.
Ley	373	1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua
Resolución	372	1998	Por la cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimiento líquidos y se dictan disposiciones
Resolución	1096	2000	Reglamento Técnico del RAS
Decreto	1323	2007	Por la cual se crea el sistema de información del recurso hídrico (SIRH)
Decreto	1324	2007	Por el cual se crea el registro de usuarios del recurso hídrico y se dictan otras disposiciones
Resolución	2115	2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
Ley	1333	2009	Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones
Decreto	3678	2010	Por el cual se establecen los criterios para la imposición de las sanciones consagradas en el artículo 40 de la ley 1333 del 21 de julio de 2009 y se toman otras determinaciones.
Decreto	3930	2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II del Decreto-Ley 2811 de 194 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

Decreto	2086	2010	Por la cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1 del artículo 40 de la ley 1333 del 2009
Decreto	4728	2010	Por el cual se modifica parcialmente el decreto 3930 de 2010
Decreto	1640	2012	Por medio del cual se reglamenta los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.
Decreto	2667	2012	Por el Cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones
Resolución	1207	2014	Por el cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales
Resolución	631	2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
Decreto	1076	2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

5.3.1 Decreto 3678 de 2010

Objetivo: El presente decreto tiene por objeto señalar los criterios generales que deberán tener en cuenta las autoridades ambientales para la imposición de las sanciones consagradas en el artículo 40 de la Ley 1333 del 21 de julio de 2009.

Artículo 2. Tipos de sanción. Las autoridades ambientales podrán imponer alguna o algunas de las siguientes sanciones de acuerdo con las características del infractor, el tipo de infracción y la gravedad de la misma: 1. Multas diarias hasta por cinco mil (5.000) salarios mínimos mensuales legales vigentes; 2. Cierre temporal o definitivo del establecimiento, edificación o servicio; 3. Revocatoria o caducidad de licencia ambiental, autorización, concesión, permiso o registro; 4. Demolición de obra a costa del infractor; 5. Decomiso definitivo de especímenes, especies silvestres exóticas, productos y

subproductos, elementos, medios o implementos utilizados para cometer la infracción; 6. Restitución de especímenes de especies de fauna y flora silvestres; 7. Trabajo comunitario según condiciones establecidas por la autoridad ambiental.

Artículo 4.- Multas. Las multas se impondrán por parte de las autoridades ambientales cuando se cometan infracciones en materia ambiental, en los términos del artículo 50 de la Ley 1333 de 2009, y con base en los siguientes criterios: **B**: Beneficio ilícito, **α** : Factor de temporalidad, **i**: Grado de afectación ambiental y/o evaluación del riesgo, **A**: Circunstancias agravantes y atenuantes, **Ca**: Costos asociados, **Cs**: Capacidad socioeconómica del infractor.

$$\text{Multa} = B + [(\alpha * 1) * (1 + A) + Ca] * Cs$$

Donde:

- *Beneficio ilícito:* Consiste en la ganancia o beneficio que obtiene el infractor. Este beneficio puede estar constituido por ingresos directos, costos evitados o ahorros de retrasos.
- *Factor de temporalidad:* Es el factor que considera la duración de la infracción ambiental, identificando si ésta se presenta de manera instantánea o continúa en el tiempo.
- *Grado de afectación ambiental:* Es la medida cualitativa del impacto a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de sus efectos.
- *Evaluación del riesgo:* Es la estimación del riesgo potencial derivado de la infracción a la normatividad ambiental o a los actos administrativos y que no se concreta en impactos ambientales.
- *Circunstancias atenuantes y agravantes:* Son factores que están asociados al comportamiento del infractor, al grado de afectación del medio ambiente o del área, de acuerdo a su importancia ecológica o al valor de la especie afectada, las cuales se encuentran señaladas de manera taxativa en los artículos 6 y 7 de la Ley 1333 de 21 de julio de 2009.
- *Costos asociados:* La variable costos asociados, corresponde a aquellas erogaciones en las cuales incurre la autoridad ambiental durante el proceso sancionatorio y que son responsabilidad del infractor en los casos en que establece la ley. Estos costos son diferentes a aquellos que le son atribuibles a la

autoridad ambiental en ejercicio de la función policiva que le establece la Ley 1333 de 2009.

Capacidad socioeconómica del infractor: Es el conjunto de cualidades y condiciones de una persona natural o jurídica que permiten establecer su capacidad de asumir una sanción pecuniaria

5.3.2 Decreto 3930 de 2010

Objetivo: El presente decreto establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados

Artículo 24. Prohibiciones. No se admite vertimientos: 1. En las cabeceras de las fuentes de agua. 2. En acuíferos. 3. En los cuerpos de aguas o aguas costeras, destinadas para recreación y usos afines. 4. En un sector aguas arriba de las bocatomas para agua potable. 5. En cuerpos de agua que la autoridad ambiental competente declare total o parcialmente protegidos. 6. En calles, calzadas y canales o sistemas de alcantarillados para aguas lluvias. 7. No tratados provenientes de embarcaciones, en aguas superficiales dulces, y marinas. 8. Sin tratar, provenientes del lavado de vehículos, del lavado de aplicadores manuales y aéreos, de recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas. 9. Que alteren las características existentes en un cuerpo de agua que lo hacen apto para diferentes usos. 10. Que ocasionen altos riesgos para la salud o para los recursos hidrobiológicos

Artículo 41. Requerimiento de permiso de vertimiento. Toda persona natural o jurídica cuya actividad o servicio genere vertimientos a las aguas superficiales, marinas, o al suelo, deberá solicitar y tramitar ante la autoridad ambiental competente, el respectivo permiso de vertimientos.

Artículo 44. Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos. Las personas naturales o jurídicas de derecho público o privado que desarrollen actividades

industriales, comerciales y de servicios que generen vertimientos a un cuerpo de agua o al suelo deberán elaborar un Plan de Gestión del Riesgo para el Manejo de Vertimientos en situaciones que limiten o impidan el tratamiento del vertimiento.

5.3.3 Decreto 2667 del 2012

Objetivo: Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.

Artículo 14. Tarifa de la tasa retributiva (Ttr). Para cada uno de los parámetros objeto de cobro, la autoridad ambiental competente establecerá la tarifa de la tasa retributiva (Ttr) que se obtiene multiplicando la tarifa mínima (Tm) por el factor regional (Fr), así:

$$Ttr = Tm \times Fr$$

Artículo 15. Tarifa mínima de la tasa retributiva (Tm). El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establecerá anualmente mediante resolución, el valor de la tarifa mínima de la tasa retributiva para los parámetros sobre los cuales se cobrará dicha tasa, basado en los costos directos de remoción de los elementos, sustancias o parámetros contaminantes presentes en los vertimientos líquidos, los cuales forma parte de los costos de recuperación del recurso afectado

5.3.4 Resolución 1207 del 2014

Objetivo: Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.

Artículo 1. Objeto y Ámbito de aplicación. Establecer las disposiciones relacionadas con el uso del agua residual tratada y no aplica para su empleo como fertilizante o acondicionador de suelos.

Artículo 4. Vertimientos. En caso que el uso del agua residual tratada de lugar a la modificación del permiso de vertimientos, deberá adelantarse el trámite correspondiente ante la Autoridad Ambiental competente. Sí la totalidad de las aguas residuales tratadas se reúsan no se requiere permiso de vertimientos y no habrá lugar al pago de la correspondiente tasa retributiva.

Artículo 6. De los usos establecidos para agua residual tratada. Las aguas residuales tratadas se podrán utilizar en los siguientes usos

Uso Agrícola. Para el riego de: Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal; Cultivos no alimenticios para humanos o animales; Cultivos de fibras celulósicas y derivados; Cultivos para la obtención de Biocombustibles (Biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes; Cultivos forestales de madera, fibras y otros no combustibles; Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos; Áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento; Jardines en áreas no domiciliarias.

Artículo 7. Criterios de calidad. El uso de agua residual tratada deberá cumplir previamente los criterios de calidad establecidos en la resolución.

5.3.5 Resolución 631 del 2015

Objetivo: Por la cual se establecen los párameros y los valores límites máximo permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Artículo 9. Los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (ARnD) a cuerpos de aguas serán los siguientes:

PARAMETRO	UNIDADES	PROCESAMIENTO DE HORTALIZAS, FRUTAS, LEGUMBRES, RAICES Y TUBERCULOS	BENEFICIO DE CAFÉ (CLASIFICACIÓN DE LA FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS - FNC/CENICAFE)	
			PROCESO O ECOLÓGICO	PROCESO TRADICIONAL
Generales				
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	5,00 a 9,00	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150,00	3.000,00	650,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	50,00		400,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	800,00	400,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	10,00	10,00
Grasas y Aceites	mg/L	10,00	30,00	10,00
Compuestos de Fósforo				
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno				
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Otros Parámetros para Análisis y Reporte				
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm).	m ⁻¹	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Artículo 17 De la exclusión de parámetros de la caracterización. El responsable de la actividad podrá solicitar ante la Autoridad Ambiental competente la exclusión de algunos parámetros, siempre y cuando mediante de balances de materia o de masa y con la relación de la respectiva caracterización demuestre que estos no se encuentran presentes en las aguas residuales.

Artículo 18. Recopilación de la información de los resultados de los parámetros. Los resultados de los parámetros objeto de análisis y reporte deberán ser presentados anualmente al responsable de las Autoridades Ambientales competentes, las cuales a su vez deberán remitirse de forma compilada al MADS. La información deberá presentarse anualmente con corte a 31 de diciembre de cada año.

5.3.6 Decreto 1076 del 2015

Objetivo: Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del sector del Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Artículo 2.1.1.1.1. Objeto. El objeto de este decreto es compilar la normatividad expedida por el Gobierno Nacional en ejercicio de las facultades reglamentarias

conferidas por el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política, para la cumplida ejecución de las leyes del sector Ambiente.

Artículo 2.1.1.1.1.2. Ámbito de Aplicación. El presente decreto rige en todo el territorio nacional y aplica a las personas naturales y jurídicas y a las entidades del sector ambiente, a las Corporaciones Autónomas Regionales, a los grandes centros urbanos de que trata el artículo 66 de la Ley 99 de 1993, a las autoridades ambientales de que trata el artículo 13 de la Ley 768 de 2002 en el ámbito de sus competencias.

5.3.7 Otra Normativas

Además de la reglamentación para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, en Colombia existen otras normativas que establecen pautas en pro de la conservación y buen uso de los recursos naturales.

El suelo está interconectado con otros elementos o recursos del medio ambiente, por lo tanto su uso depende de otras políticas y normas ambientales que definen las actividades que allí se pueden desarrollar:

5.3.7.1 Política de gestión integral ambiental del suelo en Colombia – GIAS

Como antecedentes de la gestión integral ambiental del suelo, las Direcciones de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana y la de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, trabajaron conjuntamente en la construcción de los documentos base para su formulación.

En el año 2011 y 2012 se estableció un convenio de asociación entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS y el IDEAM, en el marco de esta unión, en el año 2011 se constituyó un Comité Interinstitucional de Suelos - CTS, el cual está conformado por representantes de diferentes entidades públicas y privadas y de la academia en el nivel central, y al día de hoy participan el DNP, el IDEAM, la Universidad Nacional, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Ministerio de Vivienda, IGAC,

Ministerio de Minas y Energía, Colciencias, Parques Nacionales, Ingeominas, la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, la Universidad Piloto de Colombia y Corporaciones Autónomas Regionales entre otros; así como organizaciones internacionales como el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA y la Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO.

Posteriormente, se trabajó entre El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Universidad Nacional de Colombia, con el objeto de "Aunar esfuerzos, técnicos, administrativos, financieros, humanos e interinstitucionales para formular la política para la gestión integral ambiental del suelo".

Actualmente se cuenta con un documento de propuesta de política, que fue construido por las entidades, la academia y la comunidad, en el marco de un convenio suscrito entre el MADS y la Universidad Nacional.

Cabe mencionar que en dicha construcción, se realizaron encuentros regionales, y se trabajó articuladamente con la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria-UPRA del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. El objetivo de dichos encuentros fue realizar un reconocimiento de los criterios empleados por los actores en la gestión del territorio para el uso agropecuario, a partir de la caracterización participativa de la condición actual del uso del suelo rural y la distribución de la propiedad, y de igual manera, recibir sus aportes en el proceso de formulación de la Política para la Gestión Integral Ambiental del Suelo. (MINAMBIENTE 2015)

Residuos o desecho peligrosos: Actualmente, los residuos peligrosos son considerados como fuentes de riesgo para el medio ambiente y la salud. Estos residuos generados a partir de actividades industriales, agrícolas, de servicios y aún de las actividades domésticas, constituyen un tema ambiental de especial importancia en razón de su volumen cada vez creciente como consecuencia del proceso de desarrollo económico. Su problemática se asocia a diversas causas como por ejemplo, la presencia de impurezas de los materiales, la baja tecnología de proceso, las deficiencias de las prácticas operacionales o las características de los productos y sustancias al final de su

vida útil, entre otras. Los casos que generan la mayor preocupación social se derivan de los efectos evidenciados sobre la salud y el medio ambiente, resultantes de una disposición inadecuada de este tipo de residuos (MINAMBIENTE 2005)

5.3.7.2 La Política Ambiental para la gestión Integral de los residuos o desechos peligrosos para Colombia

En el caso de Colombia esta Política obedece a una estrategia de identificación y solución simultánea de la problemática de los Residuos o desechos peligrosos - RESPEL. El Consejo Nacional Ambiental aprobó el 16 de diciembre de 2005 la Política Ambiental para la Gestión Integral de los Residuos ó Desechos Peligrosos. Su formulación facilita la planificación estratégica de acciones a corto y mediano plazo, con un horizonte de gestión hasta el año 2018, establece el marco conceptual para el desarrollo de las normas específicas y orienta a los actores, tanto públicos como privados en el cumplimiento de los objetivos propuestos. La Tabla 4 contiene una síntesis de los principales criterios y principios que integran en general las Políticas de RESPEL en el marco del desarrollo sostenible. (MINAMBIENTE 2007)

5.3.7.3 Planes de gestión integral de residuos sólidos– PGIRS

El Decreto 2981 del 20 de diciembre de 2013 establece que "los municipios y distritos, deberán elaborar, implementar y mantener actualizado un plan municipal o distrital para la gestión integral de residuos o desechos sólidos (PGIRS) en el ámbito local y/o regional según el caso, en el marco de la gestión integral de los residuos, el presente decreto y la metodología para la elaboración de los PGIRS".

Tabla 4. Principales principios y conceptos que fundamentan las políticas de RESPEL

PRINCIPIO	CONCEPTO
RESPONSABILIDAD INTEGRAL DEL GENERADOR EN TODO EL CICLO DE VIDA	En este principio se incluye también el concepto de responsabilidad extendida aplicado a los fabricantes o importadores de bienes de consumo con características peligrosas quienes serán responsables de la gestión de residuos producidos al término de la vida útil del producto.
PREVENCIÓN	Se debe prevenir la generación de los residuos en la fuente, tanto en su cantidad como en su peligrosidad, involucrando en consecuencia sistemas productivos más eficientes, sustitución de materias primas por otras de menos peligro o cambios tecnológicos.
PRECAUCIÓN	Se deben aplicar medidas para prevenir los riesgos asociados al manejo de residuos aun cuando no existan pruebas concluyentes sobre el posible daño, pero siempre y cuando existieran antecedentes razonables para presumir el mismo.
PARTICIPACIÓN PÚBLICA	Consiste en la posibilidad de que la sociedad pueda tener acceso a la información que se genere sobre los RESPEL, sobre la cual no existe reserva legal, así como la oportunidad de participar en procesos de adopción de programas de minimización y manejo integral de los RESPEL.
GRADUALIDAD	La implementación de la política ambiental de RESPEL solo podrá alcanzarse y consolidarse gradualmente, para lo cual es clave la participación de todos los actores involucrados.
PRODUCCIÓN Y CONSUMO SOSTENIBLE	Se orienta a la reducción de la cantidad de materiales peligrosos utilizados y residuos peligrosos generados por unidad de producción de bienes y servicios, con el fin de aliviar la presión sobre el ambiente, aumentar la productividad y competitividad empresarial

El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, en conjunto con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, expidieron la Resolución No. 0754 del 25 de noviembre del 2014, por la cual se establece la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de segunda generación; la cual debe ser adoptada por los Alcaldes de

todos los municipios y distritos del país. Esta nueva metodología deroga la establecida en la Resolución 1045 de 2005. (MINVIVIENDA 2015).

Este documento aborda desde la clasificación, la evaluación de riesgos, los instrumentos para la gestión integral, los métodos de almacenamiento y transporte y el tratamiento y la disposición final de los residuos sólidos y los desechos peligrosos, para efectos del manejo de los desechos hay que tener en cuenta algunos criterios: en cuanto al aire, evaluar si la sustancia se encuentra en forma gaseosa, unida a las partículas sólidas o a las gotas de agua; en relación con el agua, revisar el potencial de absorción a la materia en suspensión y a los sedimentos y, finalmente, para proteger el suelo se debe medir el reparto de la sustancia entre el material articulado, el agua de poro y la fase gaseosa. (MINAMBIENTE 2007)

6. Materiales y Métodos

6.1 Área de estudio y muestra

La Finca Rebambaramba está ubicada Vereda El Paraíso del Municipio de El Líbano – Tolima, que reúne las siguientes condiciones: latitud Norte: 891730.20, Longitud Oeste: 1034843.29, altitud: 1500 msnm.

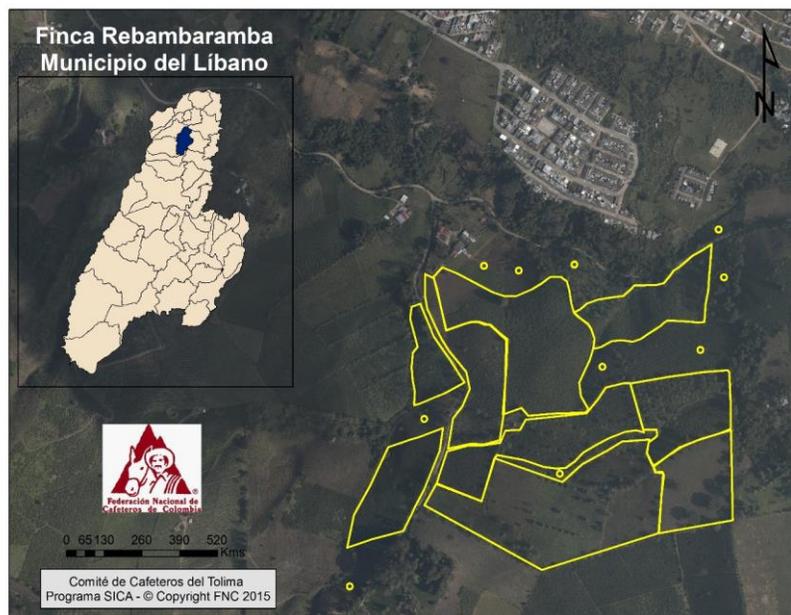


Figura 8. Finca Rebambaramba, Municipio de El Líbano – Tolima.
(Fuente: SICA – FNC 2015).

En este experimento se utilizó el diseño experimental en bloques Completamente al azar, con arreglo factorial en tratamientos con 5 replicaciones.

6.2 Materiales

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron los siguientes materiales.

- Fosa de compostaje: Se empleó una fosa de 3m de ancho por 5,5 m de largo y 1,5m de alto con disposición de recolección de lixiviados.



Figura 9. Fosa de compostaje para las unidades experimentales

- Lecho de Lombricompostaje: Se empleó un lecho de 4,5 m de ancho por 5m de largo y 0,4m de alto, con disposición de recolección de lixiviados.



Figura 10. Fosa de Lombricompostaje para las unidades experimentales

- 4500 kg de pulpa fresca proveniente del despulpado de café cereza para los tratamientos de Compostaje



Figura 11. Pulpa de café fresca para el uso de las unidades experimentales

- 300 kg de pulpa fresca proveniente del despulpado de café cereza para uso de tratamientos de lombricompostaje.
- 600 Lt de Miel de Primeras cabezas del lavado del café baba, y 125 Lt de la segunda cabezas de lavado, producto de la fermentación del mucilago.
- 4,5 litros de Microorganismo Eficientes EM



Figura 12. Microorganismos Eficientes (EM) utilizados en el Tratamiento 1 y 2

- 4,8 Kg de Levaduras



Figura 13. Levaduras utilizadas en los Tratamientos 3 y 4

- 210 kg de Miel de purga

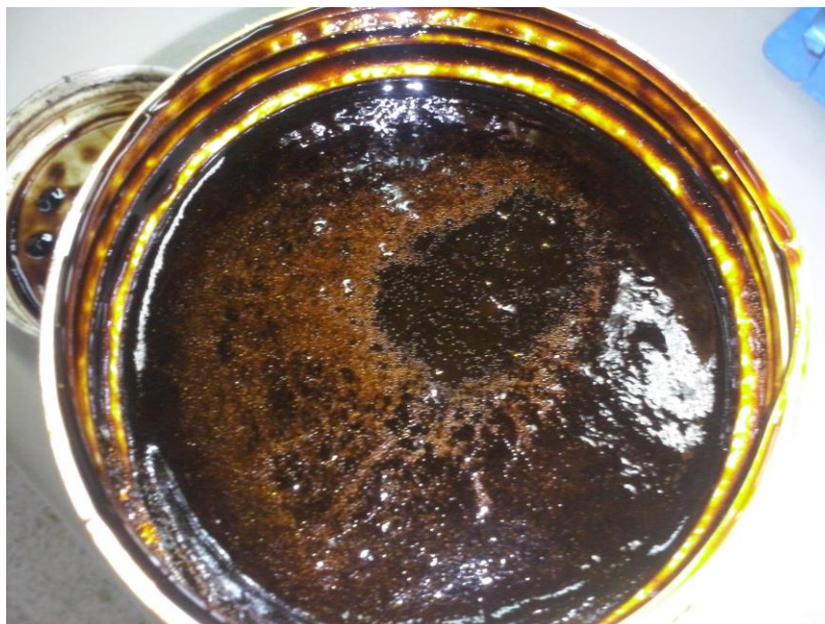


Figura 14. Miel de purga empleada en el Tratamiento 3.

- 80 Kg Lombriz Roja (*Eisenia foetida*) para el tratamiento con el lombricompost



Figura 15. Lombriz Roja (*Eisenia foetida*)

6.3 Parámetro de Evaluación

Calidad final de la pulpa descompuesta: Se tomó el subproducto final de cada tratamiento y se evaluaron las propiedades como pH y relación C/N del abono orgánico obtenida.

6.4 Método de Campo

En la finca Rebambaramba de la vereda El Paraíso del municipio de El Líbano se construyó en la parte posterior de la planta del beneficiadero ecológico la fosa para la descomposición de la pulpa fresca y la transformación a compostaje y lombricompostaje en un área de 40 m².



Figura 16. Construcciones realizadas para el desarrollo del trabajo experimental

Se evaluaron 2 testigos y 6 tratamientos a saber:

Testigo 1: Compostaje de la pulpa

Testigo 2. Lombricompostaje de la pulpa

Tratamiento 1: Compostaje de la pulpa + EM

Tratamiento 2: Lombricompostaje de la pulpa + EM

Tratamiento 3: Compostaje de la pulpa + levadura + miel de purga

Tratamiento 4: Compostaje de la pulpa + levadura + 1^a cabeza de lavado del café

Tratamiento 5: Compostaje de la pulpa + 1ª cabeza de lavado del café

Tratamiento 6: Compostaje de la pulpa + 1ª y 2ª cabeza de lavado del café

Por cada tratamiento se evaluaron 5 réplicas.

La pulpa utilizada en todas las unidades experimentales provino de un lote de Café Variedad Castillo, con 36 meses de edad, lote C5, exposición solar, 18.000 árboles de café, con una distancia de siembra de 1m x 2m



Figura 17. Cultivo de café variedad castillo, Lote C5

Para realizar la toma de las variables a las unidades experimentales, se tomó una muestra del centro de la unidad experimental de cada réplica por tratamiento, para esto se utilizó guantes o en algunos casos una manga plástica; la cantidad aproximadamente de esta muestra fue entre 50 y 100 gramos, estas variables se midieron semanalmente.

MEDICION DE VARIABLES

Para la medición de la variable del pH se empleó un Medidor electrónico de pH de Bolsillo, para cada medida se aseguraba de realizar la calibración sumergiendo el dispositivo en una solución de pH 7,00; seguido se sumerge en una solución de pH 4,00. Al mismo tiempo se emplearon cintas de medición de pH como controles.



Figura 18. Toma de pH a las muestras de las unidades experimentales con dispositivo electrónico y cinta de colores

Para la medición de la variable temperatura se empleó un Termómetro de punzón metálico TECNİK, con un rango de -10°C a 110°C . La medición de temperatura se tomó del centro de la masa.



Figura 19. Toma de temperatura a las muestras de las unidades experimentales

Para la medición de la variable Lixiviados se emplearon recipientes provenientes de pimplinas plásticas las cuales se dividieron longitudinalmente para facilidad de recolección. Para los tratamientos que generaron mayores volúmenes de lixiviados fue necesario utilizar varios recipientes para su almacenamiento.



Figura 20. Recolección del lixiviado en las unidades experimentales de los tratamientos

6.4.1 Compostaje

Para la pulpa en proceso de compostaje se tomó como unidad experimental 150 kg de masa, la cual para que sea representativa de los procesos de transformación debe tener mínimo 1,50 metros de altura.

Teniendo en cuenta las propiedades físicas del fruto de café (ángulo de reposo medio 40°, densidad media 624 kg/m³) y del café despulpado (ángulo de reposo medio 33°, densidad media 826 kg/m³) (Oliveros y Roa, 1985), se calculó por correlación el ángulo de reposo de la pulpa (densidad media 298,20 kg/m³).

Tabla 5. Algunas propiedades Físicas del fruto del café y sus subproductos

	Densidad	Angulo de reposo
Café Cereza	624	40
Café Despulpado	826	33
Pulpa	298	51

Ecuación: $Y = -0,0347X + 61,624$

Y= Angulo de reposo

X=Densidad

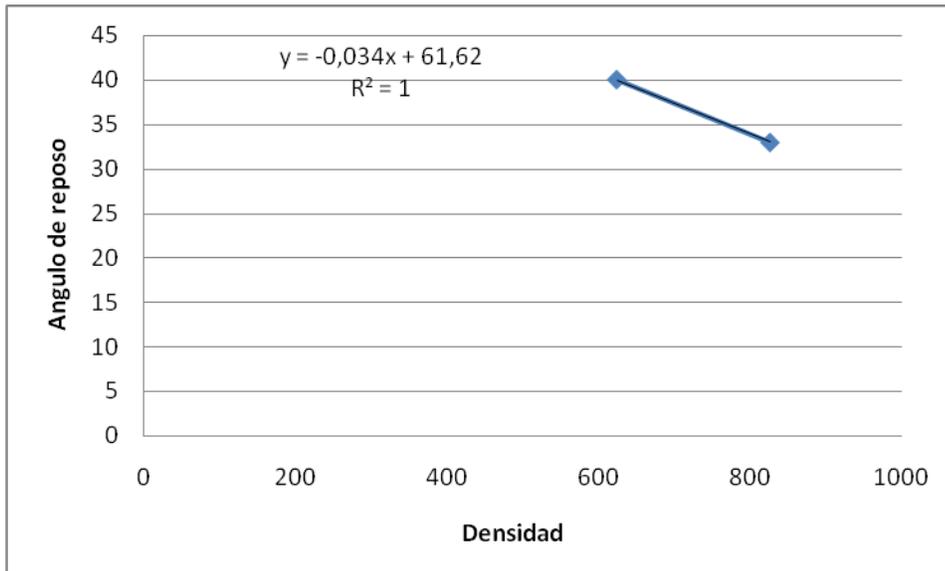


Figura 21. Relación de la densidad y el Angulo de reposo del fruto del café

Para lograr que 150 kg de pulpa tengan 1,50 metros, fue necesario construir, por unidad experimental, 2 paredes en esterilla y guadua, para colocarlas en los extremos de la pila y evitar que las cáscaras resbalen. La altura de cada pared fue de 1,60 metros, el ancho de 0,50 metros y largo de 0,70 metros.



Figura 22. Interior de las fosas para los tratamientos de compostaje

Para permitir la mezcla de cada unidad experimental se construyó una sexta unidad (Ver Figura 23), y las paredes en esterilla de guadua, de tal forma que estas se pudieran retirar y permitir el flujo del sustrato



Figura 23. Diseño con “espacio libre” en las unidades experimentales de compostaje para facilitar el volteo semanal

Cada unidad o réplica de 150 kg de masa requirió de 0,35 m², necesitando: 6 tratamientos en compostaje * 5 réplicas * 150 kg de pulpa = 4500 kg de pulpa.

Al Tratamiento Testigo no se le adicionó ningún elemento, se le realizó únicamente un volteo semanal, todos los tratamiento a compostar fueron volteados semanalmente y los lixiviados propios de la pulpa se recogieron e incorporaron, nuevamente a la masa.

6.4.2 Lombricompostaje

Dado que la lombricultura el factor limitante es el espesor de la capa de sustrato y no su cantidad, estos tratamientos se realizaron considerando como unidad experimental 2 m².

Para organizar el cultivo, se utilizaron camas por réplica construidas en esterilla y guadua; de 1 m de ancho, altura de 40 cm y 2 m de longitud. El piso fue de esterilla y elevado de suelo a 20 cm permitiendo de esta forma aislar el cultivo del suelo con el fin de evitar el ataque de posibles plagas (planarias, sanguijuelas, hormigas, etc.). (Dávila, et al., 1994)



Figura 24. Construcción de fosas para lombricompostaje

En las camas de 2 m² se empezó depositando una capa inicial de 10 a 15 cm de pie de cría de lombrices; depositando en el fondo de la cama pulpa descompuesta. Así, se asegura que la lombriz disponga de un medio para refugiarse si las siguientes condiciones del alimento no son las adecuadas: pH=6 - 8, T° = 20-25 °C, Humedad=75 - 85%.

Se utilizaron capas delgadas de alimento, de máximo 4 a 5 cm, para evitar el calentamiento del alimento cuando se usa muy fresco, facilitar la aireación del cultivo, asegurar la transformación del material y mantener las lombrices alimentándose en la parte superior, este material se aplicó cada mes.

Para 2 m² de área y capas de 5 cm, se requirió, según la densidad de la pulpa (298,20 kg/m³), una cantidad de 30 kg de pulpa fresca y lombrices a razón de 4 kg de lombriz roja comercial/m² de lombricultivos.

Para el lombricompostaje se trabajaron con 2 tratamientos con 5 réplicas cada uno, y 30 kg de Pulpa fresca para un total de 300 kg de pulpa y 80 kg de Lombriz Roja (*Eisenia foetida*)

6.4.3 Testigo 1: Compostaje de la pulpa

Lo primero fue tomar, de cada unidad experimental, una muestra inicial de pulpa (aproximadamente 250 g) y empacarla en una bolsa, de tal forma que quedara bien compacta y sellada para evitar que el aire permita el inicio de la descomposición, se rotuló y envió en el menor tiempo posible a Cenicafé. En campo se midió el pH de la pulpa inicial y se recolectó el lixiviado generado.

Se realizaron volteos, cada 8 días. Antes de iniciar el volteo, se midió en el centro de la masa (parte central del área superficial y profundidad hasta la mitad de la altura) la temperatura y luego se retiraron, del mismo centro, una muestra (no mayor de 50 g) y se midió el pH. Luego se midió el volumen de los lixiviados recogidos y su pH. Paso siguiente se inició con el proceso de volteo y a medida que se trasladó la pulpa a la otra fosa, se adicionó, con regadera, los lixiviados recogidos. Luego se colocó a recoger nuevamente los lixiviados generados.

Se realizó el siguiente volteo, utilizando el mismo procedimiento. Al final de cada mes de proceso, se tomó una muestra de 250 gramos del centro de la masa, se rotuló y empacó (como se indicó con la muestra inicial) y se envió a Cenicafé, para su análisis. Al final del tercer mes, se dio por terminada la experimentación. Se tomó de cada unidad experimental, una muestra final de pulpa (aproximadamente 250 g) y se empacó, rotuló y envió a Cenicafé.



Figura 25. Toma de muestra por réplica (50 g), para la medición de diferentes variables

De igual manera se recogieron 500 ml de lixiviados (en una botella plástica), se rotularon y enviaron a Cenicafé. En campo se midió el pH final de la pulpa y del lixiviado final.

Se pesó el material final en cada unidad experimental.

6.4.4 Testigo 2: Lombricompostaje de la Pulpa

Lo primero fue tomar, de cada unidad experimental, una muestra inicial de pulpa, con una semana de generada (aproximadamente 250 g) y empacarla en una bolsa, de tal forma que quede bien compacta y sellada para evitar que el aire permita el inicio de la descomposición, se rotuló y envió a Cenicafé. En campo se midió el pH de la pulpa inicial y se recolectaron los lixiviados generados.

Se adicionó a cada unidad experimental 30 kg de pulpa, con una semana de generada. Y se realizó la segunda alimentación al finalizar el primer mes.

Cada 8 días, se midió en el centro de la masa la temperatura y luego se retiró, del mismo centro, una muestra pequeña (no mayor a 50 gramos) y se midió el pH. Luego se midió el

volumen de los lixiviados recogidos y su pH. Paso siguiente se adicionó, con regadera, los lixiviados recogidos sobre el lombricultivo. Se colocó a recoger nuevamente los lixiviados que se van a generar y se repitió el proceso hasta finalizada la experimentación. Antes de realizar la segunda alimentación, se tomó una muestra homogénea de todo el material de pulpa puesto a descomponer de 250 g y se empacó y enviarlo a Cenicafé (tal como se describió, anteriormente).

Al final del segundo mes, se dió por terminada la experimentación. Se tomó de cada unidad experimental, una muestra final de pulpa (aproximadamente 250 g) y se empacó, rotuló y envió a Cenicafé. De igual manera se recogieron 500 ml de lixiviados (en una botella plástica), se rotularon y enviaron a Cenicafé. En campo se midió el pH final de la pulpa y del lixiviado final.

Se pesó el material final en cada unidad experimental.

6.4.5 Tratamiento 1: Compostaje de la pulpa + EM

Se realizó el mismo procedimiento del tratamiento testigo 1.

Para los sustratos que requirieron EM, la dosis fue de 5 Litros preparados de EM por tonelada, los cuales se disolvieron en 45 litros de agua para un total de 50 litros de mezcla/tonelada.

Para el caso de una réplica del tratamiento que contiene 150 kg de pulpa, la dosis fue de 750 ml de EM, los cuales se disolvieron en 6,75 litros de agua, para una mezcla de 7,5 litros y se adicionaron proporcionalmente en cada volteo.

Se pesó el material final en cada unidad experimental

6.4.6 Tratamiento 2: Lombricompostaje de la pulpa + EM

Se realizó el mismo procedimiento que el Tratamiento del testigo 2.

Se adicionó a cada unidad experimental 30 kg de pulpa, con una semana de generada. Se adicionó con regadera y uniformemente sobre toda la pulpa del lombricultivos 1,5 litros de solución de EM activado (150 ml de EM puro, los cuales se disolvieron en 1,35 litros de agua). Se colocó a recoger el lixiviado generado. Se realizó la segunda alimentación al finalizar el primer mes. Antes de realizar la segunda alimentación, se tomó una muestra homogénea de todo el material de pulpa puesto a descomponer de 250 g y se empacó y enviarlo a Cenicafé (tal como se describió, anteriormente).

Al final del segundo mes, se dió por terminada la experimentación. Se tomó de cada unidad experimental, una muestra final de pulpa (aproximadamente 250 g) y se empacó, rotuló y envió a Cenicafé. De igual manera se recogieron 500 ml de lixiviados (en una botella plástica), se rotularon y enviaron a Cenicafé. En campo se midió el pH final de la pulpa y del lixiviado final.

Se pesó el material final en cada unidad experimental



Figura 26. Muestras de pulpa empacadas por cada Tratamiento para envío a Cenicafé

6.4.7 Tratamiento 3: Compostaje de la pulpa + levadura + miel de purga

Se realizó el mismo procedimiento inicial del testigo 1 (compostaje).

A diferencia al iniciar la experimentación se adicionó a la pulpa (40 g de levadura disuelta en 460 ml de agua) más 3,5 kg de miel de purga disuelta en 7 litros de agua. Así se obtuvieron los mismos 7,5 litros de solución que en el tratamiento 1. Estas sustancias disueltas se adicionaron con regadera y de forma uniforme sobre la pulpa al iniciar el proceso.

Cada 8 días después de medir los lixiviados generados y de medir su pH, a estos se adicionaron los 500 ml de solución de levadura y 7 litros de solución de melaza y se adicionaron, con regadera, durante el volteo. Y se continuó como en el tratamiento 1.

6.4.8 Tratamiento 4: Compostaje de la pulpa + levadura + 1ª Cabeza de Lavado

Se realizó todo igual que para el testigo 1 (compostaje).

Lo diferente fue que al iniciar la experimentación se adicionó a la pulpa (40 g de levadura disuelta en 460 ml de agua) + 150 litros de la primera cabeza de lavado.

Estas sustancias disueltas se adicionaron con regadera y de forma uniforme sobre la pulpa al iniciar el proceso.

El resto de la experimentación se realizó como en el tratamiento 1.

6.4.9 Tratamiento 5: Compostaje de la pulpa + 1ª Cabeza de Lavado

Se realizó todo igual que para el testigo 1 (compostaje).

Lo diferente fue que al iniciar la experimentación se adicionó a la pulpa, con regadera y de forma uniforme 150 litros de la primera cabeza de lavado. El resto de la experimentación se realizó como en el tratamiento 1

6.5 Tratamiento 6: Compostaje de la pulpa + 1ª y 2ª cabeza de lavado

Se realizó todo igual que para el testigo 1 (compostaje).

Lo diferente fue que al iniciar la experimentación se adicionó a la pulpa, con regadera y de forma uniforme 150 litros de la primera cabeza de lavado y 50 litros de la segunda cabeza de lavado. El resto de la experimentación se realizó como en el tratamiento 1.

6.6 Variables a medir

Se determinó el rendimiento medio:

- Rendimiento Base Seca = $(\text{material seco descompuesto/pulpa seca inicial}) * 100$
- Rendimiento Base Húmeda = $(\text{material descompuesto húmedo/pulpa inicial húmeda}) * 100$
- Se determinó pH, Temperatura y volumen de lixiviados en cada volteo semanal
- C/N, y humedad del material al inicio y al final del proceso.

6.7 Evaluación estadística

Para el análisis de la información obtenida, se realizó un análisis descriptivo y un análisis de varianza (ANOVA) de las variables en estudio.

7. Resultados y Discusión

7.1. RESULTADOS PARA LA VARIABLE pH

Durante el proceso de transformación de la pulpa de café en los procesos de compostaje y lombricompostaje utilizando y sin utilizar microorganismos y otras fuentes de carbono, se observa que todos los tratamientos presentaron en general la misma tendencia, esto es, un incremento en el pH de la masa, a partir de la semana 1, encontrándose para la mayoría de los casos, valores superiores a 9,00 para pH en la semana 4, estos máximos valores fueron registrados para el Testigo 1 con 9,76; Tratamiento 3 con 9,60; el Tratamiento 5 con 9,48; Tratamiento 6 con 9,32 y el Tratamiento 1 con 9,18.

Al finalizar el proceso de compostaje y lombricompostaje, sobre la semana 13 la tendencia en los valores del pH para todos los Tratamientos fue a estabilizarse en valores sobre el rango neutro (entre 7 - 8), los máximos valores de pH al final del trabajo de campo fue para el Tratamiento 4 con 8,40; el Testigo 2 y los Tratamientos 5 y 6 registraron valores finales del pH por 8,30. El valor final más bajo fue del Testigo 1 con 7,20 (Ver Figura 27)

Según algunos autores la variación del pH durante el proceso de compostaje se debe al desarrollo de tres fases. Durante la fase mesófila inicial se observa una disminución del pH debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más frágil, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos. Eventualmente, esta bajada inicial del pH puede ser muy pronunciada si existen condiciones anaeróbicas, pues se formarán aún más cantidad de ácidos orgánicos. En una segunda fase se produce una alcalinización progresiva del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas. Sánchez-Monedero 2001 (citado por Bueno *et al* 2008).

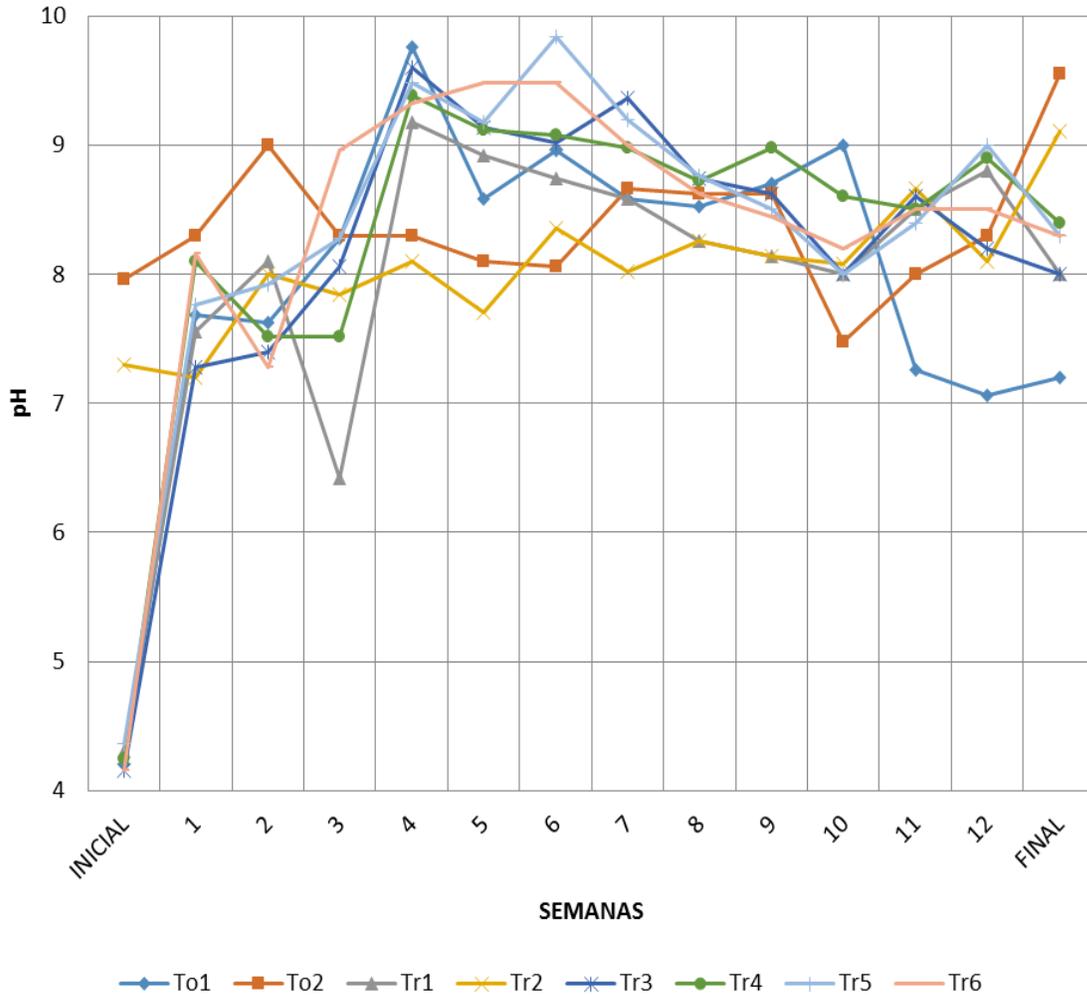


Figura 27. Evolución del pH en las unidades experimentales durante 12 semanas

Y en la tercera fase el pH tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos que tienen propiedades tampón. Suler y col 1977, citado por Bueno *et al* 2008 establecieron una relación entre los cambios de pH y la aireación de la mezcla, concluyendo que un compostaje con la aireación adecuada conduce a productos finales con un pH entre 7 y 8; valores más bajos del pH son indicativos de fenómenos anaeróbicos y de que el material aún no está maduro. Posteriormente estos mismos autores estudiaron la relaciones pH aireación- microorganismos existentes en el proceso, y dedujeron que la degradación orgánica se inhibe a pH bajos, por lo que si el pH se

mantiene por encima de 7,5 durante el proceso es síntoma de una buena descomposición.

7.2. RESULTADOS PARA LA VARIABLE TEMPERATURA

Al inicio del trabajo en campo la Temperatura de la masa para todos los Tratamientos iniciaron con Temperatura ambiente es decir, 22°C; luego para la semana 1, cuando se realizó el primer volteo, los valores de Temperatura para la mayoría de los tratamientos presentaron una tendencia similar, registrando las máximas Temperaturas en grados Celsius, durante la 1 semana los Tratamientos 5 con valor de 39,50 °C, los Tratamientos 6 y 4 con 38,20°; para la semana 4 la tendencia de la Temperatura para todos los Tratamientos fue a ser estable, con valores entre 23,00° y 26,00° respectivamente. (Ver Figura 28) Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, al igual que con la variable del pH, se distinguen algunas etapas principales dentro del proceso de compostaje: Una primera fase llamada Mesófila, donde la masa inicial comienza a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta, este aumento de temperatura es debido a la actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de Carbono (C) y Nitrógeno (N) generando calor. La segunda fase llamada Termófila, corresponde, al crecimiento de los microorganismos que se desarrollan a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), estas actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de Carbono (C), como la celulosa y la lignina. Además estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco. La tercera fase es llamada de Enfriamiento o Mesófila II, pues agotadas las fuentes de Carbono (C) y, en especial el Nitrógeno (N) en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa; para la última fase llamada de

Maduración, la Temperatura de la masa llega a temperatura ambiente, aquí se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. (Román et al 2013, pág. 23)

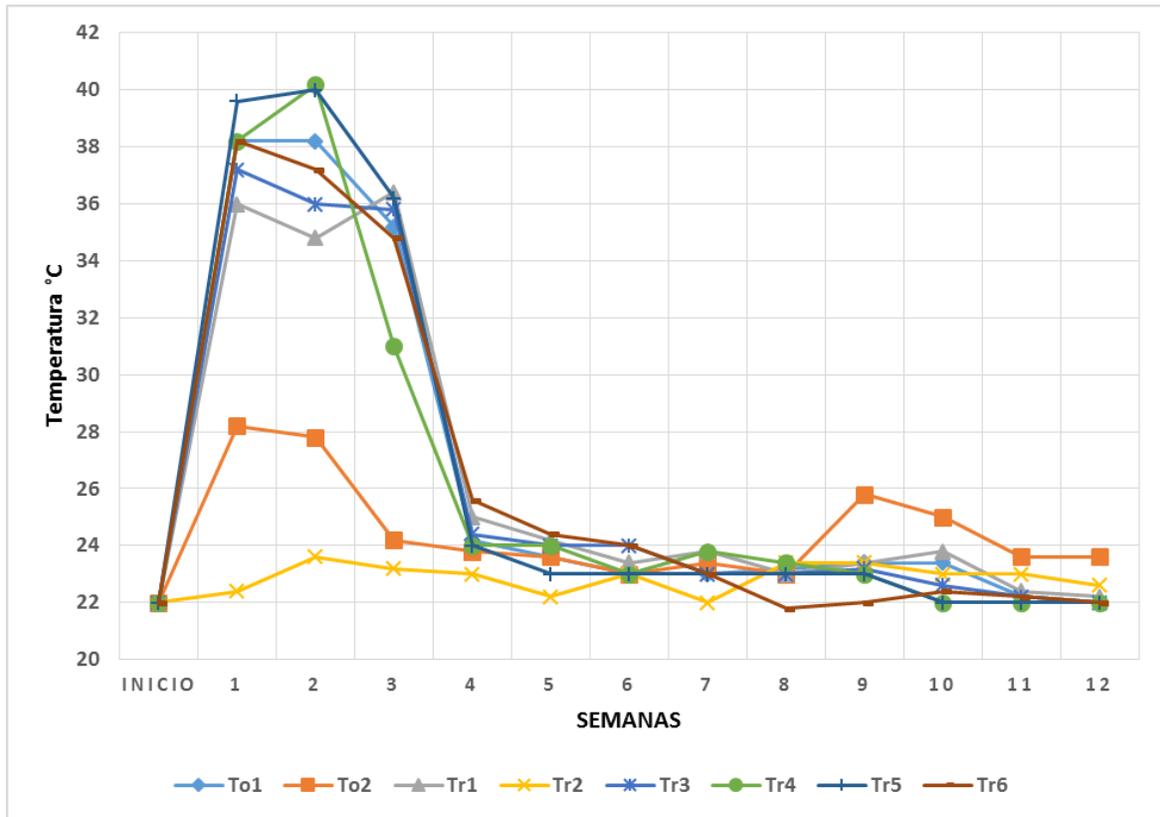


Figura 28. Evolución de la variable Temperatura en las unidades experimentales durante 12 semanas

7.3. VOLUMEN DE LIXIVIADOS GENERADOS Y VOLUMEN DE AGUAS RESIDUALES DEL CAFÉ RETENIDOS EN EL PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LA PULPA DEL CAFÉ

En la Tabla 6 se presentan las características químicas encontradas para las primeras y segundas cabezas de lavado (aguas mieles), las cuales fueron adicionadas a los

Tratamientos 4, 5 y 6 al inicio del proceso de compostaje. Los valores de DQO nos permitieron calcular la cantidad de contaminación que se logró retener en las masas de pulpa donde fue adicionada (Ver Tabla 7)

Tabla 6. Caracterización química de las cabezas de lavado aplicadas a los Tratamientos 4, 5 y 6

Número	Muestras (Liquidas)	pH (und)	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	DQO (ppm)	Sólidos Totales (ppm)	Sólidos Suspendidos (ppm)
1	Tratamiento N° 4	3,90	39,80	7820	4190	640
	1era cabeza de lavado					
2	Tratamiento No. 5	3,74	53,30	9740	7389	840
	1era Cabeza de lavado					
3	Tratamiento No. 6	3,72	54,40	17840	7143	600
	1era Cabeza de lavado					
4	Tratamiento No. 6	3,71	39,10	5160	3343	200
	2da Cabeza de lavado					

En cuanto al volumen de lixiviados generados por el proceso de transformación de la pulpa de café (Ver Figura 29) se observó que los Tratamientos 4, 5 y 6 fueron los que durante todo el proceso registraron los mayores volúmenes, esto debido a las adiciones de cabezas de lavado (aguas mieles) realizadas al inicio del proceso de compostaje, estas cantidades fueron para el Tratamiento 6 por 200 litros, para el Tratamiento 5 por 150 litros, para el Tratamiento 4 por 155 litros; en el caso de los Tratamientos 1, 2, 3 los volúmenes aplicados por cada uno inicialmente fue de 7,50 litros correspondiente a fuentes de microorganismos, los Testigos 1 y 2 no se les realizó ninguna adición al inicio del proceso de compostaje.

A partir de la semana 1, y durante las 12 semanas, la tendencia fue la disminución de estos volúmenes, sobresalen el Tratamiento 4, sin lixiviados, el Tratamiento 5 con 7,50

litros y el Tratamiento 6 con 24 litros de lixiviados. A partir de lo anterior se puede estimar el porcentaje (%) de retención, en volumen, de las cabezas de lavado (Ver Tabla 8) obteniendo los siguientes valores, para el Tratamiento 4 fue de 100%, el Tratamiento 5 fue 95% y el Tratamiento 6 fue de 88%.

Los Tratamientos 1, 2, 3 y los Testigos 1 y 2, respectivamente desde la semana 1 registraron bajos volúmenes de lixiviados, en consecuencia para la semana 12 los contenidos de lixiviados fue 0. La Tabla 8 reúne los valores de retención de los Lixiviados, siendo del 100% para los Tratamientos 1, 2, 3, 4 y los Testigos 1 y 2, respectivamente.

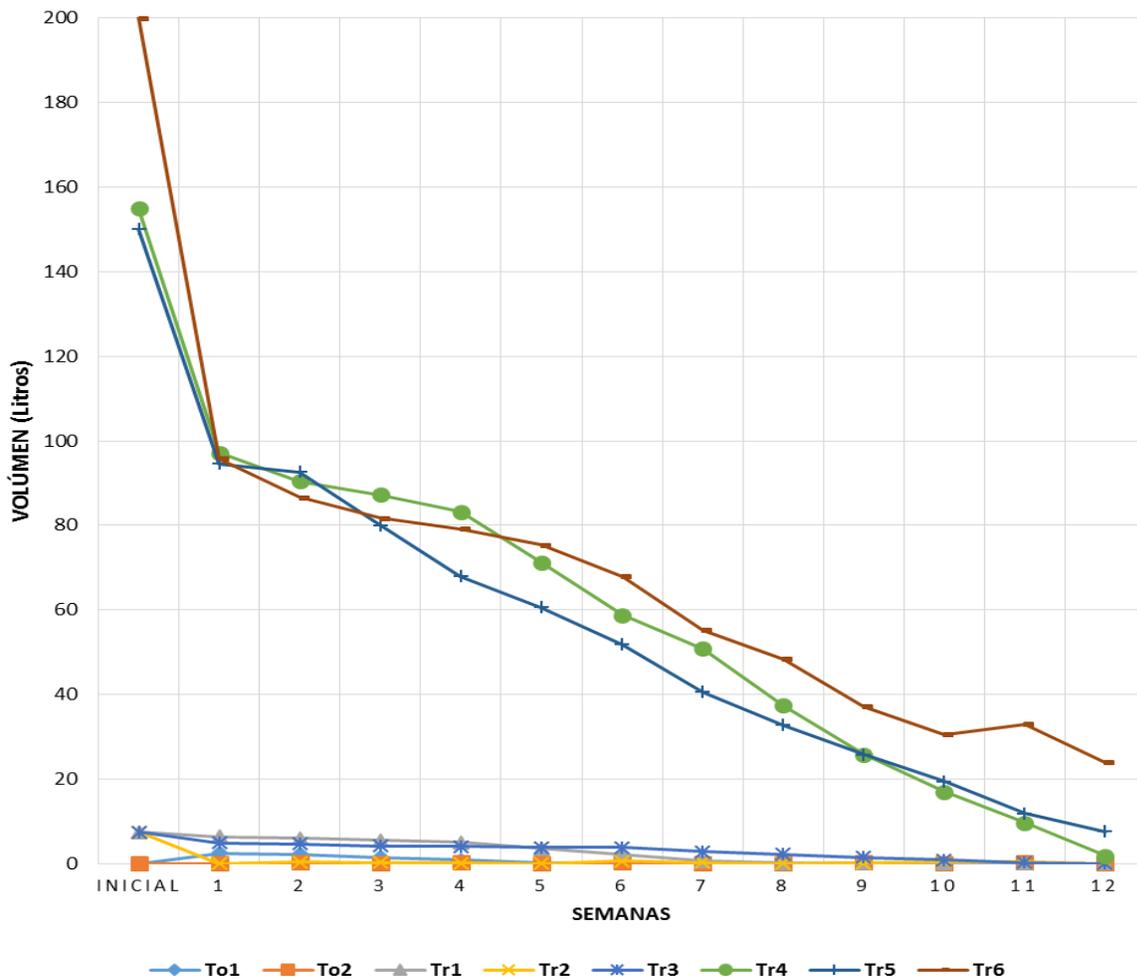


Figura 29. Evolución del volumen de lixiviados de las unidades experimentales durante 12 semanas

Tabla 7. Retención de cabezas de lavado (aguas mieles) por las masas de pulpa de café

TRATAMIENTO	Volumen Cabezas de Lavado INICIALES (Litros)	Volumen Lixiviados FINAL (Litros)	% RETENCIÓN DE CABEZAS DE LAVADO
Tr4	155	0,00	100%
Tr5	150	7,60	95%
Tr6	200	24,00	88%

Tabla 8. Retención de lixiviados por las masas de pulpa de café

TRATAMIENTO	Volumen Lixiviados SEMANA 1	Volumen Lixiviados FINAL	% RETENCIÓN DE LIXIVIADOS
To1	2,44	0,00	100%
To2	0,00	0,00	100%
Tr1	6,34	0,00	100%
Tr2	0,00	0,00	100%
Tr3	4,84	0,00	100%

En la Tabla 10, se presentan las características químicas encontradas para los lixiviados, de los Tratamientos 5 y 6 al finalizar el proceso de compostaje. Los valores de DQO permitieron calcular la cantidad de contaminación que se logró retener en las masas de pulpa donde fue adicionada (Ver Tabla 9)

Tabla 9. Caracterización química de los lixiviados finales arrojados para los Tratamientos 5 y 6

Número	Muestras (Líquidas)	pH (und)	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	DQO (ppm)	Sólidos Totales (ppm)	Sólidos Suspendidos (ppm)
1	Tratamiento 5	9,83	3,43	110000	120420	82222
2	Tratamiento 6- Lixiviado final	9,97	2,92	118000	98909	89796

7.3.1. CANTIDAD CONTAMINANTE RETENIDA POR LA MASA DE LA PULPA DE COMPOSTAJE

Para el cálculo de la contaminación inicial se tuvo en cuenta el volumen de aguas mieles aplicados al inicio del proceso del compostaje multiplicado por el DQO obtenido en laboratorio.

Para el cálculo de la contaminación final se tuvo en cuenta el volumen de los lixiviados finales obtenidos del proceso del compostaje multiplicado por el DQO obtenido en laboratorio.

- **Tratamiento 4. Contaminación evitada:**

Contaminación inicial en la cabeza de lavado $150 \text{ L} * 7,820 \text{ g DQO/L} = 1173 \text{ gramos}$

- **Tratamiento 5. Contaminación evitada:**

Contaminación inicial en la cabeza de lavado $150 \text{ L} * 9,740 \text{ g DQO/L} = 1461 \text{ gramos}$

Contaminación final lixiviado: $7,6 \text{ L} * 110 \text{ g/L} = 836 \text{ g}$

Contaminación evitada = 42,78%

- **Tratamiento 6. Contaminación evitada:**

Contaminación inicial en la cabeza de lavado $150 \text{ L} * 17,84 \text{ g DQO/L} + 50 \text{ L} * 5,16 = 2934$ gramos

Contaminación final lixiviado: $24 \text{ L} * 118 \text{ g/L} = 920 \text{ g}$

Contaminación evitada = 3,48%

La Tabla 10 muestra la recopilación de la información con respecto a los lixiviados y contaminación retenida por los tratamientos tratados con las cabezas de lavado (mieles del café).

Tabla 10. Contaminación Inicial de las cabezas de lavado

Trat.	Vol. Aguas mieles (L)	DQO (mg/L)	Contaminación Inicial (g)	Lixiviados finales (L)	DQO (mg/L)	Contaminación final (g)	Retención cantidad contaminante (%)
Tr4	150*	7820	1173	0,00	0,00	0,00	100
Tr5	150*	9740	1461	7,60	110000	836	42,78
Tr6	150*	17840	2676	24,00	118000	2832	3,50
Tr6	50**	5160	258				

* Corresponden a las primeras cabezas de lavado

** Corresponden a las segundas cabezas de lavado

Para el tratamiento 5 el volumen de agua retenido fue aproximado del 95% disminuyendo la cantidad de producto contaminante, de igual manera al concluir el proceso de compostaje la cantidad contaminante se retuvo en un 42,78%. (Debido a la concentración del DQO)

Para el tratamiento 6 el volumen de agua retenido fue considerable ya que se logró retener el 88% de los lixiviados teniendo en cuenta que fue el tratamiento al que se le adicionó mayor cantidad de aguas mieles, de igual manera al concluir el proceso de

compostaje la cantidad contaminante se retuvo en un 3,5% (debido a la concentración del DQO). Con estos resultados se logra cumplir con el objetivo específico N°5.

7.4. RESULTADOS PARA LA RELACIÓN C/N

De acuerdo como lo establece Mustin (1987), la relación C/N de los materiales debe estar antes de la descomposición entre 30 – 35, para el caso de la presente investigación los valores estuvieron entre 31,13 para el Testigo 2 y 33,71 para el Tratamiento 5, además el autor considera que un material está descompuesto cuando su relación C/N está entre los rangos de 8 a 15, estabilizándose en el valor de 10; para el caso del estudio realizado todos los Tratamientos estuvieron en este rango.

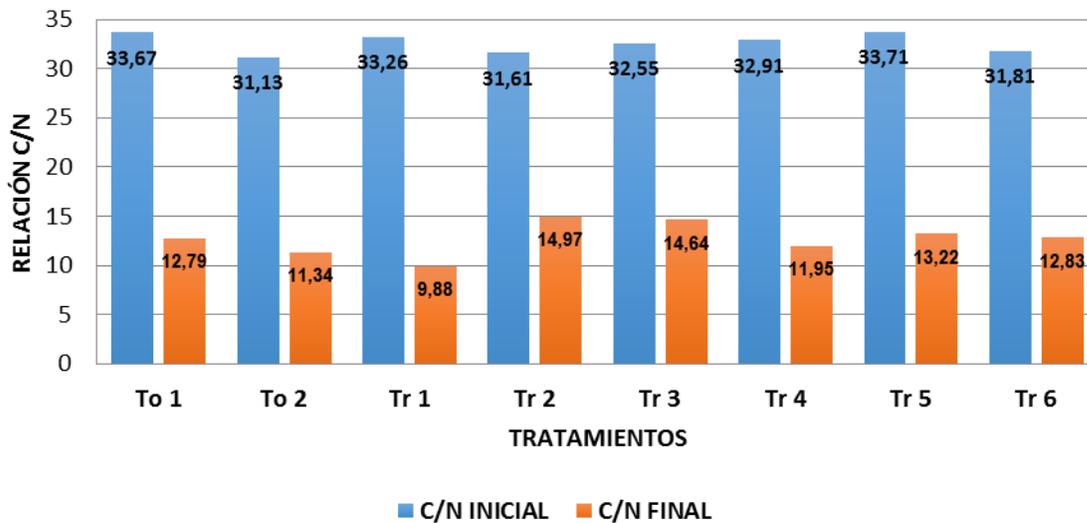


Figura 30. Comparativo de la relación C/N de la masa inicial con respecto a la masa final

7.5. RESULTADOS PARA LOS RENDIMIENTOS EN BASE HÚMEDA Y SECA

Los mejores rendimientos en base seca fueron para el Tratamientos 4 con 50,16% y el Tratamiento 6 con 40,32%; los rendimientos con los valores más bajos en base seca fueron para los Tratamientos 3 con 4,93%; el Testigo 1 con 10,21% y el Tratamiento 2 con 12,31%.

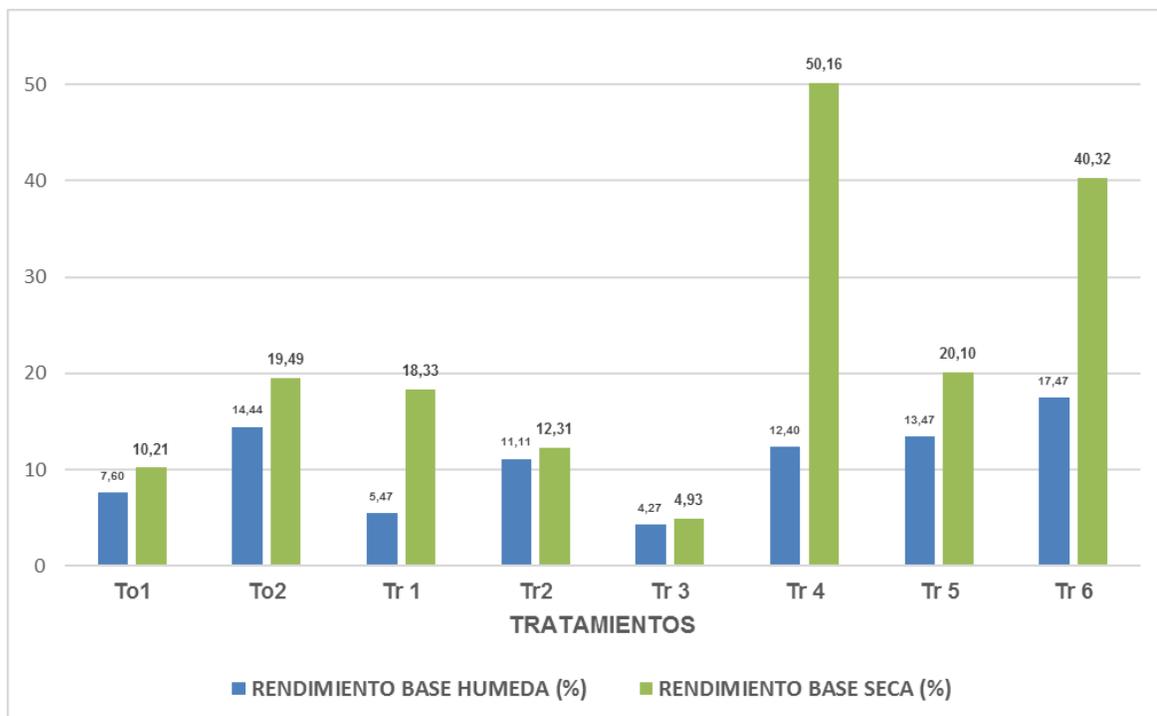


Figura 31. Comparativo de Rendimientos en Base Húmeda y Base Seca

7.6. RESULTADOS ESTADÍSTICOS

- Se realizó un análisis de varianza con un 95% de significancia en los Tratamientos, los rendimientos en Base Húmeda muestran que el mejor Tratamiento es el 6 con un valor de 17,46% de rendimientos el cual es estadísticamente diferente, a un nivel de significancia del 95%, de los demás Tratamientos (Ver Tabla 11). El Análisis de Varianza Completo se encuentra en el Anexo E

Tabla 11. Rendimiento en Base Húmeda. ANOVA y Turkey

Tukey Grouping		MEAN	N	TRATAMIENTO
	A	17.4667	5	Tratamiento 6
	B	14.4444	5	Testigo 2
C	B	13.4667	5	Tratamiento 5
C	B	12.4000	5	Tratamiento 4
C		11.1111	5	Tratamiento 2
	D	7.6000	5	Testigo 1
E	D	5.4667	5	Tratamiento 1
E	E	4.2667	5	Tratamiento 3

- Para el caso de los rendimientos en base seca el mejor Tratamiento fue el 4 con valor de 50,16 %, seguido por el Testigo 2 que corresponde al Lombricompostaje con un valor de 47,27% del rendimiento en base seca (Ver Tabla 12). El Análisis de Varianza Completo se encuentra en el Anexo E

Tabla 12. Rendimiento en Base Seca. ANOVA y Turkey

Tukey Grouping		MEAN	N	TRATAMIENTO
	A	50.156	5	Tratamiento 4
B	A	47.275	5	Testigo 2
B		40.319	5	Tratamiento 6
	C	20.100	5	Tratamiento 5
	C	18.326	5	Tratamiento 1
D	C	17.166	5	Tratamiento 2
D	E	10.208	5	Testigo 1
	E	4.934	5	Tratamiento 3

Con los resultados presentados se permite cumplir con el objetivo específicos N° 1, 2, 3 y N°4.

La presente investigación permite responder a la pregunta de investigación ¿Cuál es el mejor método para la transformación de la pulpa del café en abono orgánico, en fincas cafeteras?, dado que se encontró que el compostaje de la pulpa de café con la adición de levaduras y aguas residuales del primer lavado del café, permiten obtener los mejores rendimientos en el proceso de elaboración del abono orgánico y reducir en mayor proporción la contaminación orgánica, al involucrar en el proceso toda la primer cabeza de lavado y de esta forma también permite alcanzar el objetivo específico 6 *“Seleccionar con base en los rendimientos y en la disminución de la contaminación orgánica de los subproductos del café, el mejor método de transformación de la pulpa de café en abono orgánico”*.

La presente investigación permite aceptar la hipótesis N° 1 “La adición de microorganismos eficientes (EM) permite acelerar el proceso de descomposición de la pulpa de café”, pues el tratamiento que contenía los EM, presentó la relación C/N más baja; rechazar la hipótesis 2 *“Los mayores rendimientos en el proceso de transformación de la pulpa de café se alcanzan adicionando levaduras y miel de purga”*., pues los mayores rendimientos se alcanzaron en el tratamiento con la adición de levaduras y primera cabeza de lavado, y rechazar la hipótesis 3 *“Las dos primeros enjuagues del lavado del café se pueden integrar al proceso de transformación de la pulpa sin generar vertimientos”*, pues la retención de las 2 primeras cabezas de lavado fue del 88% y no del 100% como se planteó en el trabajo.

8. Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

- Para el Análisis de Varianza (ANOVA) para los rendimientos en Base Húmeda el mejor Tratamiento es el 6, que involucra la adición de las dos cabezas de lavado (aguas mieles), el cual fue diferente significativamente de los demás tratamientos; le siguieron en rendimiento el Testigo 2 que corresponde al Lombricompostaje, el Tratamiento 5 con la Primera Cabeza de Lavado y el Tratamiento 4 con la Primera Cabeza de Lavado más Levadura, los cuales no fueron diferentes entre sí pero sí son diferentes de los Tratamientos 1, 2, 3 y el Testigo 1. (Ver Análisis de Varianza Completo en el Anexo E).
- Haciendo la comparación de los rendimientos en base seca dado que los diferentes Tratamientos mostraron diferentes contenidos de humedad, se encuentra que los mejores Tratamientos fueron el Tratamiento 4, que corresponde a la adición de la primera cabeza de lavado más levadura y el Testigo 2 lombricompostaje, entre los cuales no hubo diferencias significativas, y los cuales fueron significativamente diferentes del Tratamiento 6. Por rendimientos en base seca los mejores Tratamientos son el Tratamiento 4 con un valor de 50,15%, el Testigo 2 con valor de 47,27% y el Tratamiento 6 con el 40,31%
- El Testigo 2 no muestra diferencias estadísticas significativas a un nivel de significancia del 95%, con el Tratamiento 4 que contiene las primeras cabezas de lavado ni con el Tratamiento 6 que contiene las dos primeras cabezas de lavado.
- De acuerdo a lo reportado por algunos autores, los valores y el comportamiento de las variables como son el pH, la Temperatura, la relación final de C/N y su observación aparente a suelo, en los tratamientos de compostaje y lombricompostaje son indicaciones de la descomposición de un material.
- Los tratamientos de compostaje tratados con las aguas mieles del lavado del café presentaron valores finales de la relación C/N muy cercanos al 10% valor óptimo para la estabilización del compostaje.

- Los tratamientos de compost y de lombricompost en los que se inoculó con microorganismos presentaron menores rendimientos en base seca con escasa diferencia significativa entre ellos, por lo tanto su tendencia fue a mineralizar la pulpa del café disminuyendo su capacidad de aporte nutricional.
- El tratamiento 4 inoculado con levadura y aguas mieles logró retener el 100% de la carga contaminante de los lixiviados, el trabajo de estos microorganismos en presencia de esta fuente de carbono para generar sustancias hidrocarbonadas permitió “secuestrar” el 100% de la carga contaminante con la ventaja de aportar mejores contenidos nutricionales como se puede observar sus contenido de Nitrógeno y Potasio altos sobre los demás tratamientos en el Anexo B.
- Una de las principales ventajas que se pudo observar en los tratamientos 4, 5 y 6 es que la pulpa actúa como secuestrantes de estas aguas disminuyendo el impacto ambiental que estas pueden generar si no se realiza algún tipo de control.
- El abono orgánico obtenido en el Tratamiento 4 mostró los mejores contenidos de Nitrógeno (N) con un valor de 3,99%, seguido del testigo 1 con un valor del 3,67%. Los mayores contenidos de Fósforo (P) se encontraron en los abonos orgánicos de los tratamiento 1 y 2 con un valor del 0,3% y los mayores contenidos de Potasio (K), se encontraron en los abonos orgánicos del testigo 2 (7,90%), tratamiento 5 (5,84%) y tratamiento 4 (5,55%) (Ver Anexo B).

8.2 Recomendaciones

- Generar planes de acción encaminados a solucionar la problemática ambiental en la zona cafetera, aplicando los conocimientos generados en las investigaciones realizadas sobre los subproductos del café, de forma que el conocimiento pueda ser utilizado por todos los Caficultores de Colombia.

9. Bibliografía

ALVAREZ G, J.; Despulpado del Café Sin agua. Chinchiná, Cenicafé. 1991. 6p (Avances Técnicos No 168).

ARANGO, L. G. y DÁVILA, T. M. Descomposición de la pulpa de café por medio de la lombriz roja californiana. Chinchiná: CENICAFÉ. 1991. 4p. (Avances Técnicos No 161).

ARCILA P, J y JARAMILLO R, A. Relación entre la humedad del suelo y la floración y el desarrollo del fruto del cafeto. Chinchiná, Cenicafé. 2003 6 p (Avance Técnico no 311)

ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.; MORENO B., A.; SALAZAR G. L. F.; HINCAPIÉ G, E. Sistemas de Producción de café en Colombia. Capítulo 2. Crecimiento y desarrollo de la planta del café. Chinchiná, Cenicafé. 2007 Pág. 49.

ARCILA P., J.; FARFAN V., F.; MORENO B., A.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIE G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Capítulo 9. Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en los sistemas de producción de café. Chinchiná, Cenicafé, 2007. Pág. 209

ARCILA P., J.; FARFAN V., F.; MORENO B., A.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIE G., E. (Sistemas de producción de café en Colombia. Capítulo 9. Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en los sistemas de producción de café. Chinchiná, Cenicafé, 2007. Pág. 210

BÉRMUDEZ, R. C., PÉREZ, R.M., GARCIA, N., VERDECIA, M. y MARAÑÓN, A. Biodegradación de la pulpa de café *Coffea arabica* L. y *Coffea canephora* var. Robusta por *Pleurotus ostreatus* var. Florida. 2001.

BERMÚDEZ, R. C., GARCÍA, N., GROSS, P., & HERNÁNDEZ, M. Análisis de la producción de setas comestibles *Pleurotus* sp. Sobre pulpa de café. (Spanish). *Revista Cubana De Química*, 17(1), 2005. Pág. 228-229.

BLACK, T., CASTILLO, M.P. y RODRIGUEZ, E. Evaluación al programa de Beneficio Ecológico del café. Segundo Reporte cuatrimestral. Santafé de Bogotá, Universidad de Magister en Economía del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1996. 73p.

BLANDÓN C., G.; DÁVILA A., M. T.; RODRÍGUEZ V., N. Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje. *Cenicafé* 50(1) 1999. Pág. 5-23

BLANDON C., G. Caracterización microbiológica cualitativa de la flora presente en el producto final del compostaje de pulpa de café. Manizales, Universidad Católica, 1996. 120 p. (Tesis: Bacteriología).

BROWN, A. T., BERMÚDEZ, R. C., PÉREZ, S. R., & BIOZAN, M. F. Selección de un inóculo para la biodegradación anaerobia de la pulpa de café. (Spanish). *Tecnología Química*, 24(2), 2004. Pág. 64-71

BUENO MARQUEZ, P.; DIAZ BLANCO, M. J.; CABRERA CAPITAN, F. Compostaje, Capítulo 4. Factores que afectan el proceso de compostaje. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, Sevilla-España. 2008, pág.93 – 109. En línea internet. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/20837> Consultado el 12 de diciembre del 2015.

CADENA, S. F. Uso de los microorganismos eficaces EM y la vinaza como potencializadores de microorganismos biotransformadores de residuos de cosecha y fijadores de nitrógeno en el cultivo de la caña de azúcar. Consultado, Desarrollo Agroindustriales Ltda. 2009. En línea Internet. Disponible en: <http://www.fundases.com/userfiles/file/2.%20SILVIO%20CADENA%20EM%20Hda%20%20Judea%202009.pdf> Consultado el 4 de marzo del 2013

CALLE V., H. Subproductos del café, Chinchiná: CENICAFÉ. 1977. 84p. (Boletín técnico No 6).

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DEL CAFÉ, CENICAFÉ. Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana; Chinchiná. 2011. Pág. 12

COLOMBIA. Constitución Política de Colombia de 1991. Artículo 79 - 80. Santa fe de Bogotá. 2001

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. Decreto 3678 del 4 de octubre del 2010. Bogotá D.C.: El Ministerio. 6p.

COLOMBIA. Ministerio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto número 3930 del 25 de octubre del 2010. Bogotá D.C.: El Ministerio. 29p

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 2667 de 21 diciembre del 2012. Bogotá D.C.: El Ministerio. 15p

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 631 de 17 de marzo del 2015. Bogotá D.C.: El Ministerio. 62p

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 1076 de 26 de mayo 2015. Bogotá D.C.: El Ministerio. 653p

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible/Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial OCADE Gestión integral de residuos o desechos peligrosos. Bases conceptuales. Bogotá, D.C., Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007. Pág. 46.

COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible/Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial OCADE Gestión integral de residuos o desechos peligrosos. Bases

conceptuales. Bogotá, D.C., Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2007 Pág. 55

DÁVILA A, M. T. y RAMIREZ G, C. A. Lombricultura en pulpa de café, Chinchiná: Cenicafé. 1996. 4p. (Avances Técnicos Cenicafé N° 225).

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. FEDERACAFE. Manual del cafetero colombiano. 4. ed. Chinchiná, Cenicafé, 1979. 168 p.

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del Cafetero Colombiano, Cuarta edición. Capitulo XVI Fosas para pulpa de café. Chinchiná (Colombia). 1979. pag183.

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del Cafetero Colombiano, Tomo 1. El Fruto. Chinchiná -Cenicafé 2013. pág. 151

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del Cafetero Colombiano, Tomo 1. El Cafeto, Figura 30. Chinchiná –Cenicafé. 2013 153p

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del Cafetero Colombiano, Tomo 2. Establecimiento del cultivo. Chinchiná – Cenicafé. 2013. Pág. 181.

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del Cafetero Colombiano, Tomo 3. Postcosecha y subproductos del café. Tomo 3. Chinchiná – Cenicafé. 2013. Pág. 20

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del Cafetero Colombiano, Tomo 3. Postcosecha y subproductos del café. Chinchiná –Cenicafé. 2013. Pág. 29

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del Cafetero Colombiano, Tomo 3. Postcosecha y subproductos del café. Figura 39 Tomo 3. Chinchiná –Cenicafé. 2013. Pág. 33

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del Cafetero Colombiano, Tomo 3. Postcosecha y subproductos del café. Figura 39 Tomo 3. Chinchiná –Cenicafé. 2013. Pág. 39

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del Cafetero Colombiano, Manejo y disposición de los subproductos y de aguas residuales del beneficio del café. Tomo 3. 2013. Pág. 112.

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del Cafetero Colombiano, Tomo 3. Manejo y disposición de los subproductos y de aguas residuales del beneficio del café. Chinchiná – Cenicafé. 2013 114p

FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual del Cafetero Colombiano, Contaminación generada en el proceso convencional del beneficio húmedo del café. Tomo 3. Chinchiná – Cenicafé. 2013. Pág. 114.

FERRER, J.R., PAEZ, G. CHIRINOS, M. Y MÁRMOL, Z. Ensilaje de la Pulpa de Café. Revista Facultad de Agronomía, Vol. 12 No 3 Universidad de Zulia. Venezuela. 1995. Pág. 417-428. Consultada EN: <http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/agronomia/article/view/11581> 2015 Consultado el 8 de Noviembre del 2008

FERRUZZI, C. Manual de Lombricultura. Madrid, Mundiprensa, 1987. 137p.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C. 2015 Pág.249

KOMAR, O. Priority Contribution. Ecology and conservation of birds in coffee plantations: a critical review. *Bird Conservation International*, 16, 2006. 23p doi: 10.1017/S0959270906000074

MARÍN L., S.M.; ARCILA, P.J.; MONTOYA R., E.C. y OLIVEROS T.C. Cambios Físicos y químicos durante la maduración del fruto del café (*Coffea arábica* L Var. *Colombia*). *Revista Cenicafé* 54(3) 2003. Pág. 223

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos. Bogotá. Diciembre 2005. Pág. 07

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Estrategia para la Gestión Integral Ambiental del Suelo en Colombia – GIAS. 2015 On line Internet. Disponible: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=158:plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-11> Consultado el Noviembre 16 del 2015

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO DE COLOMBIA. (). Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS. On line Internet. Disponible: <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/planes-de-gestion-integral-de-residuos-solidos> Consultado el Noviembre 16 del 2015

MONTILLA P., J. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café. Manizales: Universidad de Caldas. Facultad de ciencias agropecuarias. 2006. 107 p. Tesis: Ingeniera agrónoma.

MUSTIN, M. Le compost: gestion de la matiere organique. París (Francia), Editions Francois Dubusc, 1987. 954 p. Franc

NORIEGA S, ADRIANYELA; SILVA A., RAMÓN; GARCIA, MORAIMA. Utilización de la pulpa de café en la alimentación animal. Revisión. *Zootecnia Tropical. Versión Impresa* ISSN 0798-7269; 26(4); Maracay, Venezuela. 2008 Pág. 411 – 4119. On Line Internet,

disponible en http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692008000400001&lang=pt Consultado 30 de Octubre 2015

OCAMPO A. D.M., RIANO H. N.M., LÓPEZ R., J.C. y LÓPEZ F., Y. Intercambio de dióxido de carbono y cambios bioquímicos en el pericarpio durante el desarrollo del fruto del cafeto. Revista Científica 61(4) Chinchiná – Cenicafé. 2010. pág. 337

OLIVEROS, C. E., ROA, M. Coeficiente de fricción, ángulo de reposo y densidades aparentes de granos de café *Coffea arábica*, variedad Caturra. Revista Científica arc036 (01) Chinchiná – Cenicafé. 1985. Pág. 22-38

OLIVEROS, C. E., ROA, M. El desmucilaginado mecánico del café. Chinchiná, Cenicafé. 1955 8p. (Avances Técnicos No 216)

ORTIZ A.; Cambios químicos del fruto asociados con su crecimiento: Informe anual de labores de la sección de fisiología vegetal 2003 – 2004. Chinchiná: Cenicafé. 2004. 118p

PEÑUELA, A.; PABON, J.; OLIVEROS, C. Enzimas: Una alternativa para remover rápida y eficazmente el mucílago de café. Chinchiná: Cenicafé. 2011. 8p (Avances Técnicos No 406.)

PROGRAMA DE APOYO A LA FORMACIÓN PROFESIONAL PARA LA INSERCIÓN LABORAL EN EL PERÚ, APROLAB - manual para la producción de Compost con microorganismos Eficaces convenio ala/2004/016-895, Fondo concursable – instructivo no. 001-2007 / julio 2007. Perú. 2007. Pág. 12 -13. On Line Internet consultado en: http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/manual_para_elaboracion_de_compost.pdf

RAPHAEL, K., SUREKA AND VELMOUROUGANE, K. Vermicomposting of Coffee Processing Wastes Using Exotic (*Eudrilus Eugeniae*) and Native Earthworm (*Perionyx Ceylanesis*) Species. (English) Macromol. Symp., India. 2012. Pag.61–69.

doi: 10.1002/masy.201251008.

Consultado

EN:

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/masy.201251008/abstract>

ROA, M.; OLIVEROS, C.; ALVAREZ, J.; RAMIREZ, C.; SANZ, J.; DAVILA, M.; ÁLVAREZ, J.; ZAMBRANO, D.; PUERTA, G. RODRIGUEZ, N. Beneficio Ecológico del café. Capítulo 1 Generalidades Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ, 1999. Pág. 10

ROA, M.; OLIVEROS, C.; ALVAREZ, J.; RAMIREZ, C.; SANZ, J.; DAVILA, M.; ÁLVAREZ, J.; ZAMBRANO, D.; PUERTA, G. RODRIGUEZ, N. Beneficio Ecológico del café. Capítulo 1 Generalidades Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ, 1999 Pág. 11

ROA, M.; OLIVEROS, C.; ALVAREZ, J.; RAMIREZ, C.; SANZ, J.; DAVILA, M.; ÁLVAREZ, J.; ZAMBRANO, D.; PUERTA, G. RODRIGUEZ, N. Beneficio Ecológico del café. Capítulo 1 Consumo de aguas y tanques de almacenamiento. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. 1999. Pág.13

ROA, M.; OLIVEROS, C.; ALVAREZ, J.; RAMIREZ, C.; SANZ, J.; DAVILA, M.; ÁLVAREZ, J.; ZAMBRANO, D.; PUERTA, G. RODRIGUEZ, N. Beneficio Ecológico del café. Capítulo 1 Consecuencias de la contaminación de las aguas por el beneficio del café. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. 1999 Pág.13

ROA, M.; OLIVEROS, C.; ALVAREZ, J.; RAMIREZ, C.; SANZ, J.; DAVILA, M.; ÁLVAREZ, J.; ZAMBRANO, D.; PUERTA, G. RODRIGUEZ, N. Beneficio Ecológico del café. Capítulo 3 Beneficio Ecológico. Chinchiná (Colombia), CENICAFE. 1999 Pág. 71

ROA, M.; OLIVEROS, C.; ALVAREZ, J.; RAMIREZ, C.; SANZ, J.; DAVILA, M.; ÁLVAREZ, J.; ZAMBRANO, D.; PUERTA, G. RODRIGUEZ, N. Beneficio Ecológico del café. Capítulo 3 Beneficio Ecológico. Chinchiná (Colombia), CENICAFE. 1999. Pág. 79.

RODRIGUEZ VALENCIA, NELSON. Ensilaje de Pulpa de café. Chinchiná: CENICAFÉ 2003. 8p (Avances Técnicos 313)

RODRIGUEZ VALENCIA, NELSON. Informe anual Cenicafé 1990 -1991. 91p.

RODRIGUEZ V, N., JARAMILLO L, C. Cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* sobre residuos agrícola de la zona cafetera. Chinchiná: CENICAFÉ. 2005. 56p (Boletín Técnico No 27)

ROMAN, P.; MARTINEZ, M. M.; PANTOJA, A. Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. FAO. Oficina regional para Americana Latina y el caribe. Santiago de Chile. 2013. 108p.

SALAZAR, M.; RIANO. N.; ARCILA P.; PONCE, C.A. Estudio morfológico, anatómico y ultra estructural del fruto del café *Coffea arabica* L. Revista Cenicafé 45(3): 1994. Pág. 93-105.

SALAZAR A., J. N. (1992). La pulpa de café transformada por la lombriz es un buen abono para almácigos de café. Chinchiná, Cenicafé. 1992. 2 p. (Avances Técnicos N o 178)

SÁNCHEZ-CLAVIJO, L.M.; GONZALO V. J; MILENA DURAN, S.; GARCÍA, ROCÍO; BOTERO, J. E.; Estudio regional de la Biodiversidad en los paisajes cafeteros de Támesis, Antioquia. Chinchiná: Cenicafé. 2010. 72p (boletín técnico 35)

UNESCO. Medio Ambiente. Agua Dulce. 2015. On line. Internet. Disponible en <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/>. Septiembre 13 del 2015.

VALLES, S.; FLORS, A.; LEQUERICA, J. MADARRO, A. Producción de metano por fermentación anaerobia. I. Descripción del proceso. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos 20(2) 1980. Pág. 197.

VASQUEZ, M. C., LÓPEZ, A., FUENTES, B., Y COTE, E. (). Aceleración del proceso de compostaje de residuos post-cosecha (pulpa) del café con la aplicación de microorganismos nativos. (Spanish). Revista CENIC Ciencias Biológicas, 40(4), 2009 1-7p. Online Internet Disponible en: <http://web.a.ebscohost.com/biblioteca.umanizales.edu.co:2048/ehost/detail/detail?sid=c758671e-45d0-4cdf-a24b-f26aa68b2ee6%40sessionmgr4002&vid=0&hid=4204&bdata=Jmxhbmci9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=61467144&db=zbh> Consultado el 15 octubre del 2015

VASQUEZ, M. C., PRADA, P. A. Y MONDRAGON, M. A. Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del café con la aplicación de microorganismos nativos. NOVA - Publicación Científica EN CIENCIAS BIOMÉDICAS - Vol.8 No. 14 - JULIO - DICIEMBRE DE 2010: 121 - 240 PP.: 213 – 219 Online Internet, Disponible en: <http://www.unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/163> Consultado el 3 de mayo del 2105.

VEENSTRA, IR.S. Recovery of biogas from landfill sites. In: CURSO Taller Internacional sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Santiago de Cali, Universidad del Valle. 1995.

ZAMBRANO F., D. A.; ISAZA H., J. D. Lavado del café en los tanques de fermentación. Revista Cenicafé (Colombia) 45 (3) 1994. Pág. 106 - 118.

ZAMBRANO F., D.A.; ISAZA H., J. D. (). Demanda química de oxígeno y nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. Figura 3 Cenicafé 49(4): 1998. Pág. 280.

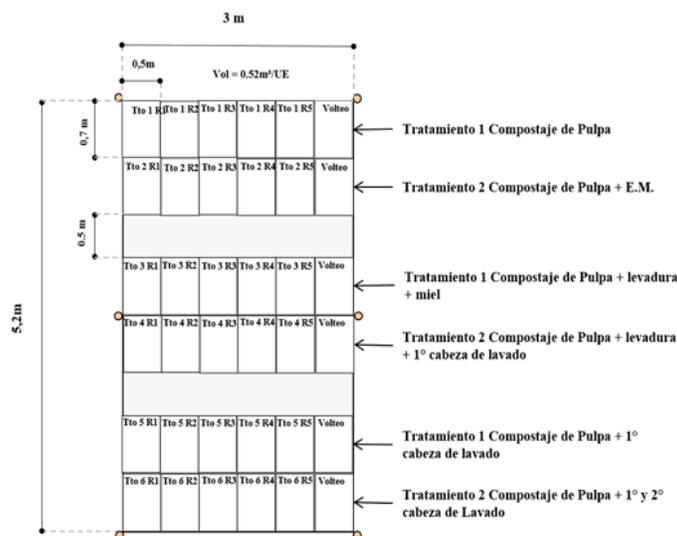
ZAMBRANO F., D.A.; ISAZA H., J. D. Demanda química de oxígeno y nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. Figura 5 – 6 Cenicafé 49(4) 1998. Pág. 287

A. Anexo: Diseño de fosas para unidades experimentales en los tratamientos de compostaje y lombricompostaje

FOSA PARA UNIDADES EXPERIMENTALES TRATAMIENTO COMPOSTAJE

VISTA EN PLANTA

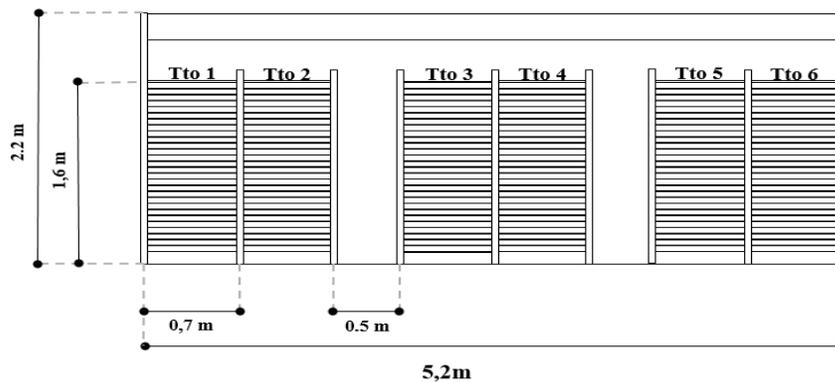
ESCALA



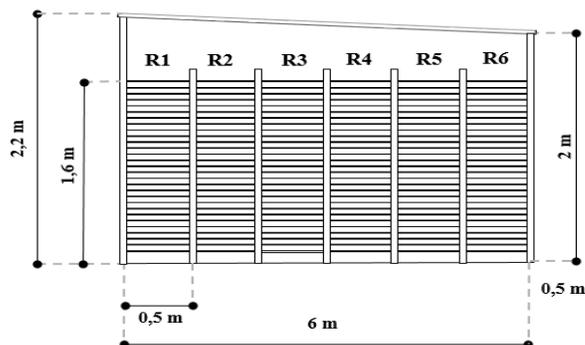
Proyecto: EVALUACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ EN ABONO ORGÁNICO EN FINCAS CAFETERAS	Contiene: DETALLE PLANTA FOSA TRATAMIENTO COMPOSTAJE UNIDADES EXPERIMENTALES	Diseño: Ing. ARIEL ADRIAN ROMERO	Aprobó: Dr Nelson Rodríguez
		Revisó: Ing. NIDIA MORENO CLAVIJO	Fecha: 20 junio del 2014

FOSA PARA UNIDADES EXPERIMENTALES
TRATAMIENTO COMPOSTAJE

VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL

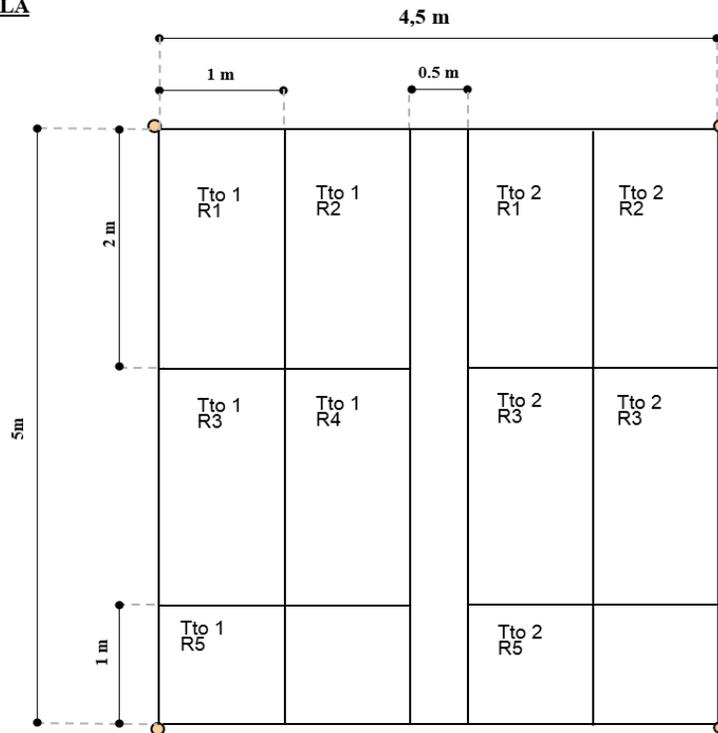


Proyecto: EVALUACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ EN ABONO ORGÁNICO EN FINCAS CAFETERAS	Contiene: VISTA LATERAL Y FRONTAL FOSA TRATAMIENTO COMPOSTAJE UNIDADES EXPERIMENTALES	Diseño: Ing. ARIEL ADRIAN ROMERO	Aprobó: Dr Nelson Rodi
		Reviso: Ing. NIDIA MORENO CLAVIJO	Fecha: 20 junio de

FOSA UNIDADES EXPERIMENTALES
TRATAMIENTO LOMBRICOMPOSTAJE

VISTA EN PLANTA

ESCALA



Volumen por cada Unidad Experimental = $0.8\text{m}^3/\text{UE}$

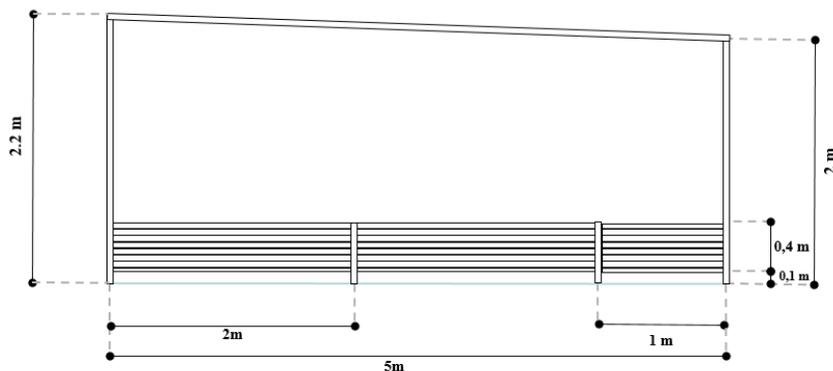
Tratamiento 1 Lombricompostaje de Pulpa

Tratamiento 2 Lombricompostaje de Pulpa + E.M.

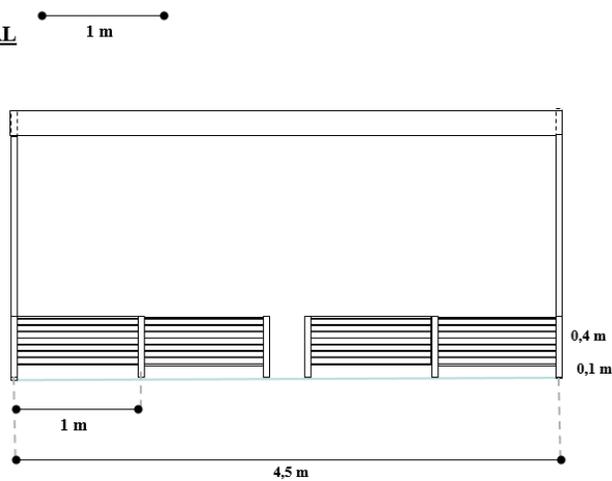
Proyecto: EVALUACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ EN ABONO ORGÁNICO EN FINCAS CAFETERAS	Contiene: DETALLE PLANTA FOSA TRATAMIENTO LOMBRICOMPOSTAJE UNIDADES EXPERIMENTALES	Diseño: Ing. ARIEL ADRIAN ROMERO	Aprobó: Dr NELSON RODRIGUEZ
		Revisó: Ing. NIDIA MORENO CLAVIJO	Fecha: 20 junio del 2014

FOSA UNIDADES EXPERIMENTALES TRATAMIENTO LOMBRICOMPOSTAJE

VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



Tratamiento 1 Lombricompostaje de Pulpa

Tratamiento 2 Lombricompostaje de Pulpa + E.M.

Proyecto: EVALUACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ EN ABONO ORGÁNICO EN FINCAS CAFETERAS	Contiene: DETALLE LATERAL Y FRONTAL FOSA TRATAMIENTO LOMBRICOMPOSTAJE UNIDADES EXPERIMENTALES	Diseño: Ing. ARIEL ADRIAN ROMERO	Aprobó: Dr NELSON RODRIGUEZ
		Reviso: Ing. NIDIA MORENO CLAVIJO	Fecha: 20 junio del 2014

B. Anexo: Reporte de Análisis laboratorio disciplina de suelos - Cenicafé



CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ
LABORATORIO DISCIPLINA SUELOS

REPORTE DE ANÁLISIS



Fecha Reporte: 06 de noviembre, 2015
Solicitante: NELSON RODRIGUEZ
Número de muestras: 10
Orden: 13

REFERENCIA	N	P	K	%				CENIZAS	Fe	Mn	Zn	Cu	B
				Ca	Mg								
7. Testigo 1. 18/09/2015	3,67	0,24	5,20	0,91	0,22	19,05	534,15	149,50	160,72	14,45	57,05		
8. Tratamiento 1. 18/09/2015	3,47	0,30	5,40	0,64	0,16	40,88	253,69	105,25	155,49	1,84	59,98		
9. Tratamiento 4. 18/09/2015	3,99	0,25	5,55	0,88	0,22	17,80	880,50	148,76	197,07	15,53	57,75		
10. Tratamiento 6. 18/09/2015	3,50	0,21	4,95	0,69	0,18	22,59	327,24	117,01	750,25	7,18	62,01		
11. Testigo 2. Lombricompost septiembre/2015	2,96	0,26	7,90	0,52	0,13	42,13	143,67	84,79	59,60	1,79	50,59		
12. Tratamiento 2. Lombricompost	3,09	0,30	3,77	1,50	0,28	20,24	2402,60	213,01	81,73	38,40	49,94		
13. Tratamiento 5. 18/09/2015	3,02	0,28	5,84	1,01	0,20	31,18	1273,13	148,90	70,66	20,09	50,26		
14. Tratamiento 3. 18/09/2015	3,02	0,20	4,05	0,65	0,16	23,78	329,86	103,85	79,19	5,59	59,54		
15. Testigo 2. Octubre/2015	2,73	0,24	2,70	1,28	0,26	16,30	2000,95	174,15	42,27	27,87	47,64		
16. Tratamiento 2. Lombricompost + EM octubre/2015	2,48	0,25	2,65	1,30	0,28	19,70	3027,75	183,23	55,81	30,73	45,13		

Nota: Resultados en base seca.

Métodos: nitrógeno: semimicro Kjeldahl; fósforo: colorimétrico (molibdovanadato de amonio); potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc y cobre: espectrofotometría de absorción atómica; boro: colorimétrico (azometina H).

VÁLIDO ÚNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS PROCESADAS POR ESTE LABORATORIO.

Las contra muestras se conservarán por un periodo de dos meses

VANESSA DÍAZ POVEDA
Asistente de investigación

SIAVOSH SADEGHIAN KH.
Líder Disciplina Suelos

C. Anexo. Resultados Análisis Físicoquímicos

Muestras correspondientes al Finca Rebambaramba, Vereda el paraíso en el Municipio del Líbano. Lote: C11 Área: 4 Hectáreas N° de Árboles. 20000

Fecha: 28 de Mayo de 2015

Número	Muestras (Líquidas)	pH (und)	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	DQO (ppm)	Sólidos Totales (ppm)	Sólidos Suspendidos (ppm)
1	Tratamiento No. 6	3,72	54,40	17840	7143	600
	1era Cabeza de lavado					
2	Tratamiento No. 5	3,74	53,30	9740	7389	840
	1era Cabeza de lavado					
3	Tratamiento No. 6	3,71	39,10	5160	3343	200
	2da Cabeza de lavado					
4	Tratamiento N° 4 1era cabeza de lavado	3,90	39,80	7820	4190	640

Fecha: 24 de Julio de 2015

Número	Muestra	pH (und)	Humedad (%)
1	Tratamiento 5	8,48	86,05
2	Tratamiento 6	8,65	85,58
3	Tratamiento 4	8,58	85,31
4	Tratamiento 1 Testigo	8,97	84,09
5	Tratamiento 3	7,25	83,99
6	Tratamiento 1	7,73	82,98

Fecha: 18 de Agosto de 2015

Número	Muestra	pH (und)	Humedad (%)
1	Tratamiento 1	8,32	82,44
2	Tratamiento 3	8,29	83,93
3	Tratamiento 4	8,08	83,61
4	Tratamiento 5	7,50	84,05
5	Tratamiento 6	7,06	86,80
6	Testigo 1	8,45	80,13
7	Lombricompostaje Testigo 2 (1er envío)	5,32	85,49
8	Lombricompostaje Tratamiento 2 (1er envío)	6,91	82,09

Fecha: 18 de Septiembre de 2015

Número	Muestra	pH (und)	Humedad (%)
1	Tratamiento 1	9,49	50,52
2	Tratamiento 2-Lombricompost	8,13	80,15
3	Tratamiento 3	8,40	83,22
4	Tratamiento 4	9,33	43,17
5	Tratamiento 5	8,53	77,88
6	Tratamiento 6	8,54	67,96
7	Testigo 1	8,85	79,10
8	Testigo 2-Lombricompost	8,17	80,42

Número	Muestras (Liquidadas)	pH (und)	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	DQO (ppm)	Sólidos Totales (ppm)	Sólidos Suspendidos (ppm)
1	Tratamiento 5	9,83	3,43	110000	120420	82222
2	Tratamiento 6-Lixiviado final	9,97	2,92	118000	98909	89796

D. ANEXO. HOJAS DE CAMPO PARA LA MEDICION DE VARIABLES EN LOS TRATAMIENTOS

Mediciones Testigo 1 (To 1)

VOLTEOS	VARIABLE	SUSTRATO	REPLICAS				
			1	2	3	4	5
MUESTRA INICIAL DE 250GR							
INICIAL	pH (50gr)	Pulpa	6,9	6,5	6,7	6,8	6,6
1	T°	Pulpa	39	40	35	36	41
	pH (50gr)	Pulpa	7,4	7,4	7,4	7,8	8,4
	Volumen	Lixiviados	3,2	2,5	2	2,3	2,2
	pH	Lixiviados	5,8	5,4	5,4	5,6	5,9
2	T°	Pulpa	39	40	35	36	41
	pH (50gr)	Pulpa	7,3	7,4	7,4	7,8	8,2
	Volumen	Lixiviados	3	2	2	2,1	2
	pH	Lixiviados	5,5	5,3	5,8	5,8	5,9
3	T°	Pulpa	30	40	38	34	34
	pH (50gr)	Pulpa	8,6	8,2	7,8	8,3	8,5
	Volumen	Lixiviados	1,7	1,5	1,3	1,8	1,3
	pH	Lixiviados	5,9	5,7	6,2	5,8	5,7
4	T°	Pulpa	24	23	24	25	25
	pH (50gr)	Pulpa	9,5	10,2	9,7	9,6	9,8
	Volumen	Lixiviados	1,3	1	0,7	0,6	0,8
	pH	Lixiviados	6,3	7,5	7,4	7,5	7,5
MUESTRA DE 250GR							
5	T°	Pulpa	23	24	25	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,9	8,2	8,3	8,7	8,8
	Volumen	Lixiviados	0,2	0,3	0	0	0,2
	pH	Lixiviados	7,8	7,9	0	0	8,1
6	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,8	8,7	9,4	8,9	9
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
7	T°	Pulpa	23	24	23	22	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,8	8,4	8,4	8,5	8,8
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
8	T°	Pulpa	23	23	24	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,7	8,6	8,5	8,4	8,4
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
MUESTRA DE 250GR							
9	T°	Pulpa	24	23	24	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,8	8,7	8,8	8,7	8,5
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
10	T°	Pulpa	23	23	24	24	23
	pH (50gr)	Pulpa	9	9	9	9	9
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
11	T°	Pulpa	22	22	23	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	7,5	7,0	7,3	7,5	7,0
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
12	T°	Pulpa	22	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	7,0	7,0	7,3	7,0	7,0
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
FINAL	pH (50gr)	Pulpa	7,0	7,5	7,5	7,0	7,0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
	PESO FINAL*	Kilos	13	11	10	11	12
	TOMA DE MUESTRA FINAL DE PULPA 250 gr						
TOMA DE MUESTRA FINAL DE LIXIVIADOS 1Lt							

Mediciones Testigo 2 (To 2)

semanas	Variables	Fuentes	REPLICAS				
			1	2	3	4	5
INICIAL			MUESTRA INICIAL DE 250GR (una semana después generada)				
	pH (50gr)		7,8	8	8	8	8
1	T°	Pulpa	28	28	29	28	28
	pH (50gr)	Pulpa	8	8,5	8,5	8,5	8
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	Ph	Lixiviados	0	0	0	0	0
2	T°	Pulpa	30	28	27	27	27
	pH (50gr)	Pulpa	9	9	9	9	9
	Volumen	Lixiviados	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
	Ph	Lixiviados	7,5	7,8	8	8	8
3	T°	Pulpa	24	24	25	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	8,5	8	8,5	8	8,5
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	Ph	Lixiviados	0	0	0	0	0
4	T°	Pulpa	23	24	24	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	8	8,5	8,5	8	8,5
	Volumen	Lixiviados	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3
	Ph	Lixiviados	8	7,8	7,5	7,8	7,5
			MUESTRA DE 250GR				
			segunda alimentación				
5	T°	Pulpa	24	23	24	23	24
	pH (50gr)	Pulpa	8	8	8,5	8	8
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	Ph	Lixiviados	0	0	0	0	0
6	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	7,8	7,5	8	8,5	8,5
	Volumen	Lixiviados	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
	Ph	Lixiviados	7,5	7,8	7,5	7,8	7,5
7	T°	Pulpa	23	24	23	24	23
	pH (50gr)	Pulpa	8	8,5	8,8	9	9
	Volumen	Lixiviados	0,1	0	0,2	0,2	0
	Ph	Lixiviados	7,8	0	7,5	7,9	0
8	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,5	8,8	8,5	8,8	8,5
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	Ph	Lixiviados	0	0	0	0	0
			MUESTRA DE 250GR				
			Tercer alimentación				
9	T°	Pulpa	28	24	25	26	26
	pH (50gr)	Pulpa	8,5	8,8	8,5	8,8	8,5
	Volumen	Lixiviados	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3
	Ph	Lixiviados	7,8	7,5	7,4	7,8	7,5
10	T°	Pulpa	24	24	25	26	26
	pH (50gr)	Pulpa	7,5	7,7	7	7,4	7,8
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	Ph	Lixiviados	0	0	0	0	0
11	T°	Pulpa	24	24	23	24	23
	pH (50gr)	Pulpa	8	8	8	8	8
	Volumen	Lixiviados	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3
	Ph	Lixiviados	7,4	7	7	7,5	7
12	T°	Pulpa	23	24	24	23	24
	pH (50gr)	Pulpa	8,5	8	8,5	8	8,5
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	Ph	Lixiviados	0	0	0	0	0
FINAL	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
	PESO FINAL*	Kilos	13	12	15	13	12
			MUESTRA DE 250GR				

Mediciones Tratamiento 1 (Tr 1)

VOLTEOS	VARIABLE	SUSTRATO	REPLICAS				
			1	2	3	4	5
INICIAL			MUESTRA INICIAL DE 250GR				
	pH (50gr)		6,7	6	6,2	5,9	6
1	T°	Pulpa	32	30	35	38	45
	pH (50gr)	Pulpa	7,5	8,4	8,6	6,3	7
	Volumen	Lixiviados	7	5	6,5	6,2	7
	pH	Lixiviados	5,3	5,2	5,6	5,5	5
2	T°	Pulpa	32	30	35	37	40
	pH (50gr)	Pulpa	7,5	8,4	8,5	8,3	7,8
	Volumen	Lixiviados	6,7	5	6	6	6,5
	pH	Lixiviados	5,7	5	5,3	5,5	5,2
3	T°	Pulpa	40	35	38	37	32
	pH (50gr)	Pulpa	6,6	6,7	7,8	5,4	5,6
	Volumen	Lixiviados	6,2	4	5,8	5,5	6
	pH	Lixiviados	5,4	5,7	6	5,4	5
4	T°	Pulpa	26	26	24	25	24
	pH (50gr)	Pulpa	9,3	9,3	8,8	8,4	10,1
	Volumen	Lixiviados	5,7	4	5	4,7	5,6
	pH	Lixiviados	5,9	6	6	6,2	6,5
			MUESTRA DE 250GR				
5	T°	Pulpa	25	24	24	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	9,2	9,1	8,9	8,5	8,9
	Volumen	Lixiviados	4	2,7	3,4	3,7	4,2
	pH	Lixiviados	6,2	6,2	6,7	6,8	7,2
6	T°	Pulpa	24	23	23	24	23
	pH (50gr)	Pulpa	9	8,9	8,7	8,4	8,7
	Volumen	Lixiviados	2,3	1,5	2,3	2	2,6
	pH	Lixiviados	7,3	7,4	7,5	7	7,4
7	T°	Pulpa	25	24	23	24	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,5	8,8	8,6	8,5	8,5
	Volumen	Lixiviados	1,2	0	0,8	0,5	0,7
	pH	Lixiviados	7,5	0	7,3	7	7,2
8	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,5	8	8,3	8,2	8,3
	Volumen	Lixiviados	0,6	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	7,3	0	0	0	0
			MUESTRA DE 250GR				
9	T°	Pulpa	23	24	23	24	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,4	8,3	8	8	8
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
10	T°	Pulpa	23	24	24	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	8	8	8	8	8
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
11	T°	Pulpa	23	23	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	8,5	9,0	8,0	8,5	8,5
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
12	T°	Pulpa	22	23	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	9,0	8,5	9,0	9,0	8,5
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
FINAL	pH (50gr)	Pulpa	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
	PESO FINAL*	Kilos	8	9	10	8	6
				TOMA DE MUESTRA FINAL DE PULPA 250 gr			
			TOMA DE MUESTRA FINAL DE LIXIVIADOS 1Lt				

Mediciones Tratamiento 2 (Tr 2)

semanas	Variables	Fuentes	REPLICAS				
			1	2	3	4	5
MUESTRA INICIAL DE 250GR (una semana despúes generada)							
INICIAL	pH (50gr)		8	7,5	7	7	7
1	T°	Pulpa	23	22	23	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	7,5	7	7	7,5	7
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	Ph	Lixiviados	0	0	0	0	0
2	T°	Pulpa	23	24	23	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	8	8	8	8	8
	Volumen	Lixiviados	0,2	0,4	0,4	0,5	0,6
	Ph	Lixiviados	7,5	7,8	7,5	7,5	7,8
3	T°	Pulpa	23	23	24	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8	7,8	8	7,6	7,8
	Volumen	Lixiviados	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4
	Ph	Lixiviados	7,8	7,6	7,7	7,7	7,5
4	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,2	8,1	8	8	8,2
	Volumen	Lixiviados	0	0	0,2	0	0,3
	Ph	Lixiviados	0	0	7,8	0	8
MUESTRA DE 250GR							
segunda alimentación							
5	T°	Pulpa	23	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	8	7,5	7,7	7,8	7,5
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	Ph	Lixiviados	0	0	0	0	0
6	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8	8,2	8,5	8,6	8,5
	Volumen	Lixiviados	0,4	1	0,7	0,4	0,5
	Ph	Lixiviados	7,6	7,7	7	7,5	7,7
7	T°	Pulpa	22	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	8,1	8	8	8	8
	Volumen	Lixiviados	0,2	0,6	0,2	0,2	0,3
	Ph	Lixiviados	7,8	8	7,7	7	7,5
8	T°	Pulpa	24	24	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,2	8	8,2	8,4	8,5
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	Ph	Lixiviados	0	0	0	0	0
MUESTRA DE 250GR							
Tercer alimentación							
9	T°	Pulpa	24	23	24	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,5	8	8	8,2	8
	Volumen	Lixiviados	0	0,2	0	0,3	0
	Ph	Lixiviados	0	7,8	0	7,5	0
10	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,4	8	8	8	8
	Volumen	Lixiviados	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5
	Ph	Lixiviados	7,8	8,5	8	8,2	8,5
11	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,5	9	8,7	8,5	8,6
	Volumen	Lixiviados	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4
	Ph	Lixiviados	8	7,6	7,4	7,5	7,9
12	T°	Pulpa	22	23	22	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,4	8	8,3	8	7,8
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	Ph	Lixiviados	0	0	0	0	0
final	pH (50gr)	Pulpa					
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
	PESO FINAL*	Kilos	11	10	9	10	10
MUESTRA DE 250GR							

Mediciones Tratamiento 3 (Tr 3)

VOLTEOS	VARIABLE	SUSTRATO	REPLICAS				
			1	2	3	4	5
INICIAL	MUESTRA INICIAL DE 250GR						
	pH (50gr)		5,7	5,5	5,8	5,6	5,7
1	T°	Pulpa	38	40	36	34	38
	pH (50gr)	Pulpa	6,7	7,2	7,4	7,2	7,9
	Volumen	Lixiviados	4,3	5,2	5,1	4,7	4,9
	pH	Lixiviados	5	4,8	5,2	5	5
2	T°	Pulpa	38	40	35	34	33
	pH (50gr)	Pulpa	6,8	7,3	7,4	7,5	8
	Volumen	Lixiviados	4,2	5	4,9	4,5	4,7
	pH	Lixiviados	5,1	5	5,7	5,4	5,2
3	T°	Pulpa	34	36	36	35	38
	pH (50gr)	Pulpa	8,4	7,9	7,8	8	8,2
	Volumen	Lixiviados	4	4,7	4	4,2	4
	pH	Lixiviados	5,6	5,6	6,1	6,8	5,8
4	T°	Pulpa	25	24	26	24	23
	pH (50gr)	Pulpa	9,5	9,6	9,8	9,6	9,5
	Volumen	Lixiviados	3,7	4,5	4	4	4
	pH	Lixiviados	6,3	6,2	6,4	7,5	7
MUESTRA DE 250GR							
5	T°	Pulpa	24	24	24	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	9,3	9	9	8,6	9,8
	Volumen	Lixiviados	3	4	4	3,7	4
	pH	Lixiviados	6,6	6,4	6,6	7,8	7,6
6	T°	Pulpa	24	24	24	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	9	9	9	8,6	9,5
	Volumen	Lixiviados	2,7	4	4	4	4
	pH	Lixiviados	6,6	7	7,2	7,8	7,7
7	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	9,4	9,5	9,6	9,3	9
	Volumen	Lixiviados	2,2	3,1	3	3	3
	pH	Lixiviados	6,7	6,8	7,3	7,5	7,5
8	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	9	8,9	8,7	8,5	8,6
	Volumen	Lixiviados	1,7	2,6	2,2	2,4	2
	pH	Lixiviados	6,8	7	7,5	7,5	7,6
MUESTRA DE 250GR							
9	T°	Pulpa	24	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	9,2	8,8	8,5	8,2	8,4
	Volumen	Lixiviados	1,5	2	1,5	1,4	1,2
	pH	Lixiviados	7	7,3	7,2	7	7,3
10	T°	Pulpa	23	22	23	23	22
	pH (50gr)	Pulpa	8	8	8	8	8
	Volumen	Lixiviados	0,7	1,2	1	0,6	0,6
	pH	Lixiviados	7	7	7	7	7
11	T°	Pulpa	23	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	8,0	9,0	8,5	9,0	8,5
	Volumen	Lixiviados	0	0,7	0,3	0	0
	pH	Lixiviados	0	7,5	7,5	0	0
12	T°	Pulpa	22	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	8,0	8,0	8,5	8,5	8,0
	Volumen	Lixiviados	0	0	0	0	0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
FINAL	pH (50gr)	Pulpa	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
	PESO FINAL*	Kilos	7	6	6	7	6
	TOMA DE MUESTRA FINAL DE PULPA 250 gr						
TOMA DE MUESTRA FINAL DE LIXIVIADOS 1Lt							

Mediciones Tratamiento 4 (Tr 4)

VOLTEOS	VARIABLE	SUSTRATO	REPLICAS				
			1	2	3	4	5
INICIAL	MUESTRA INICIAL DE 250GR						
	pH (50gr)		5,6	5,5	5,4	5,6	5,5
1	T°	Pulpa	40	34	38	38	41
	pH (50gr)	Pulpa	8,3	8,2	8,8	7,5	7,7
	Volumen	Lixiviados	97	98	98	98	95
	pH	Lixiviados	7,6	7,8	8,2	6,8	5,5
2	T°	Pulpa	39	39	40	41	42
	pH (50gr)	Pulpa	7,7	8	6,8	7,8	7,3
	Volumen	Lixiviados	88	90	94	90	90
	pH	Lixiviados	7	5,6	5,8	5	5,4
3	T°	Pulpa	30	29	30	32	34
	pH (50gr)	Pulpa	7,6	7,5	7,4	7,6	7,5
	Volumen	Lixiviados	85	88	89	89	85
	pH	Lixiviados	6,9	5,3	5,8	6,4	7,8
4	T°	Pulpa	24	24	24	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	9,6	9,3	9,4	9,5	9,1
	Volumen	Lixiviados	83	85	86	83	79
	pH	Lixiviados	9,1	8,5	9,1	10,3	9,6
MUESTRA DE 250GR							
5	T°	Pulpa	24	24	24	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	9,3	9	9,2	9,2	8,9
	Volumen	Lixiviados	78	74	72	67	65
	pH	Lixiviados	9,2	9	9,3	9,5	9,5
6	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	9	9	9,2	9	9,2
	Volumen	Lixiviados	68	64	58	55	49
	pH	Lixiviados	9	8,8	9	9,2	9
7	T°	Pulpa	24	23	24	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	9,00	9,20	9,00	8,90	8,80
	Volumen	Lixiviados	59	55	49	47	44
	pH	Lixiviados	8,7	8,8	8,5	8,5	8,4
8	T°	Pulpa	23	24	23	23	24
	pH (50gr)	Pulpa	8,9	8,8	8,9	8,5	8,5
	Volumen	Lixiviados	46	37	35	37	32
	pH	Lixiviados	8,5	8,7	8,6	8,5	8,4
MUESTRA DE 250GR							
9	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	9,2	8,9	8,9	9	8,9
	Volumen	Lixiviados	24	26	26	28	25
	pH	Lixiviados	8,6	8,8	8,7	8,7	8,7
10	T°	Pulpa	22	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	8	9	9	9	8
	Volumen	Lixiviados	17	18	18	15	17
	pH	Lixiviados	8	8	8	8	8
11	T°	Pulpa	22	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	8,0	8,5	9,0	8,5	8,5
	Volumen	Lixiviados	10	10	9	9	10
	pH	Lixiviados	8,5	8,0	8,0	8,0	8,5
12	T°	Pulpa	22	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	8,5	9,0	9,0	9,0	9,0
	Volumen	Lixiviados	2	3	0	0	4
	pH	Lixiviados	7,5	7,0	0	0	7,5
FINAL	pH (50gr)	Pulpa	8,5	9,0	8,5	8,0	8,0
	pH	Lixiviados	0	0	0	0	0
	PESO FINAL*	Kilos	22	15	16	20	20
	TOMA DE MUESTRA FINAL DE PULPA 250 gr						
TOMA DE MUESTRA FINAL DE LIXIVIADOS 1lt							

Mediciones Tratamiento 5 (Tr 5)

VOLTEOS	VARIABLE	SUSTRATO	REPLICAS				
			1	2	3	4	5
INICIAL	MUESTRA INICIAL DE 250GR						
	pH (50gr)		5,3	5,3	5,4	5,3	5,3
1	T°	Pulpa	38	40	38	41	41
	pH (50gr)	Pulpa	7,7	8	7,8	7,8	7,5
	Volumen	Lixiviados	94	93	95	96	95
	pH	Lixiviados	5	5	4,5	4,6	4,6
2	T°	Pulpa	39	39	38	42	42
	pH (50gr)	Pulpa	8,1	7,6	7,9	8	8
	Volumen	Lixiviados	94	90	94	91	94
	pH	Lixiviados	5,4	5	4,9	5,2	5
3	T°	Pulpa	35	40	38	34	34
	pH (50gr)	Pulpa	8,6	8	8,3	8,5	8
	Volumen	Lixiviados	78	83	84	79	76
	pH	Lixiviados	5,7	5,8	5,7	5,3	5,2
4	T°	Pulpa	24	23	25	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	9,8	9,2	9,5	9,5	9,4
	Volumen	Lixiviados	67	65	71	69	68
	pH	Lixiviados	6,7	6,8	7	7,2	6,8
MUESTRA DE 250GR							
5	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	9,5	9	9,2	9	9,2
	Volumen	Lixiviados	62	58	64	60	59
	pH	Lixiviados	8,4	8,3	8,9	9,2	9
6	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	9,6	10	9,4	10,2	10
	Volumen	Lixiviados	57	54	53	48	47
	pH	Lixiviados	9	9	9,2	9	9
7	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	9,4	9	9,4	9	9,2
	Volumen	Lixiviados	45	39	42	38	39
	pH	Lixiviados	8,8	8,9	9	8,9	9,2
8	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	9	8,7	8,8	8,6	8,7
	Volumen	Lixiviados	37	30	32	34	31
	pH	Lixiviados	8,6	8,5	8,5	8,7	8,5
MUESTRA DE 250GR							
9	T°	Pulpa	23	23	23	23	23
	pH (50gr)	Pulpa	8,6	8,6	8,7	8,4	8,2
	Volumen	Lixiviados	30	26	25	22	26
	pH	Lixiviados	8,5	8,5	8,6	8,5	8,5
10	T°	Pulpa	22	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	8	8	8	8	8
	Volumen	Lixiviados	22	19	21	17	18
	pH	Lixiviados	9	8	9	8	9
11	T°	Pulpa	22	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	8,5	8,5	8,0	8,5	8,5
	Volumen	Lixiviados	14	11	13	10	11
	pH	Lixiviados	8,5	8,0	8,5	8,5	8,0
12	T°	Pulpa	22	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
	Volumen	Lixiviados	8	7	9	7	7
	pH	Lixiviados	7,5	8,0	8,0	8,0	7,5
FINAL	pH (50gr)	Pulpa	8,5	8,0	8,5	8,0	8,5
	pH	Lixiviados	7,5	7,5	7,5	8,0	7,5
	PESO FINAL*	Kilos	21	20	19	22	19
	TOMA DE MUESTRA FINAL DE PULPA 250 gr						
TOMA DE MUESTRA FINAL DE LIXIVIADOS 1lt							

Mediciones Tratamiento 6 (Tr 6)

VOLTEOS	VARIABLE	SUSTRATO	REPLICAS				
			1	2	3	4	5
INICIAL	MUESTRA INICIAL DE 250GR						
	pH (50gr)		5,7	5,6	5,7	5,6	5,7
1	T°	Pulpa	40	34	38	38	41
	pH (50gr)	Pulpa	8,3	8,2	8,8	7,8	7,7
	Volumen	Lixiviados	97	93	93	100	96
	pH	Lixiviados	5,4	4,5	4,4	5	5
2	T°	Pulpa	38	40	36	34	38
	pH (50gr)	Pulpa	6,7	7,2	7,4	7,2	7,9
	Volumen	Lixiviados	87	82	84	92	88
	pH	Lixiviados	6	4,7	4,4	5,2	5
3	T°	Pulpa	35	35	34	36	34
	pH (50gr)	Pulpa	9,3	9	8,7	8,8	9
	Volumen	Lixiviados	80	80	77	88	84
	pH	Lixiviados	6,4	5	5,2	5,4	5,4
4	T°	Pulpa	26	26	24	26	26
	pH (50gr)	Pulpa	9,3	9,2	9	9,4	9,7
	Volumen	Lixiviados	78	78	74	84	82
	pH	Lixiviados	8,4	8,4	8,8	8,2	8,3
MUESTRA DE 250GR							
5	T°	Pulpa	24	26	24	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	9,2	9,4	9,4	9,6	9,8
	Volumen	Lixiviados	76	78	70	76	77
	pH	Lixiviados	8,5	8,3	8,6	8	8,2
6	T°	Pulpa	24	24	24	24	24
	pH (50gr)	Pulpa	9,4	9,6	9,4	9,8	9,2
	Volumen	Lixiviados	68	69	67	74	62
	pH	Lixiviados	8,7	9	9,7	10,1	10
7	T°	Pulpa	23	23	22	23	24
	pH (50gr)	Pulpa	9	9	9	9	9
	Volumen	Lixiviados	59	54	50	56	57
	pH	Lixiviados	8,5	8,4	8	8,9	9
8	T°	Pulpa	21	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	8,5	8,5	8,7	8,9	8,5
	Volumen	Lixiviados	50	49	46	48	49
	pH	Lixiviados	8,5	8	8,7	8,5	8,6
MUESTRA DE 250GR							
9	T°	Pulpa	22	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	8,9	8,3	8,3	8,4	8,3
	Volumen	Lixiviados	38	35	37	37	39
	pH	Lixiviados	8,5	8,9	9	8,8	8,9
10	T°	Pulpa	23	22	22	23	22
	pH (50gr)	Pulpa	8	9	8	8	8
	Volumen	Lixiviados	31	29	30	32	31
	pH	Lixiviados	8	9	8	8	8
11	T°	Pulpa	22	22	22	23	22
	pH (50gr)	Pulpa	9,0	8,5	8,0	8,5	8,5
	Volumen	Lixiviados	36	33	30	34	32
	pH	Lixiviados	8,0	8,5	8,0	8,5	8,0
12	T°	Pulpa	22	22	22	22	22
	pH (50gr)	Pulpa	9,0	8,5	8,0	8,5	8,5
	Volumen	Lixiviados	28	27	24	20	21
	pH	Lixiviados	8,0	8,5	8,0	8,5	8,0
FINAL	pH (50gr)	Pulpa	8,5	8,5	8,5	8,0	8,0
	pH	Lixiviados	7,5	8,0	8,0	8,0	7,5
	PESO FINAL*	Kilos	27	24	28	30	22
	TOMA DE MUESTRA FINAL DE PULPA 250 gr						
TOMA DE MUESTRA FINAL DE LIXIVIADOS 1lt							

E. ANEXOS. RESULTADOS ESTADISTICOS ANALISIS DE VARIANZA

- Rendimiento en Base Húmeda. ANOVA y Turkey

17:10 Tuesday, December 14, 2015

1

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
TRAT	8	T1 T2 T3 T4 T5 T6 TTGO1 TTGO2

Number of observations 40

17:10 Tuesday, December 14, 2015

2

The GLM Procedure

Dependent Variable: PORC PORC

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	7	744.2962963	106.3280423	63.68	<.0001
Error	32	53.4320988	1.6697531		
Corrected Total	39	797.7283951			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	PORC Mean
0.933020	11.98938	1.292189	10.77778

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	7	744.2962963	106.3280423	63.68	<.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
TRAT	7	744.2962963	106.3280423	63.68	<.0001

17:10 Tuesday, December 14, 2015

3

The GLM Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PORC

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher

Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	32
Error Mean Square	1.669753
Critical Value of Studentized Range	4.58107
Minimum Significant Difference	2.6473

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	TRAT
A	17.4667	5	T6
B	14.4444	5	TTGO2
B			
C B	13.4667	5	T5
C B			
C B	12.4000	5	T4
C			
C	11.1111	5	T2
D	7.6000	5	TTGO1
D			
E D	5.4667	5	T1
E			
E	4.2667	5	T3

• Rendimiento En Base Seca. ANOVA y Turkey

17:10 Tuesday, December 14, 2015

1

```

The GLM Procedure
Class Level Information
Class      Levels  Values
TRAT      8      T1 T2 T3 T4 T5 T6 TTGO1 TTGO2

```

Number of observations 40

17:10 Tuesday, December 14, 2015

2

```

The GLM Procedure
Dependent Variable: PORC  PORC

Source          DF          Sum of Squares      Mean Square      F Value      Pr > F
Model           7          10530.29711          1504.32816       97.57       <.0001
Error          32           493.38823           15.41838
Corrected Total 39          11023.68534

R-Square      Coeff Var      Root MSE      PORC Mean
0.955243      15.06726       3.926625      26.06065

```

```

Source          DF          Type I SS      Mean Square      F Value      Pr > F
TRAT           7          10530.29711          1504.32816       97.57       <.0001

Source          DF          Type III SS      Mean Square      F Value      Pr > F
TRAT           7          10530.29711          1504.32816       97.57       <.0001

```

17:10 Tuesday, December 14, 2015

3

```

The GLM Procedure
Tukey's Studentized Range (HSD) Test for PORC

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a
higher
Type II error rate than REGWQ.

```

```

Alpha          0.05
Error Degrees of Freedom      32
Error Mean Square          15.41838
Critical Value of Studentized Range  4.58107
Minimum Significant Difference      8.0445

```

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping		Mean	N	TRAT
	A	50.156	5	T4
	A			
B	A	47.275	5	TTGO2
B				
B		40.319	5	T6
	C	20.100	5	T5
	C			
	C	18.326	5	T1
	C			
D	C	17.166	5	T2
D				
D	E	10.208	5	TTGO1
	E			
	E	4.934	5	T3

- Rendimiento En Base Húmeda, Estadística General

17:10 Tuesday, December 14, 2015

1

The MEANS Procedure

Analysis Variable : PORC PORC

TRAT	N Obs	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error
T1	5	4.0000000	6.6666667	5.4666667	0.9777778	0.9888265	0.4422166
T2	5	10.0000000	12.2222222	11.1111111	0.6172840	0.7856742	0.3513642
T3	5	4.0000000	4.6666667	4.2666667	0.1333333	0.3651484	0.1632993
T4	5	10.0000000	14.6666667	12.4000000	3.9111111	1.9776529	0.8844333
T5	5	12.6666667	14.6666667	13.4666667	0.7555556	0.8692270	0.3887301
T6	5	14.6666667	20.0000000	17.4666667	4.5333333	2.1291626	0.9521905
TTGO1	5	6.6666667	8.6666667	7.6000000	0.5777778	0.7601170	0.3399346
TTGO2	5	13.3333333	16.6666667	14.4444444	1.8518519	1.3608276	0.6085806

Analysis Variable : PORC PORC

TRAT	N Obs	Coeff of Variation
T1	5	18.0882890
T2	5	7.0710678
T3	5	8.5581650
T4	5	15.9488140
T5	5	6.4546558
T6	5	12.1898622
TTGO1	5	10.0015388
TTGO2	5	9.4211144

• Rendimiento en Base seca, estadística General

17:10 Tuesday, December 14, 2015

1

The MEANS Procedure

Analysis Variable : PORC PORC

TRAT	N Obs	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Std Dev	Std Error
T1	5	13.4092141	22.3486902	18.3259259	10.9882069	3.3148464	1.4824444
T2	5	15.4494696	18.8826850	17.1660773	1.4733710	1.2138250	0.5428390
T3	5	4.6257753	5.3967379	4.9341603	0.1783150	0.4222736	0.1888465
T4	5	40.4483986	59.3243179	50.1560142	63.9886308	7.9992894	3.5773910
T5	5	18.9059829	21.8911381	20.1000450	1.6832175	1.2973887	0.5802099
T6	5	33.8559078	46.1671470	40.3193084	24.1559285	4.9148681	2.1979958
TTGO1	5	8.9545844	11.6409597	10.2082262	1.0423996	1.0209797	0.4565960
TTGO2	5	43.6388697	54.5485872	47.2754422	19.8369891	4.4538735	1.9918328

Analysis Variable : PORC PORC

TRAT	N Obs	Coeff of Variation
T1	5	18.0882890
T2	5	7.0710678
T3	5	8.5581650
T4	5	15.9488140
T5	5	6.4546558
T6	5	12.1898622
TTGO1	5	10.0015388
TTGO2	5	9.4211144

• Rendimiento en Base Húmeda, Intervalos de confianza.

17:10 Tuesday, December 14, 2015

1

----- TRAT=T1 -----						
column	mean	df	level	lowercl	uppercl	
PORC	5.46667	4	95	4.23888	6.69446	
----- TRAT=T2 -----						
column	mean	df	level	lowercl	uppercl	
PORC	11.1111	4	95	10.1356	12.0867	
----- TRAT=T3 -----						
column	mean	df	level	lowercl	uppercl	
PORC	4.26667	4	95	3.81328	4.72006	
----- TRAT=T4 -----						
column	mean	df	level	lowercl	uppercl	
PORC	12.4	4	95	9.94442	14.8556	
----- TRAT=T5 -----						
column	mean	df	level	lowercl	uppercl	
PORC	13.4667	4	95	12.3874	14.5460	
----- TRAT=T6 -----						
column	mean	df	level	lowercl	uppercl	
PORC	17.4667	4	95	14.8230	20.1104	
----- TRAT=TTG01 -----						
column	mean	df	level	lowercl	uppercl	
PORC	7.6	4	95	6.65619	8.54381	

17:10 Tuesday, December 14, 2015

2

----- TRAT=TTG02 -----						
column	mean	df	level	lowercl	uppercl	
PORC	14.4444	4	95	12.7548	16.1341	

- Rendimiento en Base Seca, Intervalos de Confianza.

17:10 Tuesday, December 14, 2015

1

----- TRAT=T1 -----

column	mean	df	level	lowercl	uppercl
PORC	18.3259	4	95	14.2100	22.4419

----- TRAT=T2 -----

column	mean	df	level	lowercl	uppercl
PORC	17.1661	4	95	15.6589	18.6732

----- TRAT=T3 -----

column	mean	df	level	lowercl	uppercl
PORC	4.93416	4	95	4.40984	5.45848

----- TRAT=T4 -----

column	mean	df	level	lowercl	uppercl
PORC	50.1560	4	95	40.2236	60.0884

----- TRAT=T5 -----

column	mean	df	level	lowercl	uppercl
PORC	20.1000	4	95	18.4891	21.7110

----- TRAT=T6 -----

column	mean	df	level	lowercl	uppercl
PORC	40.3193	4	95	34.2167	46.4219

----- TRAT=TTGO1 -----

column	mean	df	level	lowercl	uppercl
PORC	10.2082	4	95	8.94051	11.4759

17:10 Tuesday, December 14, 2015

2

----- TRAT=TTGO2 -----

column	mean	df	level	lowercl	uppercl
PORC	47.2754	4	95	41.7452	52.8057