Obtención de biofertilizante a partir de los lodos orgánicos generados en la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S de Tuluá -Valle de Cauca a través de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

VLADIMIR BERMÚDEZ GALLEGO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA –UCEVA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TULUÁ, VALLE DEL CAUCA
2016

Obtención de biofertilizante a partir de los lodos orgánicos generados en la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S de Tuluá -Valle de Cauca a través de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida)*

VLADIMIR BERMÚDEZ GALLEGO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director:
LUIS CARLOS VILLEGAS MENDEZ
Ingeniero agrónomo Msc. Estudios Biológicos- naturistas.

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA –UCEVA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TULUÁ, VALLE DEL CAUCA
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____
Presidente del jurado

_____
Jurado

_____
Jurado

Tuluá, Febrero de 2016

DEDICATORIA

*A **Dios**,*
Por haber fortalecido el espíritu de creer y crecer como persona. Por poner en mí camino seres humanos que me cuidaron y protegieron cuando el desamparo y la soledad se apoderaban de mi vida. Gracias Dios por llenar mi vida de mil y un bendiciones siempre.

*A mis **abuelos María Eva Beltrán y Emiro Bermúdez Gil,***
Por estar presentes en mi vida siempre: por forjar en mí, bases bien cimentadas como ser humano. Gracias por no abandonarme y acogerme en su hogar como un hijo. Gracias por ser madre y padre cuando lo necesitaba.

*A mi **tío Asmed Bermúdez,***
Por darme todo el apoyo económico y moral para seguir adelante cuando lo necesite y no desfallecer.

*A **Patricia Rodríguez y Wilmar Andrés Rodríguez**,*
Gracias por enseñarme a creer más en mí.

*A **mi novia Francy Milena***
Por ser el motor que hoy impulsa mi vida. Por las tristezas y alegrías que hemos compartido. Por enseñarme que "la soledad no estar solo". Por ser la mujer que amo y elegí como madre de mis futuros hijos. Por todo el apoyo moral e intelectual que me dio para culminar esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

*Al ingeniero **Luis Carlos Villegas Méndez,***
quien aceptó el reto de ser mi tutor de trabajo de grado. Gracias por sus aportes y conocimientos.

*A la **Productora de jugos S.A.S**,*
por abrirme un espacio para poder desarrollar mi proyecto de investigación. Gracias por la información, los datos y el tiempo que algunos de sus empleados me brindaron cuando lo necesitaba. Gracias.

*A el **vivero El Rosal**,*
que bajo la dirección de mis tíos Asmed y Milton me abrieron sus puertas para que pudiera desarrollar parte del ejercicio experimental. Su apoyo fue vital para el ejercicio académico que hoy me permite graduarme como Ingeniero Ambiental.

*A la **Unidad Central del Valle**,*
por haberme ofrecido un excelente espacio para formarme como ingeniero ambiental y acceder a conocimientos valiosos.

A los ***docentes evaluadores del trabajo de grado***,
por sus aportes, observaciones y sugerencias para hacer de este, un buen proyecto de grado. Todo fue aprendizaje en este camino que hoy comienzo como ingeniero ambiental.

¡¡ Gracias !!

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN……..17

INTRODUCCIÓN……...18

1.PRESENTACIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN Y EL CASO DE ESTUDIO……21

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA……...21
1.1.1. Situación problema……**21**
1.1.2. Formulación del problema……**23**

1.2. JUSTIFICACIÓN……25

1.3. OBJETIVOS……28
1.3.1. Objetivo general……..**28**
1.3.2. Objetivos específicos……**28**

2. MARCO DE REFERENCIA PARA EL CASO DE ESTUDIO……29

2.1. MARCO TEORICO……..……..30
2.1.1. El suelo. Concepto e importancia ……...30
2.1.2. El suelo, los microorganismos y el ciclaje de nutrientes……..32
2.1.3. Lodos. Definición e implicaciones agroindustriales……..32
2.1.4. Parámetros fisicoquímicos relevantes en los lodos……..33
2.1.5. Parámetros microbiológicos relevantes en los lodos……...34
2.1.6. Lombricompost……39

2.2. MARCO GEOGRÁFICO……...41
2.2.1. Macro-localización……41
2.2.2. Microlocalización……42

2.3. MARCO METODOLÓGICO……45
2.3.1. Toma de muestras para análisis físico-químicos……45
2.3.2. Adecuación de las unidades experimentales……45
2.3.3. Adecuación de sustratos por tratamientos ……...46
2.3.4. Siembra de lombrices……49
2.3.5. Medición de variables ambientales y sustratos……...49
2.3.6. Preparación de los sustratos……51
2.3.7. Medición de variables a lombrices……..51
2.3.8. Diseño estadístico experimental……51
2.3.9. Secado del lombrihumus……51
2.3.10. Toma de muestras para análisis físico-químicos y microbiológicos..52
2.3.11. Evaluación costo-beneficio……...53

Pág.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS……..54

3.1 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS. Determinación de parámetros fisicoquímicos de los lodos……54
3.1.1. Evaluación de los parámetros físicos y químicos de los lodos (antes del ensayo) provenientes de la Productora de Jugos S.A.S…….55

3.2 EVALUACIÓN DE LA BIOACTIVIDAD DEL AGENTE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA *(Eisenia foetida*) FRENTE A LA DEGRADACIÓN DE LOS LODOS……57
3.2.1 Toma de muestras para análisis en laboratorio……..59
3.2.2. Evaluación de la población de lombrices después del ensayo…….....60

3.3 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LOS SUSTRATOS DESPUÉS DEL ENSAYO……..65

3.3.1. Análisis Características Fisicoquímicas de las muestras de lodo……65
3.3.2. Análisis parámetros microbiológicos……...70
3.3.3. Evaluación de la caracterización y composición microbiológicas de los tratamientos……76

4. ANÁLISIS ESTADISTICO. Diseño estadístico experimental……**78**

4.1 ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TRATAMIENTOS PARA NÚMERO DE COCONES……78
4.2. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TRATAMIENTOS PARA PRESENCIA DE CLITELIO POR TRATAMIENTO……..80
4.3. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TRATAMIENTOS PARA PESO EN GRAMO DE LAS LOMBRICES SEGÚN EL TRATAMIENTO……83
4.4. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TRATAMIENTOS PARA NÙMERO DE LOMBRICES SEGÚN EL TRATAMIENTO……86

5. DISCUSIÓN RESULTADOS……89

5.1. CARACTERISTICAS DEL MATERIAL A COMPOSTAR…… 89
5.1.1 Características físico-químicas…… 89
5.1.2 Características microbiológicas……..96
5.1.3 NTC 5167 del 2004……..96

6. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO……97

6.1. ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN. Valoración de la implementación del proyecto a tres años……..97
6.2. ANÁLISIS DE COSTO/BENEFICIO DEL PROYECTO……..100

Pág.

6. 3. INDICADORES DE RENTABILIDAD……105
6.4. ANÁLISIS DE COSTOS DE INVERSIÓN Y BENEFICIOS……107
6.4.1. Beneficios del proyecto……107

7. CONCLUSIONES……...108

8. RECOMENDACIONES……..109

9. BIBLIOGRAFIA……...110

LISTA DE MAPAS

Pág.

Mapa 1. Localización del municipio de Tuluá en Colombia. ……..41

Mapa 2. Localización del municipio de Tuluá en el departamento del Valle del Cauca……41

Mapa 3: Localización de la Productora de Jugos S.A. en el municipio de Tuluá- Valle del Cauca.....42

LISTA DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 1: Promedios de pH día 30, 60, 90 y 120 desde el primer día del experimento.……57

Gráfico 2: Comportamiento de la temperatura de los tratamientos……..…58

Gráfico 3: Comportamiento de la humedad por tiempo de tratamiento. ……..……59

Gráfico 4: Promedio día 30, 60, 90 y 120 para número de lombrices por cada tratamiento. .……60

Gráfico 5: Promedio población de cocones por tratamiento durante los 120 días del ensayo..…61

Gráfico 6: Promedio de Clitelio durante los 120 días del ensayo. ……62

Gráfico 7: Peso en gramos promedio por cada indivio presente en cada tratamiento. ……..……63

Gráfico 8: ANOVA para número de codones. ……79

Gráfico 9: ANOVA para presencia de clitelio. ……82

Gráfico 10: ANOVA para peso en gramos de lombrices. ……..…….84

Gráfico 11: ANOVA para número de lombrices. ……..……87

Gráfico 12: Cantidad de lodo generado mensualmente y número de viajes a disponer por la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. ……..……....87

LISTA DE IMAGENES

Pág.

Imagen 1: Proceso de elaboración de pulpas empresa PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. …….**43**

Imagen 2: Collage fotográfico del vivero El Rosal, municipio de Tuluá- Valle del Cauca. ……..…...**44**

Imagen 3: Ubicación de los tratamientos en el sitio de estudio……..…..…**46**

Imagen 4: Collage fotográfico de las unidades experimentales…….……..**46**

Imagen 5: Collage fotográfico correspondientes a los lodos empleados como sustratos en la investigación. ……..……..**48**

Imagen 6: Collage fotográfico correspondientes a la boñiga empleada como sustrato en la investigación……...……...**49**

Imagen 7: Medición de pH en las unidades experimentales. …….……..**50**

Imagen 8: Medición de humedad en cada unidad experimental. ……..……..**50**

Imagen 9: Collage fotográfico de actividades de conteo de poblaciones de lombrices durante el ensayo. ……..……....**60**

Imagen 10: Collage fotográfico del proceso de observación, y adecuación de las muestras para su traslado a laboratorio. ……..……**65**

Imagen 11: Microorganismos asociados a cada tratamiento en PDA. a. Tratamiento 1 b. Tratamiento 3 c. Tratamiento 4 d. Tratamiento 5. …..……**70**

Imagen 12: Microorganismos asociados a cada tratamiento en agar-caso. a. tratamiento 1. b Tratamiento 3. c. Tratamiento 4. d. Tratamiento 5. ……..……**70**

Imagen 13: Condiciones de cada tratamiento en cámara húmeda. Tratamiento 1: a,b,c; Tratamiento 3: d y e ; Tratamiento 4: f,g,h ; Tratamiento 5: j y k. ……..……**71**

Imagen 14: Microorganismos crecidos en el tratamiento 1 en PDA. ……...**71**

Imagen 15: Tinción de Gram de las colonias asociadas al tratamiento 1. ……**72**

Imagen 156: Micelio asociadas a las colonias del tratamiento 1 bajo condiciones de cámara húmeda……..…**72**

Imagen 17: Tinción de Gram de las colonias asociadas al tratamiento 3…….....**73**

Imagen 18: Microorganismos crecidos en el tratamiento 3 en PDA. ……..……**73**

Imagen 19: Micelios de las colonias asociadas al tratamiento 3. ……**74**

Imagen 20: Microorganismos crecidos en el tratamiento 4 en PDA. ……..……**74**

Imagen 21: Tinción de Gram de las colonias asociadas al tratamiento 4. ……..……..**75**

Imagen 22: Microorganismos crecidos en el tratamiento 5 en PDA. ……**75**

Imagen 23: Tinción de Gram de las colonias asociadas al tratamiento 5. ……..……...**76**

Imagen 24: Diseño área destinada al lombricultivo. Requerimientos de infraestructura para la ejecución del proyecto. ……..……..**96**

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1: Tratamientos diseñados en el ensayo. ……..……..**47**

Cuadro 2: Unidades de medida y método analítico empleado para la determinación de cada parámetro fisicoquímico en las muestras de lodo según la NTC 5167……**52**

Cuadro 3: Caracterización y composición del material orgánico solido de la Productora de jugos Orense S.A.S. …… ……**54**

Cuadro 4: Parámetros Agrícolas del compost. ……..……**55**

Cuadro 5: Parámetro, método y técnica considerados para evaluar la toxicidad de los lodos en la Productora de jugos Orense S.A.S. según la normatividad EPA……..**55**

Cuadro 6: Valores para prueba de Toxicidad (TCLP). Método 1311 EPA……**56**

Cuadro 7: Peso en gramos promedio por cada indivio presente en cada tratamiento. ……..…….**64**

Cuadro 8: Valores de pH de las muestras de lodo por tratamiento. ……..……..**66**

Cuadro 9: Valores de Materia Orgánica y Carbono de las muestras de lodo por tratamiento…..……**66**

Cuadro 10: Valores de Nitrógeno total de las muestras de lodo por tratamiento. ..……..**67**

Cuadro 11: Relación C/N de las muestras de lodo por tratamiento. ……..**67**

Cuadro 12: Valores de Metales Totales de las muestras de lodo por tratamiento. ……..**68**

Cuadro 13: Valores de % Capacidad de Retención de humedad de las muestras de lodo por tratamiento. ……**69**

Cuadro 14: Valores de Intercambio Catiónico de las muestras de lodo por tratamiento. ……**69**

Cuadro 15: Valores de Conductividad Eléctrica de las muestras de lodo por tratamiento. ……..……**69**

Cuadro 16: Condensado de los resultados de la evaluación de los parámetros microbiológicos de las 5 muestras de sustratos después del tratamiento. ..……..**77**

Cuadro 17: Niveles máximos de patógenos según la norma NTC 5167. ……..**77**

Cuadro 18: Resumen Estadístico para número de cocones. ……..**78**

Cuadro 19: ANOVA para número de cocones por tratamiento. ……..**79**

Cuadro 20: Pruebas de Múltiple Rangos para número de cocones por tratamiento. Método: 95,0 porcentaje Duncan. ……..**80**

Cuadro 21: Resumen Estadístico para presencia de clitelio. ……..**81**

Cuadro 22: ANOVA para presencia de clitelio por tratamiento. ……..**82**

Cuadro 23: Pruebas de Múltiple Rangos para presencia de clitelio por tratamiento. Método: 95,0 porcentaje Duncan. ……..**83**

Cuadro 24: Resumen Estadístico para peso en g de lombrices. ……..……**84**

Cuadro 25: ANOVA para peso en gr por tratamiento. ……..……..**84**

Cuadro 26: Pruebas de Múltiple Rangos para peso en gr por tratamiento. Método: 95,0 porcentaje Duncan. ……..**85**

Cuadro 27: Resumen Estadístico para número de lombrices por tratamiento. …..……..**85**

Cuadro 28: ANOVA para número de lombrices por tratamiento. ……..……..**86**

Cuadro 29: Pruebas de Múltiple Rangos para número de lombrices por tratamiento. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD ……..……..**87**

Cuadro 30: Cantidad de lodo generado mensualmente y número de viajes a disponer por la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. ……..……..**88**

Cuadro 31: Cantidades de generación de lodos para capacidad de infraestructura. ……..……**97**

Cuadro 32: Costos de dotación y salario de un empleado para la manutención de biotransformación de lodos por medio de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). ……..……99

Cuadro 33: Producción de abono y precios para la comercialización con el máximo de lodo generado. ……..……**100**

Cuadro 34: Producción de abono, y precios para la comercialización con el mínimo de lodo generado. ……101

Cuadro 35: Costos por la compra de costales para la venta del producto. ..……101

Cuadro 36: Costos de inversión para montaje definitivo. ……..……101

Cuadro 37: Costos de operación del montaje definitivo. ……**102**

Cuadro 38: Gastos actuales por la disposición final de lodos. ……**102**

Cuadro 39: Costos de operación general del centro de lombricultivo lodos. ……...**103**

Cuadro 40: Ingresos por concepto de la venta de lombri-humus a 3 años. ……..……**103**

Cuadro 41: Ingresos por concepto de la venta de lombri-humus a 3 años. ……..……**103**

Cuadro 42: Ingresos por concepto de la venta de lombri-humus a 3 años. ……..……**104**

LISTA DE DIAGRAMAS

Pág.

Diagrama 1: Costos y beneficios del proyecto a partir de la construcción del flujo de caja para el proyecto. **……..104**

Diagrama 2: Diagrama de flujo neto del proyecto. **……105**

Diagrama 3: Relación beneficio costo. **……...106**

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A: Caracterización de residuos Productora de Jugos S.A.S. ……**117**

ANEXO B: Cuadro 1. Promedio de pH por unidad experimental y repetición. …..……**121**

ANEXO C: Cuadro 2. Promedio de temperatura registrada por unidad experimental y repetición...**122**

ANEXO D: Cuadro 3**.** Promedio de humedad registrada por unidad experimental y repetición. ……..…..**123**

ANEXO E: Cuadro 4. Promedio para número de lombrices durante los 120 días del ensayo…..…..**124**

ANEXO F: Cuadro 5. Numero de cocones por tratamiento y repetición durante los 120 días del ensayo……**125**

ANEXO G: Cuadro 6. Presencia de clitelio durante los 120 dìas del ensayo por cada ensayo.....**126**

ANEXO H: Informe de resultados de caracterización de abono orgánico. Tratamiento 1. ….……**127**

ANEXO I: Informe de resultados de caracterización de abono orgánico. Tratamiento 3. ……..…**128**

ANEXO J: Informe de resultados de caracterización de abono orgánico. Tratamiento 4. …..……**129**

ANEXO K: Informe de resultados de caracterización de abono orgánico. Tratamiento 5. …..……**130**

ANEXO L: Cuadro 7. Relación C/ N para algunos materiales. **……..131**

ANEXO LL: Cuadro 8**.** Niveles máximos de patógenos y metales pesados según la norma NTC 5167……..**132**

ANEXO M: Valores permisibles en los resultados de análisis físico-químicos. ……..……133

ANEXO N: Tabla 1. Características fisicoquímicas según Sarria y R (2004). ……..**134**

ANEXO O: Caracterización y composición de material orgánico solido PTAR Productora de jugos S.A.S…….**135**

ANEXO P: Informe de resultados de análisis bromatológicos especial PTAR Productora de jugos S.A.S……**136**

ANEXO Q: Cuadro 9. Condensado de los resultados de las variables analizadas en la investigación durante el ensayo para los cinco tratamientos y sus repeticiones. ……..1**37**

ANEXO R: Gráfico 1: Cantidad de lodo generado mensualmente por la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. ……..……**138**

RESUMEN

En este trabajo se determinó la calidad de los lombricompuestos obtenidos por biotransformación de lodos de residuos de frutas tropicales originadas en los procesos de producción de jugos y concentrados a base de frutas (obtención de pulpas naturales y concentradas, pulpas naturales azucaradas, néctares y refrescos) de la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. del municipio de Tuluá (Valle del Cauca- Colombia).

El diseño experimental incluyó cinco tratamientos de lodo bajo la acción de la Lombriz Roja Californiana *(Eisenia foetida)* evaluadas con cinco repeticiones cada una durante un periodo de 120 días. Los tratamientos correspondieron a: Tratamiento número 1 (100 % lodos). Tratamiento número 2 (100 % boñiga). Tratamiento número 3 (50 % boñiga y 50 % lodos). Tratamiento número 4 (70 % boñiga y 30 % lodos) y Tratamiento número 5 (30 % boñiga y 70 % lodos). Los lodos utilizados en los cinco tratamientos, contienen residuos de maracuyá, mora, mango, banano, lulo palora- hibrido, lulo selva, fresa, guayaba, uva, uchuva, naranja, tomate de árbol y guanábana. Para la evaluación del potencial de los lodos específicos en cada tratamiento, se realizaron pruebas fisicoquímicas y microbiológicas.

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) con el fin de determinar la importancia de las fuentes de variación (factores de tratamientos y de clasificación) en cada muestra de lodo. Se plantea el aprovechamiento de residuos agroindustriales provenientes del procesamiento de frutas tropicales, para la obtención de abono orgánico y así contribuir a la mitigación del impacto ambiental que estos residuos pueden provocar si no se les da un manejo adecuado.

Palabras clave: Lombricompuesto, biotransformación, Lombriz Roja Californiana *(Eisenia foetida).*

INTRODUCCIÓN

Acorde con la normatividad ambiental colombiana - Decreto 1713 de 2002) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible- se define Gestión integral de residuos sólidos “al conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos producidos, el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final.”

Los residuos pueden ser de origen domiciliario, urbanos o municipales, industriales, agrícolas, ganaderos y forestales; mineros, hospitalarios o de centros de atención de salud; de construcción, portuarios o radiactivos. En este contexto, los residuos se dividen en residuos que pueden aprovecharse y otros que no pueden ser aprovechados. Dentro del grupo de residuos aprovechables, se encuentra un grupo de residuos denominados residuos biodegradables, que corresponden a aquellos restos químicos o naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente. En este grupo se encuentra restos de madera, alimenticios no infectados, vegetales y otros residuos que puedan ser transformados fácilmente en materia orgánica, siendo susceptibles al aprovechamiento o transformación de un nuevo bien, con valor económico o de disposición final (Concesionaria Tibitoc S.A. E.S.P., S.f).

Para ampliar el concepto de residuo se hace necesario familiarizarse y entender la jerarquía del manejo de residuos sólidos, la cual tiene como objetivo fomentar la gestión de los desechos enfatizando en su minimización desde el origen (evitar su producción) y en la recuperación al máximo del valor de aquellos que no pueden dejar de generarse (aprovechamiento y valoración). Se establece la reducción en la fuente como primera opción, seguida de la reutilización, la recuperación a través de alternativas como el reciclaje y el compostaje (u otras técnicas de transformación de residuos biodegradables), la recuperación de energía, el tratamiento y por último, la disposición final como la última y menos deseable opción. Esta jerarquía se considera como una de las mejores opciones para manejar residuos sólidos a nivel mundial, ya que permite encontrar diversas alternativas de solución, analizando paso por paso cada etapa de la gestión integral (Zambrano, 2006)

Tras la prevención en la generación de residuos, base de la pirámide de gestión ambiental, una parte fundamental en la jerarquía del manejo de los residuos sólidos es la referida a las fases de aprovechamiento y valorización (recuperación, reutilización, reciclaje, compostaje). De ellas se derivan beneficios ambientales y económicos, entre otros, la disminución del volumen de residuos sólidos que van para disposición final. Lo anterior conlleva a incrementar la vida útil de los rellenos sanitarios y a su vez a disminuir la producción de gases y lixiviados, pues el material orgánico se desvía para ser aprovechado por ejemplo, para compostaje o lombricultura (UNAD,2012).

Las alternativas para el aprovechamiento de los residuos orgánicos y lodos consisten principalmente en la aplicación de procesos biológicos y/o bioquímicos,

termoquímicos, físicos y/o fisicoquímicos. De acuerdo a la disponibilidad de residuos y sus características se puede seleccionar las diferentes opciones de aprovechamiento. Para la evaluación de las diversas alternativas tecnológicas para aprovechamiento de residuos orgánicos, y dentro de este, de los lodos es necesario conocer las características físicas y químicas de los residuos tales como contenido de humedad, porcentaje de materia orgánica seca, contenido de proteínas y contenido de macronutrientes y micronutrientes entre otros, tal como lo establece la NTC 5167 sobre "productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo".

Como una alternativa tecnológica para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos, se emplean invertebrados como las lombrices. Existen varias especies de lombrices utilizadas con tal fin, entre ellas *Allopora caliginosa* (lombriz de campo, que es útil para la agricultura pero se reproduce escasamente), *Ocasium lacteum* (lombriz parda, que se desarrolla en suelos arenosos y húmedos), *Dendrobaena alpina* (lombriz del lodo, la cual vive asociada a *Eisenia foetida), Lombricus terrestris* (lombriz de tierra, que cava galerías muy profundas, prefiere regiones frías y se reproduce poco), *Lumbricus rubellus* (lombriz de los residuos orgánicos, vive tanto en la superficie como en el interior del suelo) y *Eisenia foetida*, lombriz del estiércol o roja californiana, de gran actividad reproductiva.

Las lombrices constituyen un recurso potencial de gran interés en la sostenibilidad de la agricultura, pues, participan activamente en la regulación de las propiedades físicas del suelo, la dinámica de la materia orgánica del entorno y el crecimiento de las plantas, junto a otros organismos macrodescomponedores forman parte de la fauna del suelo. Esto se debe a su capacidad de descomponer la materia orgánica, reciclar nutrientes y la formación de suelo, actividad que puede ser afectada en presencia de elementos tóxicos en el suelo (Loza, 2010).

La lombriz roja (*Eisenia spp*.) forma parte de las herramientas biotecnológicas actuales para el reciclaje de desechos orgánicos, obteniéndose como beneficio el vermicompost (abono orgánico) y carne, fuente óptima para la alimentación animal. Este anélido caracterizado por ser hermafrodita puede llegar a producir grandes cantidades de lombrices por año, el abono producto de sus deyecciones contiene una gran riqueza bacteriana (2×10^{12} bacterias/g), desarrollando su ciclo biológico en pequeños espacios (50×10^{3} cm^3 de sustrato), se adapta a un amplio rango de condiciones edafoclimáticas. La lombriz roja (*Eisenia ssp.)* se desarrolla bien bajo temperaturas promedio de 30° C, y en un amplio rango de restos agrícolas, lo que permite utilizarla en condiciones climáticas cálidas para el reciclaje de estiércoles de animales y restos de cosecha para la producción de humus de lombriz y proteína animal con la subsiguiente disminución de la contaminación (Loza, 2010).

Por lo mencionado anteriormente el presente trabajo propone una alternativa de gestión ambiental empresarial, real, aplicable, económica y adaptable a los procesos del manejo final en la producción de jugos a base de frutas tropicales, el manejo de los residuos a través de métodos y técnicas de biotransformación de los

residuos orgánicos mediante compostaje en la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S de Tuluá, Valle del Cauca y empresas del gremio.

Para la obtención del biofertilizante a partir de los lodos orgánicos generados en la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S a través de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) se plantearon como objetivos la evaluación de los parámetros físicos y químicos de la materia orgánica (lodos) de acuerdo a los requerimientos técnicos establecidos por la NTC 5167 y la EPA 503 antes del ensayo; la evaluación de la bioactividad del agente lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). frente a la degradación de los lodos; la evaluación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del biofertilizante y finalmente la realización de un análisis beneficio /costo con la implementación del proyecto. Como pregunta de investigación se planteó la siguiente: ¿ Es posible obtener abono orgánico a partir de los lodos orgánicos generados en la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S de Tuluá -Valle de Cauca a través de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) ?

Para su cumplimiento, se diseñó un experimento con cinco tratamientos, así: Tratamiento número 1 (100 % lodos). Tratamiento número 2 (100 % boñiga). Tratamiento número 3 (50 % boñiga y 50 % lodos). Tratamiento número 4 (70 % boñiga y 30 % lodos) y Tratamiento número 5 (30 % boñiga y 70 % lodos). Los lodos utilizados en los cinco tratamientos, contienen residuos de maracuyá, mora, mango, banano, lulo palora- hibrido, lulo selva, fresa, guayaba, uva, uchuva, naranja, tomate de árbol y guanábana.

La metodología planteada en el diseño experimental incluyó la toma de muestras para análisis físico-químicos (antes del experimento) y microbiológicos (antes y después del experimento); adecuación de las unidades experimentales; preparación y adecuación de sustratos por tratamiento; siembra de lombrices; medición de variables ambientales a los sustratos; medición de variables a lombrices (tales como presencia/ausencia de clitelio y número de cocones por lombriz); secado de lombrihumus y finalmente la evaluación costo/beneficio del proyecto a un periodo de tres años. Por su parte, el diseño estadístico experimental del proyecto incluyó el análisis de varianza ANOVA y la prueba de rasgos múltiples de DUNCAN para el análisis de las diferencias significativas entre tratamientos para número de cocones; presencia de clitelio en las lombrices y peso en gramo de las lombrices en cada tratamiento.

Con el desarrollo de este trabajo experimental, se plantea la mejor muestra de lodo con potencial para desarrollar un proceso de lombricompostaje local, a partir de muestras que poseen características fisicoquímicas y microbiológicas que aunque bajos respecto a los planteados en los rangos establecidos en la NTC 5167 y la EPA 503, pueden volverse eficientes bajo ciertos acondicionamientos en el proceso de compostaje.

1. PRESENTACIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN Y EL CASO DE ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación se plantean los aspectos del contexto de la realidad problemática de la cual se origina el tema general y específico de la investigación. Para ello, se presentan a continuación la descripción de la situación problemática y la formulación del problema:

1.1.1. Situación problema

La disposición final de todos los residuos generados debido principalmente a la actividad humana provoca actualmente un grave problema medioambiental a nivel mundial. Sin embargo, estos residuos bien administrados pueden aportar un valor añadido al marco económico. Mientras que su descarte comporta un coste económico y diversas afectaciones medioambientales. La problemática se extiende a la gran mayoría de países. Tan sólo unos cuantos son conscientes de estos impactos y han comenzado a preocuparse por los residuos orgánicos que, separados en origen, pueden ser un recurso muy valioso para la producción de un abono de calidad.

La actividad industrial es generadora de diferentes tipos de contaminación que afectan a los recursos aire, agua y suelo. Los mecanismos iniciales de descontaminación son la prevención y reducción en la fuente, pero existe contaminación que debe necesariamente tener tratamientos al finalizar el proceso industrial que lo genera o como se ha denominado en el ámbito de la gestión ambiental empresarial, soluciones de “final del tubo” *(end of pipe).*

La generación de lodos industriales en procesos de producción es común, sobre todo en los siguientes tipos de industrias: textil, química y farmacéutica; pulpa y producción del papel; metalmecánica y acabado de metal; industria de electrogalvanizado, electrónicas, procesamiento de alimentos, curtido del cuero, etc. Estos tipos de lodos pueden ser clasificados en función de la toxicidad y la prioridad de manejo, teniendo los siguientes tipos de lodos industriales: A) Lodos orgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos, fácilmente biodegradable, prioridad I. B) Lodos orgánicos e inorgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos, los orgánicos no fácilmente biodegradables, prioridad II. C) Lodos orgánicos e inorgánicos conteniendo contaminantes tóxicos, prioridad III. De la misma manera, se han definido las opciones de manejo de acuerdo a los tipos de lodos estableciéndose en función de su prioridad, así: A) Prioridad I: reuso como fertilizante dependiendo de la composición, prevención dependiendo del proceso de generación, relleno sanitario o incineración. B) Prioridad II: reuso y revalorización dependiendo de la composición, compostaje, incineración o relleno. C) Prioridad III: Prevención dependiendo de los procesos de generación del lodo o disposición en mono-rellenos.

En Colombia, según el documento de “El medio ambiente en Colombia: Desempeño ambiental de la tecnología en la industria colombiana” no se dispone de un registro periódico y sistemático de los aportes contaminantes que la industria genera en cada una de sus actividades económicas productivas: en el mejor de los casos se cuenta con informes puntuales de poca información y con un grado de confiabilidad bastante bajo. Todo ello lleva a concluir que no se tienen las herramientas necesarias para conocer cuál es el comportamiento real de la industria colombiana en cuanto a su desempeño ambiental en los últimos años.

Por lo anterior, el IDEAM desarrolló un instrumento único de captación de información ambiental generado a por las diferentes actividades socioeconómicas del país y que se implementa en diferentes entidades ambientales del país. Este instrumento se conoce como Formulario del Uso de Recursos - FUR, que fundamentado en balances de materia y energía, permite la conceptualización de un modelo racional entre actividades de todos los sectores de la economía, pública y privada, involucrados en la trasformación de bienes y servicios con sus correspondientes impactos ambientales. De esta manera se creó un mecanismo para la recopilación, proceso y manejo adecuado de la información ambiental real, con el cual el gobierno, los sectores productivos y la sociedad en general puedan tomar decisiones convenientes respecto al uso racional y sostenible de los recursos naturales.

El inventario de uso de recursos es un componente del Sistema de Información Ambiental – SIA, en el que se integra la información sobre consumo de recursos naturales, emisiones, vertimientos y disposición de residuos sólidos a través de la administración de bases de datos integradas y sistemas de información geográfica principalmente. Con este instrumento se busca tener un inventario nacional de emisiones, vertimientos y residuos sólidos en relación con todos los sectores económicos del país y así poder emprender acciones tales como el dar cumplimiento de la normatividad ambiental; evaluar y comunicar riesgos ambientales; prevenir la contaminación y reducir residuos desde la fuente; manejar la calidad del aire; ejecutar planes de acción para reducir la emisión de gases de efecto invernadero; reducir riesgos químicos; generar programas de difusión pública sobre niveles de cumplimiento normativo y de desempeño ambiental de los establecimientos industriales; autorregulación industrial y certificación y acciones para el acceso público a la información ambiental nacional (Rodríguez, M et al, s.f.).

Las acciones mencionadas en el párrafo anterior, se pueden lograr a partir de un uso eficiente de las materias primas e insumos; un mejor control de proceso; una mayor creatividad en el diseño organizacional; la minimización de riesgos; la reducción de costos de disposición y manejo de efluentes, residuos sólidos y emisiones; el incremento de la productividad; aprovechamiento de subproductos y creación de mercados para materiales secundarios; la eficiencia energética; el mantenimiento adecuado y tiempo de equipos y la recuperación de desechos. Estas consideraciones procuran instaurar un balance adecuado entre la información requerida de la industria y los costos y beneficios asociados al reporte y a la integración de la información en un nivel empresarial, regional y nacional.

1.1.2. Formulación del problema

LA PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S es una empresa ubicada en el municipio de Tuluá, departamento del Valle del Cauca, en la calle 48 # 21-100 cuyo objeto social es la conversión de frutas naturales en pulpas que sirven como materia prima para diferentes productos como helados, jugos, néctares, salsas, conservas, etc. El 80% del proceso de producción es automático con maquinaria en acero inoxidable, con capacidad para procesar 100.000 toneladas métricas al año de frutas siendo de mayor importancia el mango *(Manguífera indica*). El proceso de producción empieza con una etapa de clarificación de fruta, luego pasan por una etapa de extracción para posteriormente ir a unos tanques de homogenización y balance. Inmediatamente entran al proceso de concentración y después a la etapa térmica que es la pasteurización, pasan finalmente a unos tanques de almacenamiento y enseguida se determina si es congelado en aséptico o van a las bodegas.

El problema principal estriba en que la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S genera 20 toneladas de lodos mensuales en promedio, cantidad que varía dependiendo de la época del año y de la producción de la compañía, que a su vez, está sujeta al tipo de fruta que está en procesamiento en la empresa y los tiempos de procesos de los productos. Aunque la empresa cumple con las normas ambientales legalmente establecidas para estos procesos de producción, como son el control de variables y desactivación de los lodos residuales, la cantidad de lodos generados en los procesos de elaboración de jugos, ocasiona para la empresa un problema en la disposición final, puesto que la mayoría de estos residuos son enviados a cultivos locales de caña de azúcar, y a familias del casco rural dedicadas a la producción agrícola para ser utilizados como acondicionadores de suelos.

Por consiguiente la empresa PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. realiza un inadecuado aprovechamiento de los residuos generados en el desarrollo de su actividad industrial, principalmente en el sector agrícola, puesto que son usados sin ningún estudio previo que verifique su viabilidad para tal uso, además no se cumple con la reglamentación dispuesta por la resolución 00150 (21 de Enero del 2003) y la NTC 40, que hacen mención al Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia, y también porque la empresa está desaprovechando un ingente potencial de materia prima para la elaboración de un abono o fertilizante apto técnicamente para el abonamiento de cultivos regionales y nacionales. Desde este punto de vista el problema radica en el inadecuado aprovechamiento de residuos de frutas y en los descontrolados usos sin ninguna regulación técnica ambiental o verificación del control en las variables fisicoquímicas y microbiológicas que vayan a afectar el proceso natural evolutivo de los suelos que entren en contacto con estos residuos.

Por tratarse de lodos residuales orgánicos, los efectos causados por la incorrecta utilización de estos van desde emanaciones de metano, proliferación de vectores, así como la presencia de compuestos tóxicos debido a metales pesados presentes como Pb, Cd, Ba, Cr, Ag, Hg, As y Se metales estos con mayor potencial

contaminante para los suelos tratados con lodos, debido a su elevada movilidad y a su asimilabilidad en los organismos, que confieren a los lodos su característica de factor limitante para su disposición en las tierras de cultivo, ya que los elementos tóxicos pueden acumularse en las plantas ocasionando disturbios fisiológicos y bioquímicos en las mismas, reduciendo la calidad de la vegetación afectada en su destino final que es la alimentación humana o alimento de ganado y de la misma fauna silvestre (Logan, T. J. & Chang. A. C., 1987).

El desconocimiento de las características químicas y microbiológicas de estos lodos, y su posterior contacto con suelos de uso agrícola, confieren a los suelos una real opción de alteración o contaminación del sustrato, así como la afectación de la micro y mesofauna presente en los horizontes edafológicos, como también la afectación de las aguas subsuperficiales y subterráneas, con el consiguiente riesgo ambiental para los componentes del ciclo hidrológico, por lo cual el uso de estos lodos no puede ser indiscriminados sin una adecuada planeación y supervisión (Otero J.L, Andrade M. L & Marcet P, 1996)

Otro problema derivado del uso indiscriminado de lodos provenientes de la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S en fincas dedicadas a la agricultura en el municipio de Tuluá, es la presencia de organismos patógenos en éstos que sobreviven al proceso de digestión anaerobia en el momento de la desactivación de lodos residuales, los cuales son depositados en las fincas de los agricultores modificando el contenido natural de microorganismos en el campo; este problema es solucionable mediante técnicas de compostaje de lodos antes de su aplicación al suelo, lo cual garantiza una mayor sanidad, calidad e inocuidad del producto.

Otro aspecto problemático consecuente de la mala disposición de los lodos por parte de la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S, diferente a los aspectos ambientales ya mencionados, es el económico, pues la empresa contrata semanalmente un número de tres (3) automotores (volquetas), que realizan el trabajo de transporte del lodo residual de la empresa al sitio de disposición final, con un valor promedio por viaje de cien mil pesos ($100.000). El valor total invertido por la empresa por año por este concepto fue de catorce millones cuatrocientos mil pesos ($14´400.000) [1] al año 2014 y de diez millones ochocientos ochenta y un mil ciento veintiocho pesos ($10´881.128) al año 2015. Estos recursos son invertidos por la empresa para eliminar o deshacerse del problema de los lodos depositados *in situ*, desconociendo de esta manera el potencial económico y comercial de los mismos, y su posibilidad de convertirse en un proveedor importante de biofertilizantes para uso agrícola.

Teniendo en cuenta el óptimo manejo dado por la empresa en los procesos aplicados para sus residuos sólidos, es necesario explicar que en este caso, el de manejo y disposición de lodos, no está acorde con la eficiencia operativa de la

[1] Entrevista realizada al Ingeniero Alexander Vallecilla, Funcionario, gestión ambiental, Productora de Jugos S.A. Tuluá-Valle, 19 de enero de 2014

empresa en el manejo de residuos de otro orden, y por lo tanto carece de una visión ambiental y productiva del manejo de estos residuos. En síntesis, la aplicación indiscriminada de estos lodos provenientes de la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S, puede ocasionar en los suelos afectados una disminución de la fertilidad natural del horizonte superficial, una mayor erosión física, poca infiltración y menor capacidad de almacenamiento de agua, dificultad para el desarrollo radical y deficiente establecimiento de poblaciones microbianas benéficas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Aunque se reconoce la existencia de iniciativas de mejoramiento de los procesos de producción en diversas actividades productivas en Colombia, es preciso decir que persiste en la actualidad una predominante falta de concienciación ambiental por parte de las industrias de diferentes sectores económicos, ya que no le dan la suficiente importancia a los efectos negativos que pueden generar el uso posterior de los lodos sin haber realizado análisis previos de tipo fisicoquímicos y/o microbiológicos que permitan conocer su calidad y composición. Lo anterior es debido a que en la actualidad la Normatividad Colombiana no es preciso conocer la compatibilidad de estos con las superficies del medio ambiente en las cuales probablemente pasaran a ejercer algún beneficio, es por esto que se dificulta conocer las características de tipo biológico, físico y químico de los lodos antes de emplearlos o darles su respectivo valor agregado. Surge así la necesidad de analizar el aprovechamiento de la utilización posterior de los lodos como recuperadores o mejoradores de suelos, para proponer alternativas de valor agregado a los lodos generados en el desarrollo de las actividades industriales nacionales.

Los residuos de biomasa son los materiales de carácter orgánico generados en los procesos industriales, diferentes al producto para el cual fue diseñado el proceso principal. Dichos residuos en algunos de los casos se presentan en una cantidad considerable, aun mayor que el producto esperado. Para tener una idea de la cantidad de residuos de biomasa y poderla relacionar con el producto esperado, se usa el índice de residuos de biomasa unitarios – RBU en kilogramos de residuo por tonelada de producto esperado.

Los residuos de biomasa ejercen un gran efecto sobre el entorno, pues en general, se disponen de manera inadecuada generando serios problemas ambientales: como cualquier elemento más del suelo, los contaminantes se incorporan a los procesos fisicoquímicos naturales, alterando sus características y propiedades originales. El potencial de este tipo de residuos industriales es altísimo, lo cual ha llevado al desarrollo de estrategias de “producción más limpia”, como la simbiosis industrial que imita en orden descendente los flujos de nutrientes entre los diversos organismos en los ecosistemas naturales.

Según el documento sobre *“El medio ambiente en Colombia: Desempeño ambiental de la tecnología en la industria colombiana”* la generación de RBU se presenta básicamente en las actividades industriales del sector de alimentos. Según este

estudio, en orden descendente, las actividades industriales con RBU generados en forma intensiva son: A) Azúcar cruda por empapado, clarificación por centrifuga, evaporación multiefecto y cristalización discontinua, en una relación de 1.8 toneladas/tonelada de azúcar producida. B) Extracción de aceite vegetal por prensado con centrifugación, en una relación de 1.6 toneladas/tonelada de aceite extraído. C) Producción continúa de pulpa de frutas, en una relación de 0.7 tonelada/tonelada de pulpa producida.

En la actualidad, los residuos orgánicos generados al finalizar los procesos de extracción de pulpa para la producción de jugos a base de frutas tropicales son dispuestos inadecuadamente por la empresa, quienes transportan y entregan los residuos en mención a pequeños agricultores, que lo reciben sin tener en cuenta las características químicas y biológicas de estos; sin conocer las características fisicoquímicas de los suelos de las fincas que los van a recibir , ni los desequilibrios o reacciones imprevistas que puedan generar en detrimento de la productividad de los mismos.

La realización de este proyecto permitirá obtener un abono orgánico a partir de los lodos generados en la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S, utilizando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), generando una alternativa de aprovechamiento eficiente frente a la problemática ambiental y económica que representan estos lodos actualmente para la empresa en cuanto a lo referente a disposición final adecuada de los residuos. Igualmente se pretende beneficiar a los agricultores y al sector agropecuario regional y nacional al poder utilizar un biocompostaje enriquecido con los residuos fisiológicos de la lombriz roja californiana, la cual enriquece la carga microbiana del sustrato aumentando su alcalinidad; ello beneficia a los suelos incrementando el potencial productivo de los mismos.

La conversión de estos lodos en material apto para el uso agrícola, enriquecido con los aportes fisiológicos que la lombriz roja californiana le aporta (carga microbiana y sustancias alcalinas), contribuirá a que los lodos sean dispuestos en el relleno sanitario, con lo que se contribuye a la vida útil del mismo al ser usados como abono orgánico según lo establecido por la normatividad ambiental colombiana.

"Con la realización de este proyecto no solo se reducirá el impacto ambiental causado por el inadecuado aprovechamiento de estos lodos que generan lixiviados, contaminan cuerpos de aguas y generan malos olores, sino que se reducirá el riesgo de causar una problemática de salud pública en los asentamientos ercanos a estos residuos mal manejados donde habitan familias y que por causa de esta contaminación se pueden ver afectados por brotes de infecciones, enfermedades respiratorias y demás alteraciones de la salud" [2].

En la parte económica se contribuirá a una reducción considerable de los costos de trasporte de los residuos, ya que el valor de acarreo y la disposición final es

[2] Entrevista realizada al Ingeniero Alexander Vallecilla, Funcionario, gestión ambiental, Productora de Jugos S.A. Tuluá- Valle, 19 de enero de 2011.

significativo por parte de la empresa. Con este proyecto se proporcionará un manejo óptimo de estos residuos lo cual afianzará el cumplimiento de la normatividad NTC 5167, con el beneficio legal, ambiental y potencial que esto significa.

Desde el punto de vista de los nutrientes aportados al suelo agrícola provenientes del biofertilizante generado a partir de la transformación de lodos por parte de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), los elementos primarios para la supervivencia de las plantas como son el N, P y K, serán utilizados por la planta en forma natural asimilándose a las procesos biológicos, lo que no sucede cuando se aplican fertilizantes químicos, los cuales en un alto porcentaje se pierden por lixiviación o evaporación, degradando y aniquilando parte de la vida microbiana del suelo por tratarse de sales inorgánicas.

Se ha reportado que el uso de lodos como fuente de materia orgánica mejora las propiedades tanto físicas como químicas del suelo agrícola en cuanto a incrementos en los niveles de materia orgánica, disminución de la densidad aparente, mayor formación y estabilidad de agregados, mejor retención de humedad, incremento en el tamaño de poros, etc. Además aporta cantidades significativas de nitrógeno y fósforo que contribuye a disminuir el consumo de fertilizantes químicos (Walter I, Bigeriego M, Calvo R, 1994).

Con esta propuesta de investigación se pretende incorporar a las prácticas agrícolas y pecuarias locales y nacionales lo que se viene haciendo en otros países del mundo, donde la aplicación de lodos residuales a suelos agrícolas es una práctica habitual en países desarrollados por razones prácticas y económicas. Los lodos residuales tienen valor fertilizante y mejoran también las propiedades físicas de los suelos. La dosis de aplicación se suele fijar en función de los requerimientos del cultivo en N y P. La productividad del suelo aumenta frecuentemente, a causa del llamado efecto de la materia orgánica que se produce después de la aplicación de lodos residuales. La materia orgánica juega un importante papel en la movilización y adsorción de diferentes elementos en los suelos y proporciona una reserva estable y de nutrientes para las plantas y organismos en el medio edáfico, modificando ciertas propiedades químicas de éste durante su mineralización (Muñoz GF, Polo Gómez MJ, Giradles JV, 1999).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Obtener Biofertilizante a partir de los lodos orgánicos generados en la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S de Tuluá-Valle de Cauca a través de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar parámetros físicos y químicos de la materia orgánica (lodos) de acuerdo a los requerimientos técnicos establecidos por la normatividad nacional vigente, antes del ensayo.

- Evaluar la bioactividad del agente lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). frente a la degradación de los lodos.

- Evaluar parámetros físicos, químicos y microbiológicos del biofertilizante.

- Realizar un análisis costo beneficio del proyecto que este enfocado a la cantidad, calidad y beneficio del producto.

2. MARCO DE REFERENCIA PARA EL CASO DE ESTUDIO

2.1. MARCO TEÒRICO

A continuación se presentan las conceptualizaciones básicas de los términos más utilizados en la investigación y en la cual esta se apoya, de acuerdo a definiciones propuestas por investigadores e instituciones diversas.

2.1.1. El suelo. Concepto e importancia

Según Sumner (2000), el suelo corresponde a una frágil y delgada capa producto de la meteorización y parcial descomposición de formaciones geológicas. A través de procesos de formación de suelo de tipo geológicos, topográficos, climáticos, físicos, químicos y biológicos se forma una entidad viviente compuesta de una asociación de partículas inorgánicas o minerales complejos vinculados con la materia orgánica, y perfundidos por los gases. Cuando ingresa agua al suelo se genera un transporte de nutrientes, y este complejo sistema se convierte en el sustrato fértil. La zona de la pedósfera, un soporte vital, es un medio biológicamente activo, poroso, y estructurado que integra y disipa los flujos de masa y energía.

Se define suelo como una formación natural de la superficie, de estructura suelta y espesor variable, resultante de la transformación de la roca madre subyacente bajo la influencia de diversos procesos físicos, químicos y biológicos (Demolón, 1965). Se señala que el suelo es el resultado de la acción acumulada de flujos de energía y materia a partir de un material de origen, procesos que tienen como efecto, entre otras cosas, la transformación progresiva de los materiales de partida en constituyentes secundarios (Luzio, 2010)

Suárez Silva (2010) define el suelo como un recurso viviente, dinámico y no renovable, cuya condición y funcionamiento es vital para la producción de alimentos, y para el mantenimiento de la calidad ambiental local, regional y global. Es un sistema que comprende una variedad de micro hábitats que hace posible la vida de muchos microorganismos y macroorganismos, que hacen parte de un ecosistema complejo.

La comunidad microbiana, dentro del ecosistema edáfico, es de vital importancia para su funcionamiento, dada la cantidad de procesos en los que participa (descomposición, ciclado de nutrientes, agregación del suelo y patogenicidad). Esta relación de co-dependencia entre el suelo y los seres vivos que lo habitan es clave en cualquier investigación sobre el manejo ecológico de un suelo agrícola. Las interacciones que se dan en el suelo afectan diferentes niveles de la cadena trófica. Un caso en particular, y la base de la cadena, es la relación entre los productores y descomponedores a través del ciclaje de nutrientes, el cual se vuelve un factor limitante para los productores. Dentro de estos requerimientos nutritivos, están elementos como el Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Fósforo y Azufre, que

son constituyentes principales de la materia orgánica y están implicados en los procesos enzimáticos esenciales para desarrollo de la planta (Suárez Silva, 2010).

Se señala que la fracción orgánica de los suelos a pesar de representar una proporción pequeña pero variable de la masa total del suelo, puede ejercer una profunda influencia en las propiedades del suelo y en el funcionamiento de los ecosistemas (Sumner ,2000).

Para Labrador, (1996) y Porta et al. (2003) el tipo y cantidad de materia orgánica del suelo presentan una variabilidad espacial importante entre un ecosistema y otros y dentro de cada uno de ellos, tanto vertical como horizontalmente. Su dinamismo está determinado por la incorporación al suelo de restos de origen vegetal, animal y microbiano y la transformación y evolución de éstos, mediada por la interacción de múltiples procesos, principalmente los procesos de mineralización (paso a formas inorgánicas) y la humificación (reorganización y neoformación de productos orgánicos). El retorno anual de la materia orgánica al suelo depende de la zona climática, tipo de vegetación y uso del suelo.

Por otra parte, un suelo de cultivo que recibe periódicamente aportes de materia orgánica (y otras enmiendas compensadoras de posibles carencias o desequilibrios), que mantiene una actividad edáfica óptima, que presenta una activa mineralización de la materia orgánica y que al mismo tiempo genera significativas cantidades de humus, le permite mantener un adecuado dinamismo a su ciclo orgánico (Labrador,1996).

Para Labrador (1996) y Aguilera y Rodríguez (2005) la materia orgánica del suelo preferente humificada es un constituyente esencial del sistema edáfico ya que por su constitución y propiedades tiene influencia sobre las propiedades que definen la fertilidad global de suelos agrícolas y por ende el óptimo desarrollo de los cultivos. Es la responsable directa de la mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Dentro de los beneficios en el suelo, la materia orgánica ayuda a la formación y estabilización de los agregados, al desarrollo de raíces, estimula la adsorción e intercambio catiónico, incrementa el poder tampón del suelo, reduce la acción de sustancias tóxicas, mejora la capacidad de retención de humedad y mejora la porosidad y aireación facilitando el laboreo (Brady (1990); Munn, et al., (2000).

Las principales acciones atribuidas a la materia orgánica y sus efectos asociados en el suelo se señalan a continuación (Terrón, 1988).

- Acciones Físicas: Aumenta la capacidad calorífica, la estabilidad estructural, la estructuración, la capacidad de retención hídrica, la permeabilidad hídrica y gaseosa, presencia de suelos más calientes en primavera, reduce las oscilaciones térmicas, agrega partículas elementales, mejora estructura y porosidad en suelos arcillosos y cohesiona a los suelos arenosos, facilita el drenaje y las labores, reduce la erosión, la evaporación y mejora el balance hídrico.

- Acciones Químicas: Aumenta la capacidad tampón, la capacidad de intercambio catiónico, regula el pH, mantiene los cationes en forma cambiable, forma fosfohumatos y quelatos, y mantiene las reservas de nitrógeno.

- Acciones Biológicas: Favorece la respiración radicular, la germinación de las semillas, el estado sanitario de órganos subterráneos, regula la actividad microbiana, es fuente de energía para microorganismos heterótrofos. El CO_2 desprendido favorece la solubilización mineral, contrarresta el efecto de algunas toxinas, modifica la actividad enzimática, activa la rizogénesis y mejora la nutrición mineral de los cultivos.

2.1.2. El suelo, los microorganismos y el ciclaje de nutrientes

El suelo es un sistema complejo en equilibrio dinámico, en el que los seres vivos que habitan en él tienen un papel esencial en el sostenimiento de la fertilidad. Este ecosistema edáfico es el hábitat de un gran número de especies microbianas, tanto eucariotas (hongos, algas, protozoos, ácaros e insectos entre otros) como procariotas (bacterias y arqueas) que establecen relaciones intra e interespecíficas que contribuyen a las características propias del suelo (Nogales, B. 2005).

El estudio de los ecosistemas, en particular el edáfico, debe emprenderse no sólo a partir de la consideración de los organismos o poblaciones, sino también estudiando el ambiente abiótico relacionado. Es importante entonces tener en cuenta que elementos necesarios para la nutrición vegetal, son secuestrados en una variedad de biomoléculas las cuales, se hacen biodisponibles por la acción de enzimas específicas, principalmente de origen microbiano. Debido a que la mayoría de estos procesos enzimáticos, que lideran la descomposición y ciclaje de nutrientes, residen en la capacidad metabólica de los microorganismos presentes en el suelo, la biodiversidad microbiana y su abundancia se consideran como factores críticos en el mantenimiento de los ecosistemas (Dubey, S. K., A. K. Tripathi, and S. N. Upadhyay, 2006). Particularmente en las plantas, existen una serie de elementos químicos fundamentales para su desarrollo, clasificados como macro y micronutrientes.

Estos elementos son requeridos para su funcionamiento fisiológico; resaltando la importancia del Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Fósforo como constituyentes principales de la estructura de los vegetales (Konrad, M.,and K. Ernest, 2000). Sin embargo, la disponibilidad de estos nutrientes varía dependiendo de las características del suelo, que dependen a su vez de la presencia de una diversidad de microorganismos capaces de transformar y devolver estos elementos al medio. De allí la importancia de estudiar la comunidad microbiana presente en este ecosistema, como un marcador del estado del suelo e indicador de su calidad. La interpretación correcta de la diversidad microbiana permite inferir el funcionamiento del suelo y contribuye a su conservación (Izquierdo, C. G., and T. H. Fernández**,** 2004). Hasta hace muy poco, la identificación de grupos fisiológicos microbianos y la evaluación de su diversidad en suelos, exigía el aislamiento a partir

de cultivos en medios diferenciales (Aamann, R. I., W. Ludwig, and K.-H. Schleifer, 1995).

La dinámica de un ecosistema o agrosistema comprende dos procesos: el proceso biológico fuertemente ligado a un proceso geoquímico y un proceso de flujo energético. Los procesos biológicos y geoquímicos movilizan los nutrientes entre las partes orgánicas e inorgánicas del ecosistema. El flujo de energía, que fluye a través del ecosistema, entra como energía solar y sale como energía calórica. La energía y los nutrientes se reciclan de tal manera que pasan a los productores primarios (autótrofos) luego a los consumidores primarios (herbívoros) y después pasa a los consumidores secundarios, es decir, a los carnívoros (Campbell y Reece, (2007); Glynn y Heinke, (1999).

A través de un complejo entramado de ciclos, los elementos circulan dentro del agrosistema; en esta dinámica el componente vivo del suelo tiene una gran importancia para determinar el movimiento de los nutrientes y su distribución. En el suelo, los microorganismos actúan como reactores, por lo que gracias a ellos tiene lugar una serie de procesos que evitan que los componentes orgánicos se acumulen indefinidamente. Esto hace posible la existencia de ciclos de elementos en la naturaleza. Dentro de la fracción orgánica del suelo se acumulan grandes reservas de nutrientes como por ejemplo nitrógeno (N) y fósforo (P), ambos experimentan ciclos de mineralización e inmovilización y dependiendo de la actividad del suelo, se tiende a uno u otro proceso. Los microorganismos juegan un rol dentro de un ciclo al degradar y sintetizar compuestos orgánicos y cuando mueren liberan la energía de sus constituyentes, la que vuelve a estar disponible para otros microorganismos en el sistema.

Los distintos elementos químicos, vuelven a pasar por un mismo compartimiento del medio, considerado como un sistema global, después de cierto lapso de tiempo. En la mayoría de los suelos, el nitrógeno orgánico representa más del 95% del nitrógeno total, repartido en proteínas (34-50%), ácidos nucleicos (3-10%), amino azúcares (5-10%). El balance de nitrógeno del suelo, se equilibra más o menos a largo plazo según el régimen de aportes y pérdidas. El 20 al 80% del fósforo total en el suelo se encuentra en forma orgánica, mientras que Labrador (1996) restringe este contenido de 20 al 60%, el que se encuentra en el suelo como fitina, ácidos nucleicos, y de esta proporción el 90% lo constituyen complejos órgano-minerales.

2.1.3. Lodos. Definición e implicaciones agroindustriales

Segùn *Environmental Protection Agency (EPA)* los lodos son “residuos sólidos, semisólidos o líquidos, de color muy oscuro”. La gran ventaja de este cuando es usado como abono (biosólido) es que la mayoría de los nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) inicialmente presente en el material a fermentar se mantienen el aporte de estos puede dar lugar a mayores rendimientos de cultivos y pasturas, en función de las características del ambiente y del manejo agrícola. Estas respuestas en rendimiento pueden ser semejantes a las encontradas con fertilizantes químicos. Sin embargo en todos los casos las respuestas suelen estar limitadas por las

condiciones hídricas durante el ciclo del cultivo. Por otro lado, como otros abonos orgánicos, los biosólidos son considerados mejoradores de las propiedades físicas de los suelos, lo cual se hace evidente cuando se usan como enmienda en suelos degradados (Galvis Toro, J. y Rivera Guerrero, X.,2013).

Las características de los lodos varían mucho dependiendo de su origen, su edad, del tipo de proceso del cual provienen y de la fuente original de los mismos. El volumen de lodo que se produce en un tanque de sedimentación debe conocerse o estimarse para cuantificar los diferentes componentes del sistema de tratamiento y disposición de lodos. Dicho volumen depende principalmente de las características del agua residual, del grado de tratamiento previo, del tiempo de sedimentación, de la densidad de sólidos, del contenido de humedad, del tipo de equipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismos. La cantidad de lodo producido es muy variable, dependiendo del proceso de tratamiento usado y de la concentración de aguas residuales.

La EPA a nivel mundial, usa la palabra “lodo” como sinónimo de Biosólido. Estos están definidos como basura o desecho de residuo semisólido que hayan sido generados en las plantas de tratamiento de aguas. Además hace diferencia entre distintos tipos de lodo, como se explica a continuación:

- Lodos categoría A: Lodo sin restricciones sanitarias para la aplicación a suelo. En este punto, la EPA es más específica, al denominarlos Biosólidos de Calidad Excepcional, que son aquellos que son poco contaminantes y tienen reducción de patógenos Clase A y que han reducido el nivel de componentes degradables que atraen vectores (organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos tales como roedores, moscas y mosquitos).

- Lodo categoría B: Lodo apto para la aplicación al suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos. La EPA los denomina como Biosólidos con concentración de contaminantes y los define como aquellos Biosólidos que también logran los mismos bajos límites de concentración de contaminantes de los de Clase A, pero solo logran una reducción de patógenos clase B y/o están sujetos a la administración en el sitio mismo, más que como una alternativa de tratamiento para reducir vectores.

- Lodo categoría C: Lodo que no cumple con algún(o) de los parámetros definidos para las categorías A ó B y que son considerados como residuos peligrosos de acuerdo con la Normativa Ambiental vigente.

2.1.4. Parámetros fisicoquímicos relevantes en los lodos

Las metodologías para los parámetros fisicoquímicos que se analizan con mayor frecuencia para determinar la calidad y composición de los lodos, se encuentran referenciados en el *Standar Methods*, donde se relacionan los principios de las técnicas, procedimientos, cantidades de reactivos y de muestras (Clesceri Leone S, Greenberg Arnold E and Eaton Andrew D.; S.f.). Algunos de los parámetros

fisicoquímicos corresponden a la determinación de humedad; determinación del pH (para determinar acidez y alcalinidad de las muestras); determinación de la Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO) y de la Demanda Química de Oxigeno (DQO). Además de lo anterior, es importante determinar la presencia o ausencia de metales pesados, macro y micronutrientes.

El termino pH es utilizado universalmente para determinar si una solución es acida o básica; es la forma de medir la concentración de iones hidronio de una disolución. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, estos valores miden el grado de acidez o basicidad de una disolución. Los valores inferiores a 7 y próximos a 0 indican aumento de acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indica neutralidad (Galvis Toro, J. y Rivera Guerrero, X., 2013).

La determinación de la Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO) hace referencia a la capacidad de oxigeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. En condiciones normales, esta demanda se cuantifica a 20°C, el ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO/5 se expresa en unidades de mg/L. Por su parte, la determinación de la Demanda Química de Oxigeno (DQO) se usa para medir el equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general Dicromato de Potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos recientes, se requiere la ayuda de un catalizador como el Sulfato de plata (Galvis Toro, J. y Rivera Guerrero, X., 2013).

La determinación de humedad parte del hecho de que cualquier materia en general puede considerarse que está integrada por dos fracciones primarias: su materia seca y cierta cantidad de agua o humedad. El agua es el único ingrediente que está prácticamente presente en casi todas las materias conocidas, tales como orgánicas e inorgánicas y su cantidad, estado físico y dispersión en estas afectan su aspecto, olor, sabor y textura. Las reacciones químicas y las interacciones físicas del agua y de sus posibles impurezas con otros componentes de los alimentos determinan frecuentemente alteraciones importantes (Galvis Toro, J. y Rivera Guerrero, X., 2013).

2.1.5. Parámetros microbiológicos relevantes en los lodos

Los parámetros microbiológicos más relevantes al momento de evaluar la calidad y composición de los lodos y que se realizan con mayor frecuencia se encuentran referenciados en Normas Técnicas y Decretos, como es el caso de los Microorganismo Mesófilos Aerobios, Salmonella, Mohos y Levaduras que se mencionan en la Norma Técnica Colombiana 5167: Productos para la Industria Agrícola, Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo por otra parte los Coliformes Totales y Fecales se referencian en el Proyecto de Decreto por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “Por la cual se establecen los criterios de calidad y uso para el aprovechamiento de

los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales para su incorporación al ciclo económico productivo, y se toman otras determinaciones".

Algunos de los microorganismos, pertenecientes a estos grupos de organismos microscopicos se describen a continuación:

- *Enterobacteriaceae s.p*: *Enterobacteriaceae* constituye un grupo grande y heterogéneo de bacterias gramnegativas. Reciben su nombre por la localización habitual como saprofitos en el tubo digestivo, aunque se trata de gérmenes ubicuos, encontrándose de forma universal en el suelo, el agua y la vegetación, así como formando parte de la flora intestinal normal de muchos animales además del hombre.

- *Escherichia coli :*

E. coli es una de las especies bacterianas más minuciosamente estudiadas, y no solamente por sus capacidades patogénicas, sino también como sustrato y modelo de investigaciones metabólicas, genéticas, poblacionales y de diversa índole (Neidhardt, 1999). Forma parte de la familia *Enterobacteriaceae* (Ewing, 1986). Ella está integrada por bacilos Gram negativos no esporulados, móviles con flagelos peritricos o inmóviles, aerobios-anaerobios facultativos, capaces de crecer en agar MacConkey y en medios simples con o sin agregado de NaCl, fermentadores y oxidativos en medios con glucosa u otros carbohidratos, catalasa positivos, oxidasa negativos, reductores de nitratos a nitritos, y poseedores de una proporción G+C de 39 a 59% en su DNA.

Se trata de bacterias de rápido crecimiento y amplia distribución en el suelo, el agua, vegetales y gran variedad de animales. En conjunto, la importancia de las enterobacterias en patología humana puede cuantificarse constatando que constituyen el 50 % aproximadamente de todos los aislamientos clínicamente significativos en los laboratorios microbiológicos, y hasta el 80% de todos los bacilos Gram negativos identificados. *E. coli* coloniza el tracto gastrointestinal a las pocas horas de vida del niño, y establece con el huésped una relación estable de mutuo beneficio (Drasar & Hill, 1974).

Como integrante de la flora normal del hombre y de muchos animales, se lo considera un germen indicador de contaminación fecal cuando está presente en el ambiente, agua y alimentos, junto con otros similares agrupados bajo la 41 denominación de "bacterias coliformes". Estas son enterobacterias que pertenecen al género *Escherichia* y a otros relacionados como *Klebsiella, Enterobacter, Citrobacter* o *Serratia*, y que tienen en común la capacidad de fermentar la lactosa en un lapso no mayor de 48 horas, con producción de ácido y gas. Son gérmenes de gran ubicuidad y capacidad de proliferación, y a la vez de fácil cultivo e identificación, y por lo tanto muy útiles como indicadores de contaminación, pero no son enteropatógenos como grupo (como tampoco lo es 50 *E.coli*), y por lo tanto su presencia en alimentos, ambiente o pacientes no certifica la etiología de una

infección intestinal o un brote de ETA. *E. coli* puede ser causa de enfermedad endógena en pacientes debilitados o en situación de alteración de la pared intestinal (peritonitis, sepsis, etc.), pero las infecciones entéricas provocadas por este germen no son causadas por las cepas que habitan normalmente el intestino, sino por líneas especialmente patógenas en esta localización (Nataro & Kaper, 1998), que se transmiten por vía fecal, oral de persona a persona o a través del agua y alimentos.

- ***Salmonella sp***

Importante desde el punto de vista de salud pública ya que es el agente causal de varias enfermedades infecciosas como: fiebres entéricas, gastroenteritis, y fiebre tifoidea. La presencia de este patógeno en el compost constituye un riesgo por la supervivencia después de su aplicación en el suelo y la contaminación de los cultivos que entran en contacto directo con él.

- ***Aspergillus spp.***

Este género pertenece al *filum* Ascomycota, clase Euascomycetes, orden Eurotiales, familia *Trichocomaceae*. Se caracteriza por producir conidióforos y conidias hialinas. Este hongo se encontró en los dos tipos de muestra analizados, tanto en lixiviados frescos como lixiviados almacenados. *Aspergillus spp*. es un hongo ubicuo que normalmente se encuentra en la tierra, el agua y la vegetación podrida y es altamente aeróbico. Los mohos del género Aspergillus causan el deterioro de muchos productos alimenticios son contaminantes comunes de los alimentos con almidón (como pan y patatas). Los productos metabólicos de la invasión fúngica suelen ser muy tóxicos, tanto para el hombre como para otros animales. También producen la inhibición de la germinación junto con cambios de color, calentamiento, amohosado, apelmazado y finalmente podredumbre de las semillas.

Las especies de Aspergillus son importantes tanto en medicina como en la industria. Algunas especies pueden causar infecciones en seres humanos y otras en animales; se comportan como patógenos oportunistas en pacientes inmunocomprometidos. Algunas especies, por ejemplo *A. niger* o *A. oryzae* son de interés industrial o se emplean en la fermentación de alimentos en ciertas regiones. Este hongo tiene gran importancia en el suelo ya que moviliza el fósforo y el nitrógeno del suelo, oxida los sustratos nitrogenados a nitritos, haciendo disponible el nitrógeno para las plantas, degradando ácidos nucleídos y glicerofosfatos a fosfatos simples. Además, es capaz de utilizar una enorme variedad de sustancias como alimento, dada la gran cantidad de enzimas que produce. Este hongo contiene especies patogénicas y benéficas. Por ejemplo, *Aspergillus niger, A. fumigatus, A.*flavus y otras especies, son patógenas para los animales y humanos causando un tipo de enfermedad que se conoce como Aspergilosis pulmonar. Así mismo, especies como *Aspergillus candidus* y *A.nidulans*, se conocen como antagonistas de patógenos aéreos como *Alternaria solani*, agente causal del tizón temprano de papa y del tomate (Botero et al., 2003).

Características microscópicas: producción de hifas tabicadas hialinas, uniformes, de 4-6 µm de diámetro, con paredes paralelas. La ramificación dicotómica en ángulo de 45°, tan característica. Un segmento especializado de la hifa, conocido como célula pie o basal, sirve como base de origen del conidióforo. Los conidióforos terminan en una vesícula dilatada, a partir de cuya superficie nace una (uniseriada) o dos (biseriada) hileras de fiálides que dan lugar a cadenas de conidios pigmentados. La longitud y el ancho de los conidióforos, el tamaño y el contorno de la vesícula, la disposición de las fiálides, y el color, el tamaño y la longitud de la cadena de conidios son características utilizadas para realizar las identificaciones de especie. Algunas especies producen cleistotecios teleomorfos que contienen ascosporas (Botero et al., 2003). Características macroscópicas: las colonias del hongo tienen un borde nítido, son generalmente de crecimiento rápido de colores como blanco, amarillo, marrón, negro y tonos verdes, los aspectos de las colonias son de aspecto pulverulento o algodonoso debido a la producción abundante de esporas. *Chalara elegans*

- *Trichoderma* spp.

Este género pertenece la Filum Ascomycota, clase Euascomycetes, orden Hypocreales, familia *Hypocreaceae*. Se caracteriza por producir conidióforos y conidias hialinas. Es un hongo saprofito y exigente en su crecimiento, para ello utiliza fuentes de carbono, nitrógeno (purinas, pirimidinas y aminoácidos), azúcares (monosacáridos, polisacáridos), taninos, aldehídos y ácidos grasos de cadena larga. Este hongo es fotosensible, germina rápidamente y produce clamidosporas, las cuales juegan un papel importante en biocontrol y sobreviven mejor en el suelo que las conidias.

Los mecanismos estudiados para explicar el control de patógenos en plantas por parte de especies de *Trichoderma* son: parasitismo, antibiosis, competición por nutrientes y espacio. Especies de *Trichoderma* son parásitas facultativas. Por ejemplo *T. hamatum, T. Pseudokoningii* y *T. harzianum* parasitan hongos causantes del Mal del talluelo y enfermedades de raíces causadas por *Phytophthora* spp, *Phythium* spp, *Rhizoctonia solani,* y *Sclerotium rolfsii,* estre otros (Botero *et al.,* 2003). Las especies *T. lignorum,* produce gliotoxina y *T. harzianum*, produce los metabolitos termolábil y termoestable. Además, algunas especies producen enzimas como glucanasas, celobiasas y quitinasas, las cuales se hallan ampliamente distribuidas por el mundo en suelos y materia orgánica.

Debido a su versatilidad metabólica y la resistencia a muchos inhibidores microbiales, sobreviven en diferentes nichos ecológicos. Las especies de *Trichoderma* están en casi todos los suelos, son con frecuencia aislados de bosques y suelos agrícolas. Se desarrolla fácilmente en presencia de altas densidades de raíces, las cuales son colonizadas rápidamente (Botero *et al.,* 2003).

Estos hongos son versátiles además de ser empleados como agentes de control biológico y agentes de crecimiento vegetal se utilizan comercialmente alimentos y textiles; *Trichoderma* spp. Son productores de muchas enzimas extracelulares. Se

utilizan comercialmente para la producción de celulasas y otras enzimas que degradan polisacáridos complejos. Ellos son frecuentemente utilizados en la industria textil y de alimentos para estos fines. Por ejemplo, celulasas de estos hongos se utilizan en "biostoning" de los tejidos de mezclilla para dar lugar a la, blanqueada tela suave - lavado de mezclilla de piedra. Las enzimas también se utilizan en la alimentación de aves de corral para aumentar la digestibilidad de la hemicelulosa de cebada u otros cultivos.

- Charala sp

Este hongo ataca a más de 120 especies de distintas familias, por ejemplo solanáceas, cucurbitáceas y ornamentales (Crisantemo, Geranio, etc.).Los síntomas se manifiestan por clorosis de hojas y pérdida de vigor de la planta. En raíces se observan pudriciones negras.

Control:

- ✓ Plántulas sanas y sustratos con garantía sanitaria.
- ✓ Evitar el encharcamiento del suelo en el momento de la siembra o transplante (aunque este hongo es capaz de desarrollarse en suelos relativamente secos).
- ✓ Diagnosticar en laboratorio especializado.
- ✓ Tiene poco efecto los fungicidas al suelo (Benomilo, Metil-tiofanato).
- ✓ Condiciones para su desarrollo Se desarrolla muy bien en sectores muy húmedos y entre 5º y 35ºC, con un óptimo de 25ºC (Peredo et al, 1999).

- Rhizoctonia sp

El género *Rhizoctoni*a se caracteriza por la producción de esclerocios en una textura uniforme con redes hifales que unen el micelio con plantas. Esto ha provocado la clasificación de muchos hongos en el género *Rhizoctonia. Rhizoctonia* solana se caracteriza por tener pigmentos marrones oscuros de las hifas, ramificación cerca del septo central en la hifa vegetativa joven; estrangulamiento de la hifa y formación de septos a una corta distancia del punto donde se originan las ramas hifales, septos doliporos y células multinucleadas en la hifa vegetativa joven. Produce la pudrición de la raíz principalmente en plántulas jóvenes, con su posterior muerte. En plantas más maduras se observan lesiones acuosas grises en los pecíolos de la hoja y en las venas centrales cerca del suelo.

- Graphium

Es un género de hongos en la familia *Microascaceae*. Muchas especies se conocen como patógenos de las plantas. *Graphium* pertenece a los hifomicetos grupo y tiene alrededor de 20 especies diferentes. Se puede encontrar en el suelo, restos vegetales, sustrato de madera, estiércol, agua contaminada. Las estructuras de esporulación de *Graphium* forma Synnema, que son una reunión de conidióforos en una especie de ramo de flores. *Graphium spp.* Son reconocidos por su distintivo,

erecto, synnemata negro, cada una con un único terminal, bola de una sola célula, conidios hialinos producidos a partir de annellides.

2.1.6. Lombricompost

El lombricompost es un abono orgánico que es producto de las excretas de las lombrices. Usualmente se utilizan lombrices modificadas genéticamente. La coqueta roja o lombriz californiana (*Eisenia foetida*) es la que se encuentra actualmente comercializada. Las lombrices son capaces de transformar en abono, restos de comida, restos de oficina, restos vegetales; los cuales en un periodo entre 15 a 30 días han producido un abono orgánico con buenas características organolépticas y alto valor nutricional. El tiempo de descomposición de los residuos estará en función de la población de lombrices, tipo de material, grado de humedecimiento, temperatura del material y grado de acidez (pH).

Las lombrices rojas californianas son anélidos de 5 a 15 cm de largo. Su promedio de vida en condiciones adecuadas es de 15 años. Su crecimiento es de 8 a 10 cm en estado adulto. Posee los dos órganos reproductores pero necesita de otra lombriz para aparearse. Tiene un gran número de aparatos digestores, lo cual la hace un transformador voraz. La lombriz roja se presenta segmentada. Cuando aparece un engrosamiento del primer tercio de su cuerpo (CLITELO) se indica que ella ya ha alcanzado la madurez fisiológica. El aparato genital masculino lo posee cerca de la cabeza y el aparato genital femenino en la parte distal de su cuerpo. Posee un complejo sistema digestivo, lo cual la hace una lombriz altamente voraz. Posee vesículas sanguíneas con hemoglobina, por lo cual su aspecto es rojizo.

El huevo de la lombriz o cocon puede almacenar de 2 a 20 lombrices, las cuales se encuentran dentro de la capsula durante 21 días. Las lombrices rojas californianas al emerger del cocon o capsula tienen un color blanco transparente y se tornaran rojizas a la medida que empiecen a desarrollarse. Al momento de la reproducción o apareamiento las lombrices coqueta roja se entrelazan por medio de los clitelos y ambas quedan fecundadas. Se le debe proporcionar materia orgánica parcialmente descompuesta. El alimento que puede ser consumido es variado: desperdicios de cocina, aserrín, residuos orgánicos o de jardín, frutas descompuestas, tubérculos no aptos para consumo humano, basura de la casa, estiércol de especies domesticas entre otros.

El material orgánico debe sufrir un proceso de pre descomposición que puede durar 7-15 días, antes de ser consumido por la lombriz. Se deben realizar pruebas de adaptabilidad del pie de cría antes de colocarlo en un nuevo lecho de residuos orgánicos. Lo anterior garantizara una población de lombrices en aumento. Cuando la lombriz ha terminado de descomponer el material es necesario, recoger la población para colocarla en otra pila de desechos. Ello se hace retirándole la alimentación durante 4 días, luego se le ofrece alimento nuevamente en la superficie de nuestra pila colectora. La lombriz permanecerá en la superficie y podremos capturarla para llevarla a otra pila de compostaje. El abono se puede usar en

jardines, en macetas o en la producción de cultivos. El abono se puede almacenar durante 6 a 12 meses sin que pierda su capacidad productiva.

La lombriz roja (*Eisenia spp.)* forma parte de las herramientas biotecnológicas actuales para el reciclaje de desechos orgánicos, obteniéndose como productos el vermicompost (abono orgánico) y la carne (fuente óptima para la alimentación animal. Este anélido se caracteriza por ser hermafrodita y puede llegar a producir grandes cantidades de lombrices por año. El abono producto de sus deyecciones contiene una gran riqueza bacteriana (2×10^{12} bacterias/g). La lombriz desarrolla su ciclo biológico en pequeños espacios ($50\times10^{3}cm^{3}$ de sustrato) y se adapta a un amplio rango de condiciones edafoclimáticas. En un hábitat con características adecuadas de temperatura, humedad, pH, vitaminas y nutrientes este invertebrado crece y se reproduce aceleradamente, si se compara con otros organismos del suelo (Satchell, 1983).

En la actividad agrícola el uso del vermicompost produce en los cultivos mejoras importantes en su productividad y sanidad. Algunas investigaciones han demostrado que las aplicaciones de este material en combinación con otros fertilizantes incrementan la absorción de nutrientes, la producción neta de cultivos prioritarios (trigo, arroz y caña) y disminuye drásticamente la pérdida de nitrógeno del suelo por volatilización.

La carne de la lombriz, transformada en harina, se caracteriza por un elevado valor nutricional en función de sus altos niveles de aminoácidos, digestibilidad y degradabilidad, siendo utilizable en animales monogástricos, rumiantes e inclusive para la dieta humana (Flores y Alvira, 1987). Esta fuente de nitrógeno de elevada calidad biológica satisface los requerimientos para niños entre dos y cinco años exigido por la FAO/OMS. En la naturaleza, el principal enemigo de las lombrices es el hombre, puesto que con el uso indiscriminado de agroquímicos envenena su hábitat, ocasionando el empobrecimiento del suelo y su consecuente infertilidad. Para las lombrices de cría el peligro en el medio natural se encuentra centrado en insectos, pájaros y aves de corral. Sin embargo, se ha demostrado que la presencia de biocidas, inclusive en concentraciones muy bajas, produce una mortalidad elevada.

Con el objetivo de mejorar la calidad del vermicompost producido por el anélido, se ha estudiado la adición a los sustratos convencionales de otras fuentes vegetales que provean minerales importantes tales como N; P y K (Hernández et al., 1996a, 2002). Los follajes de especies arbóreas y arbustivas, previamente tratados, constituyen una alternativa viable para aumentar el valor agregado de este producto orgánico; habiéndose obtenido resultados exitosos con el uso de algunos desechos agrícolas, pero con una pobre calidad del vermicompost obtenido. Sin embargo algunas de estas plantas, aunque presentan aceptable composición química, contienen compuestos que pueden beneficiar el desarrollo del anélido o causar trastornos a mediano o largo plazo en condiciones (García, 2004).

2.2. MARCO GEOGRÁFICO

A continuación se presenta el ámbito geográfico de la investigación, presentando en su orden la localización geográfica del municipio de Tuluá (Mapa 1 y 2), y dentro de éste, la ubicación de la empresa PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. (Mapa 3) de donde se extrajeron las muestras de lodos y la localización del vivero El Rosal, en donde se trataron las muestras (Foto 1).

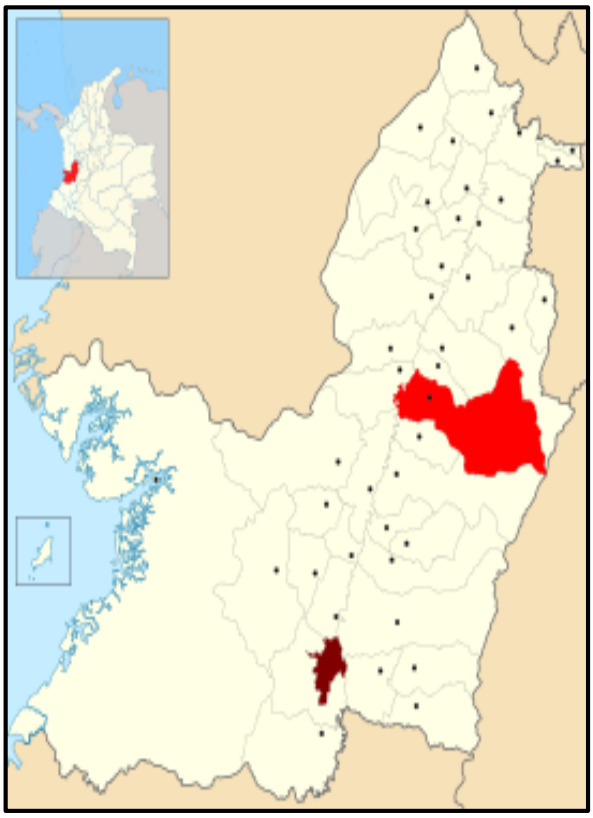
2.2.1. Macro-localización

El municipio de Tuluá se localiza en la región central del departamento del Valle del Cauca a 966 m.s.n.m. y su territorio corresponde a un área de 910,55 km^2 (Extensión área urbana: 11.11 Km^2 - Extensión área rural: 899.44 Km^2) . Tuluá limita al oriente con el municipio de Sevilla y el departamento del Tolima; por el occidente con el río Cauca y el municipio de Riofrío; por el norte con los municipios de Andalucía y Buga la grande y por el sur con los municipios de Buga y San Pedro (Página web Alcaldía de Tuluá, actualización Diciembre 18 de 2015). El municipio tiene un total de 211. 581 habitantes, según la proyección poblacional del Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE – para Tuluá al año 2015.

Mapa 1. Localización del municipio de Tuluá en Colombia.

Fuente:
https://es.wikipedia.org/wiki/Tulu%C3%A1#/media/File:Colombia_location_map2.svg

Mapa 2. Localización del municipio de Tuluá en el departamento del Valle del Cauca- Colombia.



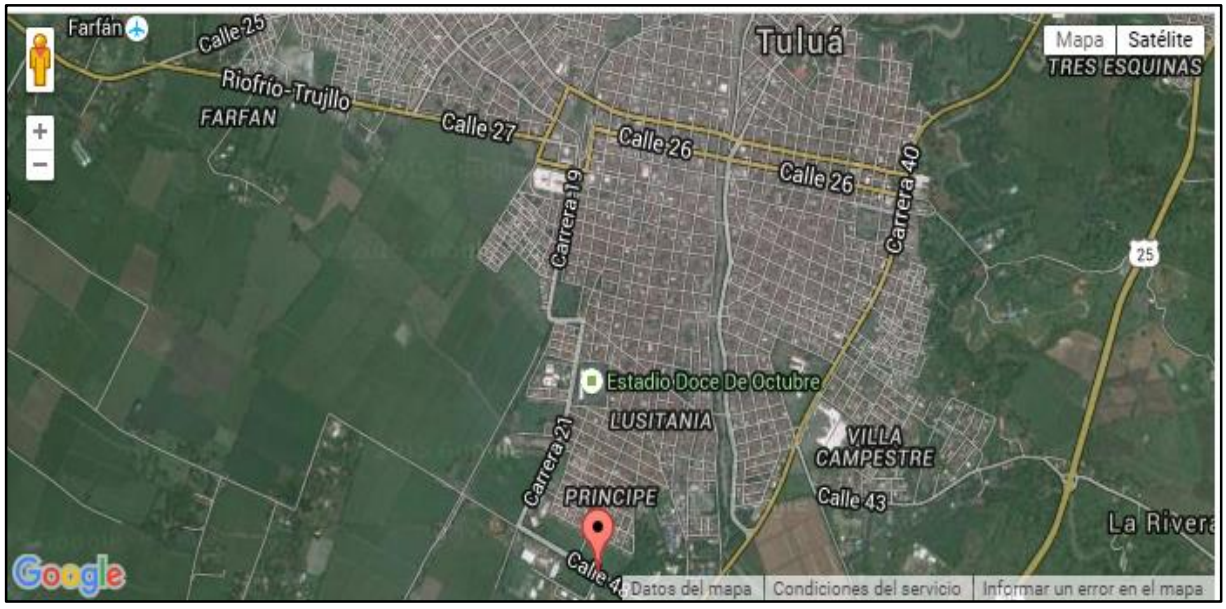
Fuente:
https://es.wikipedia.org/wiki/Tulu%C3%A1#/media/File:Colombia_location_map1.svg

2.2.2. Microlocalización

- Productora de jugos S.A.S.

Es una empresa dedicada al proceso y comercialización de las frutas tropicales; Orense, cuyo nombre, proviene de una provincia frutícola en España. En 1997, se fusiona con Tutti-Frutti S. A., nombre proveniente de Italia, que significa: mezcla de frutas, la cual tiene una trayectoria de 40 años en el mercado; tomando así el nombre de PRODUCTORA DE JUGOS S.A., la que actualmente envasa ambas marcas en Tetra Brik, y suministra de pulpas a Bavaria S. A., posteriormente es vendida a la organización ardilla lulle y se convierte en la única planta de Postobón dedicada a la producción de jugos y concentrados a base de frutas (Página web de la empresa PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. actualización al 31 de Agosto de 2015).

Mapa 3: Localización de la Productora de Jugos S.A. en el municipio de Tuluá- Valle del Cauca



Fuente: Página web Productora de Jugos S.A. Datos del mapa ©2015 Google Imágenes ©2015. DigitalGlobe, Landsat, U.S. Geological Survey.

Generalidades:

- **Ubicación:** Tuluá (Valle del Cauca) – Mapa 3
- **Dirección:** Calle 48 No. 21-100
- **Área Total:** 33.500 M^2
- **Área Construida:** 12.500 M^2 (Administrativa: 4.500 M^2 - Producción: 8.000 M^2)
- **Líneas de Producción:**

  - ✓ Pulpas Naturales Azucaradas.

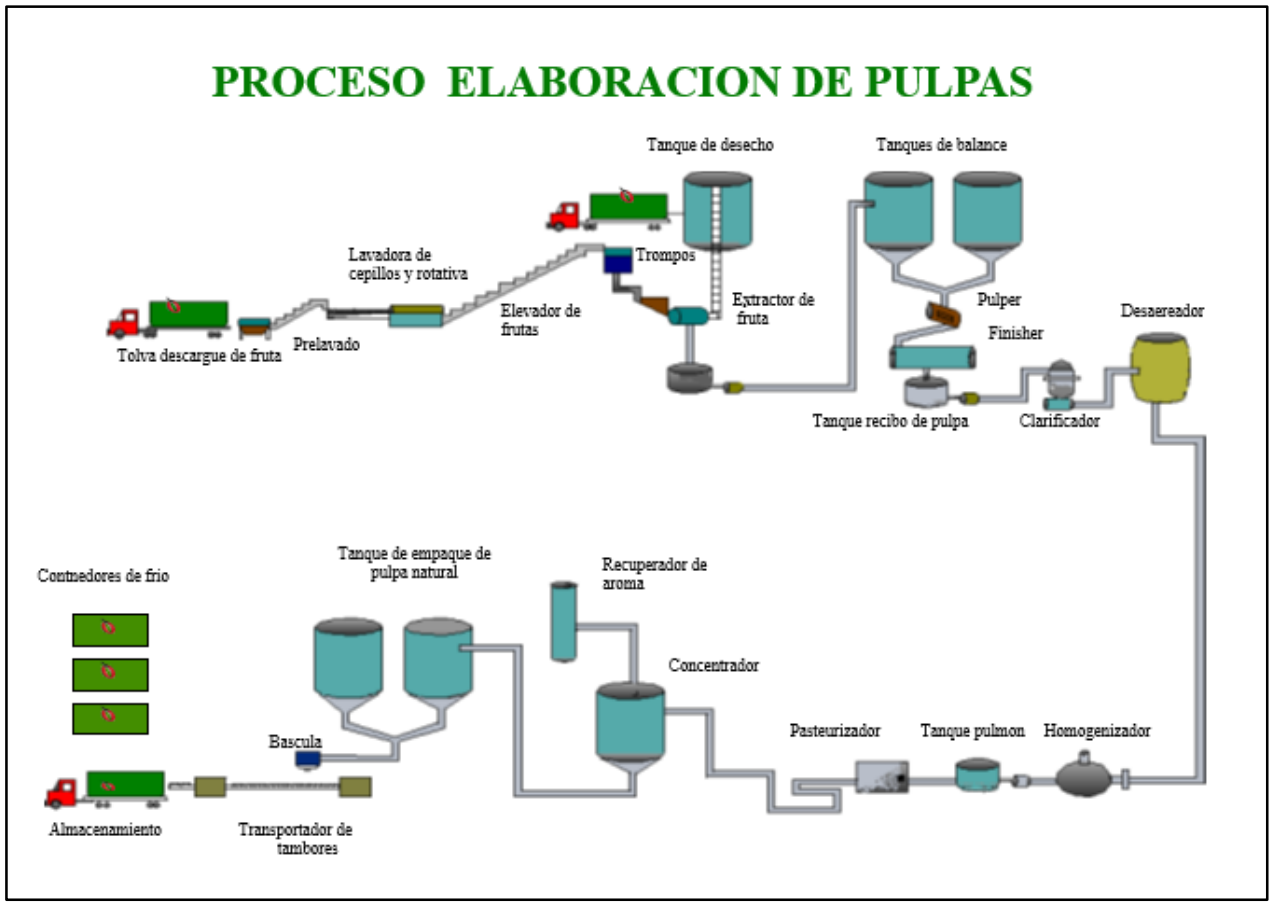
- ✓ Pulpas Naturales y Concentradas.
- ✓ Línea de Néctares y Refrescos.

• **Capacidad de Almacenamiento en frío:** 400 Toneladas.

Para la extracción de pulpas los procesos son los siguientes:

- ✓ Prelavado.
- ✓ Lavado.
- ✓ Selección.
- ✓ Extracción.
- ✓ Refinación.
- ✓ Clarificación: solo para maracuyá y piña cuando se concentra.
- ✓ Pasteurización.
- ✓ Concentración: solo para maracuyá, piña, mango y mora.
- ✓ Empaque.
- ✓ Almacenamiento.
- ✓ Distribución.

Imagen 1: Proceso de elaboración de pulpas empresa Productora de Jugos S.A.S.



Fuente: Productora de jugos S.A.S 2015.

El vivero El Rosal es una empresa que tiene como misión producir y comercializar plantas ornamentales, insumos y herramientas para jardinería al igual que brindar asesoría técnica en servicios de paisajismo y jardinería. El vivero está localizado a 800 metros del terminal, vía Riofrío - Calle 27 No. 3 Oeste 52 Tuluá, Valle del Cauca – Colombia (Página web Vivero el Rosal, 2015).

Imagen 2: Collage fotográfico del vivero El Rosal, municipio de Tuluá- Valle del Cauca.

Fuente: Página web del vivero El Rosal.

El vivero El Rosal inicia en Junio de 1990 en la ciudad de Tuluá, con la preparación de injertos en rosas y con la distribución de una pequeña variedad de plantas ornamentales. Posteriormente con la experiencia e investigación se fue creando, produciendo e incorporando nuevas especies hasta llegar a obtener una variedad de plantas nativas y exóticas, iniciando así con palmeras, arbustos, flores, cubre-suelos, árboles frutales, plantas en macetas, cactus y bonsái, entre otros. Con el paso de los años y a través de los requerimientos de nuestros clientes hemos creado nuevos servicios, tales como: Diseño, Construcción y Manutención de áreas verdes, Podas de temporada, Fumigaciones y Productos Artesanales (Página web Vivero el Rosal, 2015).

2.3. MARCO METODOLÓGICO

El proyecto se realizó en las instalaciones del vivero El Rosal (Tuluá). La investigación fue de tipo experimental puesto que su objetivo consistió en investigar la eficacia del más óptimo sustrato para la elaboración de un lombricompostaje y alimento para la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Esta investigación se realizó utilizando los productos finales (lodos) de los procesos industriales de la empresa PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S.

2.3.1. Toma de muestras para análisis físico-químicos

Al lodo obtenido se le realizó análisis físico-químico para evaluar por tratamiento:

- ✓ pH
- ✓ Materia Orgánica
- ✓ Nitrógeno (N)
- ✓ Fosforo (P)
- ✓ Potasio (K)
- ✓ Calcio (Ca)
- ✓ Magnesio (Mg)
- ✓ Azufre (S)
- ✓ Sodio (Na)
- ✓ Boro (B)
- ✓ Cobre (Cu)
- ✓ Hierro(Fe)
- ✓ Manganeso(Mn)
- ✓ Zinc (Zn)
- ✓ Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)
- ✓ Conductividad Eléctrica.

Lo anterior se realizó recurriendo a un servicio de laboratorio de análisis físico-químico para muestras de suelo.

2.3.2. Adecuación de las unidades experimentales

Para la adecuación de las unidades experimentales se tuvo en cuenta la proporción de alimento necesario para un periodo experimental de 120 días, respetando la anatomía de la lombriz y las especificaciones técnicas del lombricompostaje. Para esto se usaron 400 gramos de sustrato en cada tratamiento. Se utilizaron cilindros plásticos de 13 cm de alto por 10 cm de diámetro, con orificios en su base y forrados con polisombra al 65 % protección ultravioleta; que pesaron respectivamente 60 g/cilindro.

El experimento se montó el 23 de Mayo de 2015 en las instalaciones del vivero el Rosal en el municipio de Tuluá- Valle del Cauca una vez recolectados los sustratos en sus fuentes originales.

- Infraestructura física

Se elaboraron 4 camas en cemento y esterilla de guadua, revestidas con plástico; con una altura desde el piso de 1 m. El espacio entre cama y cama fue de 1 m de distancia. Cada cama tenía 20 m de largo, una altura de 0.25 m y 1.20 m de ancho, para un volumen de 6 m ^{3}. Las camas fueron enumeradas de 1 a 5 según el tipo de tratamiento evaluar. Una vez listas, se prepararon y dispusieron en ellas los diferentes sustratos (Imagen 3).

Imagen 3: Collage fotográfico del proceso de ubicación de los tratamientos en el sitio de estudio.

Fuente: Propia.

El tiempo total de duración del experimento fue de 120 días (4 meses) con una revisión de parámetros físico-químicos cada 3 días y se realizaron algunas observaciones sobre el comportamiento inicial de las lombrices sobre cada sustrato. El objetivo era observar que pasaba con las lombrices cuando se encontraban con el nuevo alimento (sustrato).

Para la adecuación de las unidades experimentales se tuvo en cuenta la proporción de alimento necesario para un periodo experimental de 120 días, respetando la anatomía de la lombriz y las especificaciones técnicas del lombricompostaje.

Se utilizaron cilindros plásticos de 13 cm de alto por 10 de diámetro con orificios en su base y forrados con polisombra al 65 % para la protección solar, después de preparar cada uno de los tratamientos, se procedió a colocar en la parte superior del sustrato 5 lombriz, cada una de la cual tuvo un peso promedio entre 0.24 g y 1 g y que de acuerdo a la literatura se clasificaron como adultas.

La aireación de cada tratamiento fue manual y se realizó cada 30 días. Cada 7 días los sustratos eran regados con agua común para hidratar las muestras y realizar control de humedad.

Imagen 4: Collage fotográfico de las unidades experimentales.

Fuente: Propia.

2.3.3. Adecuación de sustratos por tratamientos

Después del realizar el secado de los lodos se procedió al pesado respectivo para así manejar la cantidad exacta, de esta manera se ensayó experimentalmente las proporciones de los sustratos y la bovinaza a porcentajes hasta hallar la conversión adecuada.

- Sustratos utilizados

Para determinar la cantidad de cada componente en el sustrato (cuadro 1), se tuvo en cuenta el número promedio de lombrices que se reproducen en un día por lombriz adulta, la cantidad y la ración diaria ingerida por ella al día y el porcentaje de ración que se convierte en abono (55 % del total ingerido por cada lombriz). Se tuvo como referente el trabajo elaborado por Zapata y Varela (2007).

Cuadro 1: Tratamientos diseñados en el ensayo.

Tratamiento	Sustrato	Porcentaje (%)	Cantidad (kg)
1	Lodo	100	400
2	Boñiga	100	400
3	Boñiga + Lodo	70 - 30	280 – 120
4	Boñiga + Lodo	50 - 50	200 – 200
5	Boñiga + Lodo	30 - 70	280 – 120

Fuente: Elaboración propia

A. Lodos

Los principales constituyentes del agua residual eliminados en las plantas de tratamiento luego de un proceso productivo incluyen basuras, arena, espuma y lodo. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos productivos y de tratamientos generalmente suelen ser un líquido o un líquido – semisólido con gran contenido de sólidos entre 0.25 – 12 %. Los procedimientos para tratar los lodos varían según la fuente y el tipo de aguas residuales de las que se derivan, del proceso utilizado para tratar las aguas residuales y del método ultimo de disposición a la que se destinan los lodos.

El lodo utilizado en el ensayo fue proveniente de la planta PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S

Imagen 5: Collage fotográfico correspondientes a los lodos empleados como sustratos en la investigación.

Fuente: Propia

B. Boñiga

Se empleó excremento de vaca. Comúnmente se dice que la boñiga es un abono frío, menos cálido que el de caballo. La boñiga es más acuosa que los excrementos del ganado menor y contiene una mayor cantidad de agua. Amontonada, fermenta con menos fuerza que el estiércol de caballo. La llaman abono frío, muy útil para los terrenos secos y areniscos, porque se descompone más lentamente que el excremento de caballo. Este material orgánico fue obtenido de una de las fincas de la empresa Lácteos Tuluá S.A.

Imagen 6: Collage fotográfico correspondientes a la boñiga empleada como sustrato en la investigación.

Fuente: Propia

2.3.4. Siembra de lombrices

Al tener los sustratos dispuestos en las camas adecuadas, se introdujo las lombrices adultas de la especie *Eisenia foetida* procedentes de Centro Latinoamericano de Especies Menores CLEM, ubicada en Tuluá – Valle.

2.3.5. Medición de variables ambientales y sustratos

Las camas se mantuvieron bajo techo para protegerlas de la luz directa del sol y posible humedad producida por lluvias. Para mantener las condiciones óptimas de cada unidad experimental durante todo el proceso se midió el pH y temperatura cada tres días, la humedad se mantuvo en un periodo de diez días.

Las mediciones se realizaron con instrumentos especializados para estos procesos tales como termómetro de mercurio e higrómetro (indicador de pH y humedad). El objetivo consistió que el alimento se estabilizara en un pH entre 6.5-8.0 humedad entre 75 % - 85 % y temperatura de 18 a 25º C, tal como lo indica Rodríguez (1998).

- Determinación de pH

pH: Las mediciones de pH se hicieron cada 3 días, para lo cual se utilizó un higrómetro de marca pH- 707 , instrumento que mide pH y humedad. La medición de pH se realizó directamente en cada unidad experimental (Imagen 7).

Imagen 7: Medición de pH en las unidades experimentales.

Fuente: propia.

- **Determinación de humedad**

Las mediciones de la humedad se hicieron cada 3 días, para lo cual se utilizó un higrómetro de marca pH- 707. La medición de la humedad se realizó directamente en cada unidad experimental.

Imagen 8: Medición de humedad en cada unidad experimental.

Fuente: propia.

2.3.6. Preparación de los sustratos

El primer sustrato fue constituido por la mezcla de lodos residuales y bovinaza de vaca, a una proporción de 2:1 respectivamente. Se realizó un secado al aire para eliminar la humedad existente. El tiempo de secado dependió de las condiciones meteorológicas del lugar de trabajo. El proceso de secado buscó eliminar no solo la humedad, sino también la liberación de gases tales como H_2S, CO y CH_4, los cuales pueden alterar el desarrollo del proceso y pueden ser perjudiciales para las lombrices.

Los tratamientos llevaron las siguientes concentraciones:

- Tratamiento número 1 (100 % lodos).
- Tratamiento número 2 (100 % boñiga)
- Tratamiento número 3 (70 % boñiga y 30 % lodos)
- Tratamiento número 4 (50 % boñiga y 50 % lodos)
- Tratamiento número 5 (30 % boñiga y 70 % lodos)

2.3.7. Medición de variables a lombrices

Se realizó una cuantificación del número de lombrices en un periodo de 30, 60, 90 y 120 días. Con esto se determinó: Población (número de lombrices y cocones); estado de desarrollo sexual (presencia de clitelo) y peso de lombrices (biomasa).

2.3.8. Diseño estadístico experimental

El diseño estadístico experimental se realizó para disponer las muestras de lodos en 5 bloques, cada bloque correspondió a un tratamiento específico, cada uno con 5 repeticiones, dando así un total de 20 unidades experimentales. Con los datos del control de variables, a las lombrices obtenidas durante los 120 días del periodo experimental, fueron analizados mediante un diseño estadístico experimental en donde se aplicó el Análisis de Varianza (ANOVA), que indica si existen diferencias significativas entre los grupos del estudio, posteriormente como existen diferencias significativas se empleó la prueba de rangos múltiples de DUNCAN para saber cuáles grupos difieren entre sí.

2.3.9. Secado del lombrihumus

En el periodo de 120 días de la etapa experimental, en donde los sustratos de todas las unidades experimentales fueron transformadas en lombrihumus, a cada uno de ellos se le extrajo las lombrices y los cocones para así poder secar este durante dos días, así se garantizó una humedad entre 20 a 40 %.

2.3.10. Toma de muestras para análisis físico-químicos y microbiológicos

Después de realizar los análisis de granulometría, se tomaron 5 muestras, una por tratamiento. Para esto se mezclaron las 4 repeticiones de cada uno, las cuales fueron llevados a sus respectivos análisis.

El análisis físico-químico incluyó análisis de las propiedades a cada tratamiento analizando los parámetros que se enuncian a continuación:

- pH
- Materia Orgánica
- Nitrógeno (N)
- Fósforo (P)
- Potasio (K)
- Calcio (Ca)
- Magnesio (Mg)
- Azufre (S)
- Sodio (Na)
- Boro (B)
- Cobre (Cu)
- Hierro(Fe)
- Manganeso(Mn)
- Zinc (Zn)
- Relación Carbono/Nitrógeno (C/N) y Conductividad Eléctrica.

Las unidades de medida y el método analítico empleado para la caracterización y composición del material orgánico solido se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2: Unidades de medida y método analítico empleado para la determinación de cada parámetro fisicoquímico en las muestras de lodo según la NTC 5167.

PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO
Humedad	%	Gravimétrico
Cenizas	%	Gravimétrico
Pérdidas por Volatilización	%	Gravimétrico
Carbono Orgánico Oxidable Total	%	Walkley-black
pH (pasta de saturación)		Potenciométrico
Densidad (Base Seca – 20ºC)	g/c.c.	Gravimétrico
Conductividad Eléctrica	dS/m	Conductímetro
Retención de Humedad	%	No especificado
Cap. Intercambio Catiónico	(me/100g)	Volumétrico
C/N		No especificado
Boro total	p.p.m	Colorimétrico
Sodio total	%	Emisión de llama
Sílice total SiO_2 (sólido soluble en HF)	%	Abs. Atómica

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2: Continuación**.** Unidades de medida y método analítico empleado para la determinación de cada parámetro fisicoquímico en las muestras de lodo según la NTC 5167.

Residuo Insoluble en ácido	%	Gravimétrico
Nitrógeno Orgánico (NOrg)	%	Micro-kjeldhal
Fósforo Total (P2O5)	%	Colorimétrico
Potasio total (K2O)	%	Abs. Atómica
Calcio total (CaO)	%	Abs. Atómica
Magnesio total (MgO)	%	Abs. Atómica
Azufre total (S-SO4)	%	Turbidimétrico
Hierro total	%	Abs. Atómica
Manganeso total	p.p.m	Abs. Atómica
Cobre total	p.p.m	Abs. Atómica
Zinc total	p.p.m	Abs. Atómica

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte el análisis microbiológico incluyó el análisis de la presencia de: *Escherichia coli*, Microfijadoras, Actinomicetos, Hongos y Levaduras.

2.3.11. Evaluación costo-beneficio

Se determinó el Beneficio ambiental a valorar y luego se efectuaron las observaciones directas del aprovechamiento de los lodos de LA PRODUCTORA DEJUGOS S.A.S. para ser transformado en abono orgánico (Lombrihumus). A la vez se estimaron los costos de realizar dichas medidas para estimar el gasto para las actividades de construcción, manejo y operación de un centro de lombricompostaje. Por último se estudiaron los beneficios ambientales y económicos que traería consigo el proyecto en caso de ser ejecutado.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS. Determinación de parámetros fisicoquímicos de los lodos

A continuación se presentan los resultados de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos del material orgánico solido generado en la producción de jugos tropicales por parte de la Productora de jugos S.A.S. (Cuadro 3):

Cuadro 3: Caracterización y composición del material orgánico solido de la Productora de jugos S.A.S.

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	NTC 5167 para enmienda orgánica
Humedad	82,7	%	*Máximo 20-35*
Cenizas	3,91	%	*Máximo 60*
Pérdidas por Volatilización	13,4	%	
Carbono Orgánico Oxidable Total	5,58	%	*Mínimo 15%*
pH (pasta de saturación)	8,55		pH mayor de 4 y menor de 9
Densidad (Base Seca – 20ºC)	0,86	g/c.c.	*Máximo 0.6*
Conductividad Eléctrica	M.I.	dS/m	
Retención de Humedad	M.I.	%	Mínimo su propio peso
Cap. Intercambio Catiónico	20	(me/100g)	
C/N	13		*Mínimo 30*
Boro total	1,9	p.p.m	
Sodio total	0,03	%	
Sílice total SiO_2 (sólido soluble en HF)	1,30	%	
Residuo Insoluble en ácido	2,83	%	
Nitrógeno Orgánico (NOrg)	0,44	%	*< 1.0*
Fósforo Total (P_2O5)	0,24	%	*< 1.0*
Potasio total (K_2O)	0,03	%	*< 1.0*
Calcio total (CaO)	0,05	%	
Magnesio total (MgO)	0,04	%	
Azufre total ($S\text{-}SO_4$)	0,02	%	
Hierro total	0,08	%	
Manganeso total	20	p.p.m	
Cobre total	9,1	p.p.m	
Zinc total	22	p.p.m	

Fuente: Productora de jugos S.A.S. Pruebas realizadas por AGRILAB Bogotá – Colombia. Junio del 2014.

3.1.1. Evaluación de los parámetros físicos y químicos de los lodos (antes del ensayo) provenientes de la Productora de Jugos S.A.S.

De acuerdo a la norma técnica colombiana (NTC) 5167 (Cuadro 2) la muestra de lodo presentó baja concentración de N, P, K, ya que se encuentran por debajo del 1%. El contenido de humedad se considera alto, teniendo en cuenta que el límite permisible máximo es de 35%. Según la NTC 5167, el carbono orgánico oxidable total deber ser mínimo 15 %; la muestra presento un mínimo de 5,5 %, lo que muestra que en términos de carbono orgánico oxidable se está muy por debajo del mínimo establecido en la norma.

En cuanto a las cenizas, el contenido máximo debe ser 60%; los lodos se encuentran por debajo de este nivel, cumpliendo con la exigencia normativa. Respecto al valor de pH, la muestra se encuentra dentro del rango de 4 a 9 como lo exige la norma al presentar un pH de 8,55 (Cuadro 4).

Cuadro 4: Parámetros Agrícolas del compost.

Clase de compost[3]	Relación N/ C	pH	Contenido de M.O.
Clase A	Entre 10 y 25	7.0 – 8.0	No debe ser mayor o igual a 25% en base
Clase B	Oct- 40	6.5 – 8.5	

Fuente: Adaptado norma INN 2439 año 1999

La caracterización de los lodos generados en la Productora de jugos S.A.S. se realizó según lo establecido en la normatividad EPA . A continuación se presenta el parámetro, método y técnica considerado para evaluar la toxicidad de las muestras de lodo, como parámetro de interés inicial en esta investigación (Cuadro 5- Anexo A):

Cuadro 5: Parámetro, método y técnica considerados para evaluar la toxicidad de los lodos en la

PARÁMETRO	MÈTODO EPA	TÈCNICA
Toxicidad	1311	Extracción

Productora de jugos S.A.S.

Fuente: Elaboración propia según la normatividad EPA (1992).

Según los resultados de la caracterización y composición del material orgánico solido de la Productora de jugos S.A.S., los lodos son altamente orgánicos y según

[3] **Nota aclaratoria:** Según la EPA, los Biosólidos Clase A , pueden resultar después de someterse a tratamientos avanzados para reducir los niveles de patógenos que pueden ser: secado por calor, el compostaje y altas temperaturas por medio de una digestión anaeróbica. Estos son algunos de los procesos que suelen alcanzar la clase A. Estos para poder ser utilizados sin ninguna restricción deberán cumplir con los requisitos de concentración de metales para clasificación Clase A.

la norma, se determina que el material solido bajo las características actuales al final del proceso productivo, no es perjudicial para la salud humana. Lo anterior se convierte en una ventaja para el adelanto de procesos de biotransformaciòn, al facilitar la actividad biotransformadora de la lombriz roja californiana *(Eisenia foetida)* en la obtención de abono orgánico. Lo anterior, según lo establecido en el método 1311 EPA (1992) (Cuadro 2).

A continuación se presenta el condensado de los resultados de laboratorio obtenidos para las diferentes muestras de lodos en comparación con lo establecido en la EPA (Cuadro 6):

Cuadro 6: Valores para prueba de Toxicidad (TCLP). Método 1311 EPA (1992).

Registro	**Muestra**	**Pb (mg/L)**	**Cd (mg/L)**	**Ba (mg/L)**	**Cr (mg/L)**
M - 1100	Lodos de PTAR	0,020	<0,030	<0,100	<0,030
	Regulación de la EPA*[4]	5,00*	1,00*	100,00*	5,00*
Registro	**Muestra**	**Ag (mg/L)**	**Hg (mg/L)**	**As (mg/L)**	**Se (mg/L)**
M - 1100	Lodos de PTAR	<0,030	<0,001	<0,008	< 0,009
	Regulación de la EPA*[5]	5,00*	0,200*	5,00*	1,00*

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que este lodo es elegible para la exención de los Residuos Industriales de Control Prioritario - RICOPRI. Lo anterior se corrobora en la evaluación realizada por la Productora de jugos S.A.S. en el mes de Abril de 2015, en donde se realizaron pruebas a los lodos por Eco-química Ltda. en la ciudad de Cali-Colombia.

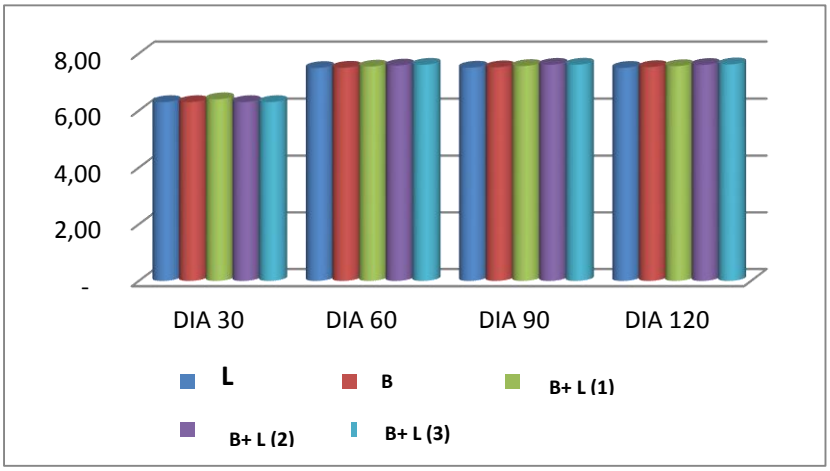
Las concentraciones de Cd, Cr, Hg, Ni y Pb están por debajo de los niveles máximos permisibles según la norma técnica colombiana-NTC 5167 de 2004; además las concentraciones de estos metales, así como las de Cu y Zn son inferiores a las permitidas por la Comunidad Europea (Comunidad Europea, 2005).

[4] Valores máximos permisibles por la EPA (2003)
[5] Ibid.

3.2 EVALUACIÓN DE LA BIOACTIVIDAD DEL AGENTE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA *(Eisenia foetida)* FRENTE A LA DEGRADACIÓN DE LOS LODOS.

El pH promedio (gráfico 1) de los sustratos utilizados es muy similar en cada tratamiento y por cada repetición. En el tratamiento 1 el pH oscila entre 6,3 y 7,6; en el tratamiento 2 el pH oscila entre 6,3 y 7,6; en el tratamiento 3 el pH oscila entre 6,3 y 7,6; en el tratamiento 4 pH oscila entre 6,3 y 7,7 mientras que en el tratamiento 5 el pH oscila entre 6,4 y 7,7 (Anexo B). Lo que indica que en términos de pH, los diferentes tratamientos son adecuados para garantizar el proceso de compostaje.

Gráfico 1: Promedios de pH día 30, 60, 90 y 120 desde el primer día del experimento.



Fuente: Elaboración propia.

L: Lodos (100%); **B:** Boñiga (100%); **B+ L (1):** Boñiga (70%) – Lodos (30%); **B+ L (2):** Boñiga (50%) – Lodos (50%); **B+ L (3):** Boñiga (30%) – Lodos (70%).

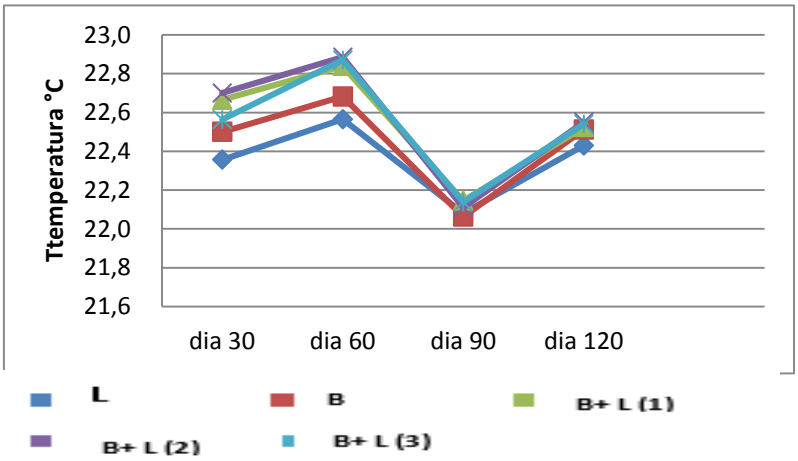
Para el caso específico de la investigación, los mejores tratamientos según los resultados promedios presentados en el gráfico 1 para el desarrollo normal y óptimo de las lombrices fueron todos los tratamientos ya que presentaron un pH adecuado para el normal funcionamiento del compostaje, presentando el menor pH 6,3 y su mayor pH 7,6 lo que corrobora Castillo y Taco (2010) quienes dice que los sustratos deben estar entre 6,5 y 7,5.

- Temperatura

Para realizar estas mediciones se utilizó un termómetro de mercurio cuya escala de valores oscila entre 10 a 60 grados centígrados. La medición se realizó cada 3 días en cada unidad experimental a una profundidad de 10 cm. Al igual que el pH, la

temperatura del sustrato está ligada al desarrollo normal, numero de cocones y posterior eficiencia en el proceso de biotransformación de las lombrices, y por ende a la calidad del producto final obtenido (Trejos y Agudelo, 2012). En el gráfico 2 observa como las temperaturas promedios de los sustratos son diferentes. Se determina que la temperatura más baja del sustrato se presenta en el tratamiento 2. A lo largo del experimento la temperatura máxima promedio fue de 22,8 lo que significa que las lombrices tuvieron una temperatura adecuada para su funcionamiento (Anexo C).

Gráfico 2: Comportamiento de la temperatura de los tratamientos.



Fuente: Elaboración propia.

L: Lodos (100%); **B:** Boñiga (100%); **B+ L (1):** Boñiga (70%) – Lodos (30%); **B+ L (2):** Boñiga (50%) – Lodos (50%); **B+ L (3):** Boñiga (30%) – Lodos (70%).

Por revisión bibliográfica se sabe que cuando se presentan temperaturas demasiado altas o bajas, el proceso de biotransformación adelantado por las lombrices afectan el desempeño de estos invertebrados dentro del sustrato. Según Schuldt (2004) citado por Castillo Taco (2010) cuando la temperatura del sustrato es de 10 º C, las lombrices, siguen reproduciéndose pero con moras significativas en la eclosión de cocones que liberaran lombrices recién al cabo de meses.

El rango óptimo de temperaturas para el crecimiento de las lombrices oscila entre 12- 25° C; y para la formación de cocones entre 12 y 15° C. Durante el verano si la temperatura es muy elevada, se recurrirá a riegos más frecuentes, manteniendo las camas libres de plagas, procurando que las lombrices no emigren buscando ambientes más frescos (Trejos y Agudelo, 2012).

Según Rodríguez (2008) citado por Castillo Taco (2010) cuando hay altas temperaturas (material nuevo), comienza un proceso de degradación, que se llama normalmente “composta”. Entre otras cosas, este proceso genera calor, al punto de poder cocinar las lombrices. Aunque es exagerado llegar a este punto si es normal encontrar temperaturas por encima de 40 º C y en este caso las lombrices tienden

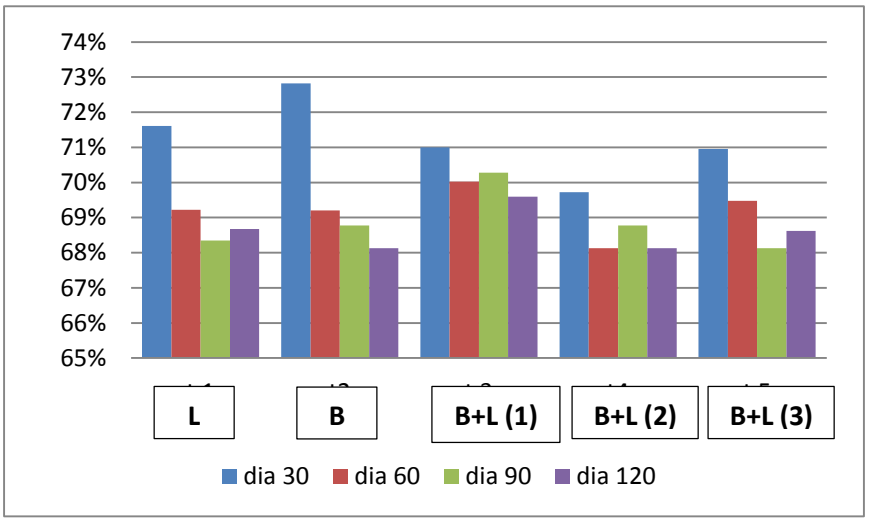
a fugarse de la cama y prácticamente no comen, por lo tanto la producción de lombricompost disminuye ostensiblemente.

- Humedad

En el grafico 3 se observa como la humedad promedio de los sustratos son diferentes (Anexo D). Se determina que la humedad más baja estuvo en un 66 % indicando que los promedios de humedad fueron óptimos para el buen desarrollo de las lombrices.

La humedad óptima será del 70 % para facilitar la ingestión de alimento y el deslizamiento a través del material. Si la humedad no es adecuada puede dar lugar a la muerte de la lombriz ya que un déficit de humedad origina una oxigenación deficiente. Las lombrices toman el alimento succionando, por tanto la existencia de humedad les facilita dicha operación.

Grafico 3: Comportamiento de la humedad por tiempo de tratamiento.



Fuente: propia.

L: Lodos (100%); **B:** Boñiga (100%); **B+ L (1):** Boñiga (70%) – Lodos (30%); **B+ L (2):** Boñiga (50%) – Lodos (50%); **B+ L (3):** Boñiga (30%) – Lodos (70%).

3.2.1. Toma de muestras para análisis en laboratorio

Las muestras para enviar al laboratorio se tomaron 125 días después de iniciado el ensayo. En todos los casos antes de proceder con el envío de las muestras al laboratorio, se procedió a medir por última vez, los parámetros pH, temperatura y humus.

3.2.2. Evaluación de la población de lombrices después del ensayo

Para los días 30, 60, 90 y 120 se procedió a contar y pesar la cantidad de lombrices, numero de cocones, presencia de clitelio que se encontraban dentro de cada unidad experimental según el tipo de sustrato (Anexo E). Lo anterior serviría de indicador para determinar si las lombrices tuvieron las condiciones adecuadas para reproducirse y por ende, la calidad de cada sustrato. En condiciones adversas las lombrices no se aparean y por lo tanto los cocones producidos son mínimos.

Imagen 9: Collage fotográfico de actividades de conteo de poblaciones de lombrices durante el ensayo

Fuente: Propia.

En el gráfico 4 se muestra como el tratamiento 2 presenta su mayor reproducción en el día 90 esto indica que la boñiga está madura eso facilita que las lombrices se coman el sustrato evidenciándolo en su reproductividad.

Grafico 4: Promedio día 30, 60, 90 y 120 para número de lombrices por cada tratamiento.

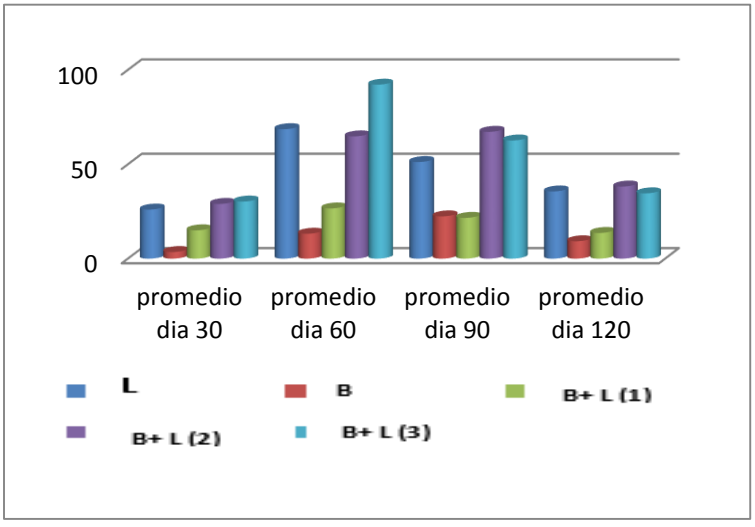
L: Lodos (100%)

B: Boñiga (100%)

B+ L (1): Boñiga (70%) – Lodos (30%)

B+ L (2): Boñiga (50%) – Lodos (50%)

B+ L (3): Boñiga (30%) – Lodos (70%).



Fuente: Propia

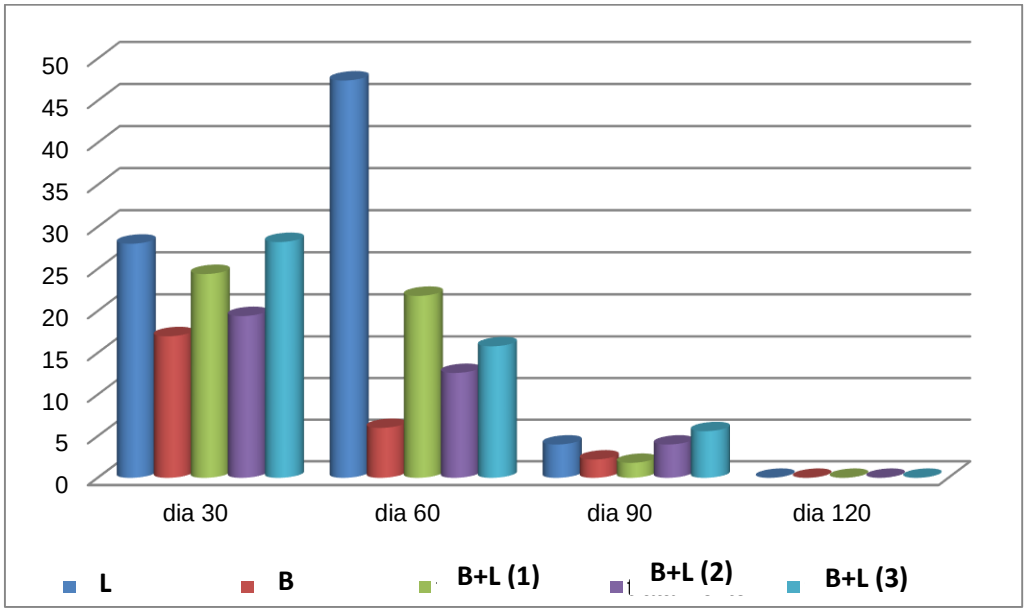
En el gráfico 4 muestra que durante los 120 días del ensayo las muestras que presentaron el mejor crecimiento poblacional estuvo en los tratamientos 1, 4 y 5 individuos promedio lo siguiente indica que las lombrices se incorporaron adecuadamente al sustrato. Lo anterior corrobora que en condiciones físicas y químicas las lombrices tienen una buena asimilación al sustrato esto indica que las condiciones son favorable para las lombrices.

El estiércol generó mayor cantidad de gases tóxicos (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso) por el proceso de fermentación, provocando la muerte de los ejemplares. Sin embargo, según Ferruzi (1987) y Reinés (2004) los aspectos químicos, físicos y biológicos del estiércol varían de acuerdo con el patrón alimenticio del ganado, del cual dependerá la calidad del estiércol y por lo tanto, la aceptación de dicho sustrato por las lombrices.

- Número de cocones y clitelio por tratamiento y repetición

Cuando las lombrices no se encuentran en una situación favorable de humedad, pH y humedad, lo primero que dejan de hacer es el acoplamiento y por lo tanto no habrá generación de cocones o se reducirá su número.
Según la gráfica 5, el número de cocones se puede observar que el promedio más alto se encontró en los meses 1 y 2, la mayor cantidad de cocones se presentó en los tratamientos 1, 3, 4 y 5.

Gráfico 5: Promedio población de cocones por tratamiento durante los 120 días del ensayo



Fuente: Elaboración propia.

L: Lodos (100%); **B:** Boñiga (100%); **B+ L (1):** Boñiga (70%) – Lodos (30%); **B+ L (2):** Boñiga (50%) – Lodos (50%); **B+ L (3):** Boñiga (30%) – Lodos (70%).

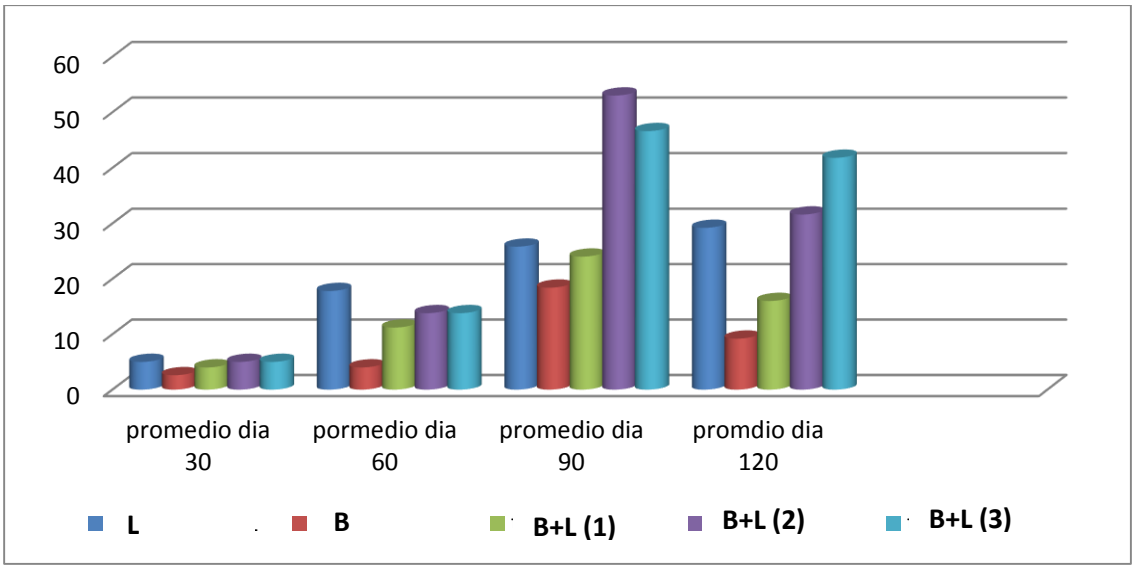
.

Cabe destacar que la muestra que presentó un mejor número de cocones con 47,4, el tratamiento que presento menor número de cocones durante los primeros 60 días fue la numero 2 estos resultados se pueden evidenciar en su baja reproducción durante todo el ensayo (Anexo F).

El tratamiento 3 tuvo una evidenciable reproducción baja durante todo el ensayo lo contrario sucedió con el número de cocones, esto se explica que los cocones no eclosionaron de una forma adecuada presentado mayor índice de mortalidad junto con el tratamiento número 2. En el día 120 todos los tratamientos presentaron cero cocones lo que quiere decir que las lombrices no tenían los suficientes nutrientes que le permitiera reproducirse (Anexo G).

En materiales muy maduros con pocos nutrimentos, la lombriz tiende a disminuir primero su reproducción y luego su peso. En la gráfica 4 corrobora lo dicho ya que los tratamientos 1, 4 y 5 presentaron un número de cocones baja en el día 90 (Martínez, 1996 y Tineo, 1994)

Gráfica 6: Promedio de Clitelio durante los 120 días del ensayo.



Fuente: Elaboración propia.

L: Lodos (100%); **B:** Boñiga (100%); **B+ L (1):** Boñiga (70%) – Lodos (30%); **B+ L (2):** Boñiga (50%) – Lodos (50%); **B+ L (3):** Boñiga (30%) – Lodos (70%).

Las lombrices alcanzan su estado adulto entre tres y cuatro meses. El grafico 6 muestra en el día 90 y 120 se presentó el mayor desarrollo del clitelio en todas las muestras con mayor presencia en las muestras 1, 4 y 5. En los días 30 y 60 predominaron las lombrices juveniles en todos los tratamientos gráfica 6.

- Peso en gramos promedio por cada individuo presente en cada tratamiento

Las muestras nùmero 1, 4 y 5 presentaron un peso en los primeros 30 dias del ensayo de 0,1 gramos y al finalizar el ensayo presentaron un peso de 0,2 – 0,2 y 0,3 gramos. Segùn Schuldt et al. (2005) los individuos adultos alcanzan aproximadamente los 0,25 g de peso, independientemente de la dieta suministrada. Por lo tanto los individuos alcanzaron un peso normal acorde con su estadio de desarrollo (lombriz adulta).

Cuadro 7: Peso en gramos promedio por cada indivio presente en cada tratamiento.

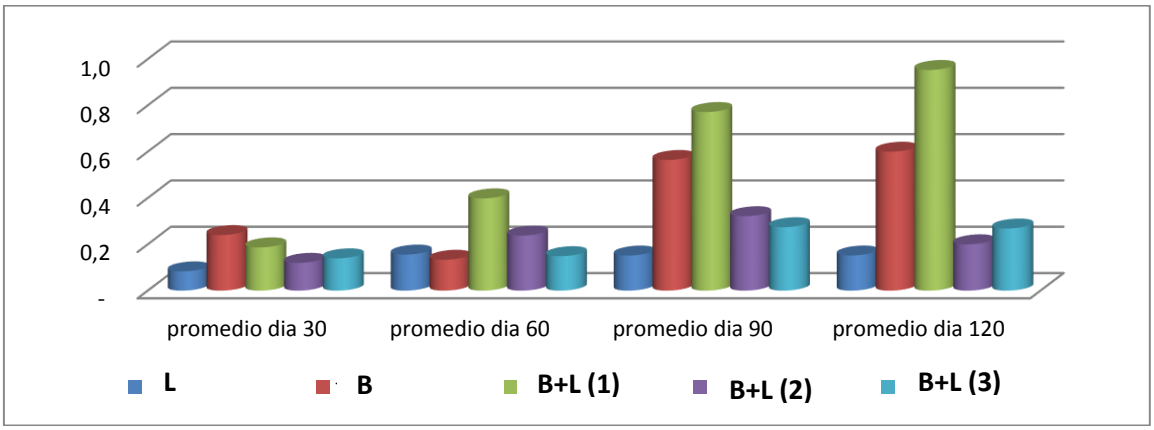
Analisis peso en gramos por cada tratamiento					
Peso lombrices en G / tratamiento	**tratamiento 1**	**tratamiento 2**	**tratamiento 3**	**tratamiento 4**	**tratamiento 5**
promedio día 30	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
promedio día 60	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1
promedio día 90	0,2	0,6	0,8	0,3	0,3
promedio día 120	0,2	0,6	0,1	0,2	0,3

Fuente: Propia

.

Se sabe que la producción de cápsulas significa para la lombriz, un gasto energético, necesario para la preservación de la especie (Cluzeau et al. 1992, León et al. 1992). Teniendo en cuenta que el tratamiento numero 2 y 3 tuvieron menor indice de reprodcuccion en los 120 dias, presento el mayor peso por individuo con 0,6 y 0,8 gramos con relacion a los otros tratamientos. Lo anterior concuerda con lo descrito por Santamaría y Ferrera-Cerrato (2002), quienes encontraron que una mayor tasa de reproducción correspondió a un menor peso por individuo al final del ensayo. Según Martínez (1996) y Tineo (1994), en materiales muy maduros con pocos nutrimentos, la lombriz tiende a disminuir primero su reproducción y luego su peso.

Gràfico 7: Peso en gramos promedio por cada individuo presente en cada tratamiento.



Fuente: Propia

L: Lodos (100%)

B: Boñiga (100%)

B+ L (1): Boñiga (70%) – Lodos (30%)

B+ L (2): Boñiga (50%) – Lodos (50%)

B+ L (3): Boñiga (30%) – Lodos (70%).

3.3 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LOS SUSTRATOS DESPUÉS DEL ENSAYO

3.3.1. Análisis Características Fisicoquímicas de las muestras de lodo

Las muestras fueron colocadas en bolsas trasparentes de plástico y trasladadas al laboratorio AGROAMBIENTAL.LAB S.A.SNIT en Roldanillo- Valle del Cauca, para la determinación de los parámetros fisicoquímicos señalados en la NTC 5167. Para cada muestra se realizaron análisis fisicoquímicos para determinar las características de: pH, Carbono Orgánico, Nitrógeno Total (N), Metales tales como Potasio Total (K_2O), Fósforo Total (P_2O_5), Calcio (CaO), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Magnesio (MgO), Fierro (Fe),Boro (B), capacidad de retención de humedad y capacidad de intercambio catiónico (Anexos H,I,J,K).

Por determinación propia del investigador y teniendo como criterio la bioactividad de las lombrices (esta muestra no fue transformada como abono orgánico - lombri humus), a la muestra dos no se le realizan los análisis correspondientes en lo que confiere a análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Imagen 10: Collage fotográfico del proceso de observación, y adecuación de las muestras para su traslado a laboratorio.

Fuente: Propia.

- **Determinación del pH**

El método analítico para realizar las mediciones para la determinación de pH es potenciométrico siguiendo la metodología de la NTC 5167. Para ello se emplea un potenciómetro. La clasificación de las muestras se creó en base al criterio establecido por la norma mencionada.

Los resultados de pH de las cuatro las muestras de lodos según tratamientos propuestos, se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8: Valores de pH de las muestras de lodo por tratamiento.

PARAMETRO	TRATAMIENTO	RESULTADO	NTC 5167
pH	1	6,82	>4<9
	3	7,5	
	4	7,15	>4 <9
	5	7,44	

Fuente: Elaboración propia según resultados de laboratorio.

Como puede apreciarse las muestras de lodos de los tratamientos oscilan entre 6,82 y 7,44. El tratamiento 1 presenta un pH ácido, mientras que los tratamientos 3,4, y 5 son básicos. Dentro de los análisis obtenidos de los tratamientos, se puede observar que los tratamientos que se asemejan a los pH de un compost eficiente son los tratamientos 1, 3,4, y 5 ya que se encuentran en el rango 4 y 9. Sin embargo, se encuentran diferencias significativas en la variable pH entre los tratamientos 1, 3 y 5 dado que las medias no se encuentran tan próximas, contrario a lo que sucede entre los tratamientos 3 y 5.

- Determinación de Materia Orgánica y Carbono

El procedimiento para la determinación de materia orgánica del suelo se realizó a través del método de Walkley y Black (NTC 5167) que establece las especificaciones de fertilidad, sanidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

Todos los tratamientos, no se encuentran dentro de los rangos recomendados por la NTC 6157. Si se observa la tabla 2, el contenido final de carbono de los tratamientos establece que se encuentran con menores contenidos de carbono orgánico (Cuadro 9).

Cuadro 9: Valores de Materia Orgánica y Carbono de las muestras de lodo por tratamiento

PARAMETRO	TRATAMIENTO	RESULTADO	UNIDADES	NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable (COT)	1	13,18	%	Mín 15 Min. 15
	3	10,6		
	4	10,3		
	5	12,7		

Fuente: Elaboración propia según resultados de laboratorio.

- Determinación del Nitrógeno Total

Los resultados de Nitrógeno Total de las cuatro las muestras de lodos según tratamientos propuestos, se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10: Valores de Nitrógeno total de las muestras de lodo por tratamiento.

PARAMETRO	TRATAMIENTO	RESULTADO	UNIDADES	NTC 5167
Nitrógeno Total	1	1,02	%	> 1
	3	0,86		
	4	0,81		
	5	0,90		

Fuente: Elaboración propia según resultados de laboratorio.

Comparando los resultados entre tratamientos, y lo establecido en la norma en cuanto a la presencia de nitrógeno total (N), el tratamiento que se encuentra dentro de lo que propone la norma es el tratamiento 1. Al utilizarse dicho sustrato para sembrar una especie vegetal, este elemento es muy importante para su crecimiento.

Como puede apreciarse en los tratamientos 3,4 y 5 los valores de nitrógeno son bajas en relación a lo que exige la norma, de ahí que al momento de realizar la relación carbono-nitrógeno C/N (Cuadro 11) los valores de este parámetro sean relativamente altos.

Cuadro 11: Relación C/N de las muestras de lodo por tratamiento.

PARAMETRO	TRATAMIENTO	RESULTADO
Relación C/ N	1	12.13
	3	12.32
	4	12.71
	5	14.1

Fuente: Elaboración propia según resultados de laboratorio.

- Determinación de Metales Totales: Potasio (K_2O), Calcio (CaO), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Fósforo (P_2O_5), Magnesio (MgO)

Los resultados de Metales Totales de las cuatro las muestras de lodos según tratamientos propuestos, se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 12: Valores de Metales Totales de las muestras de lodo por tratamiento.

PARAMETRO	TRATAMIENTO	RESULTADO	UNIDADES	NTC 5167
Potasio Total (K_2O)	1	1,52	ppm	> 1
	3	1,44		
	4	0,96	%	
	5	1,21		
Calcio (CaO)	1	1,74	%	N. A
	3	1,15		
	4	0,87		
	5	1,93		
Cobre (Cu)	1	6,2	ppm	> 1
	3	3,2		
	4	4,9	ppm	
	5	5,3		
Manganeso (Mn)	1	10,6	ppm	Requisito no exigido en los materiales orgánicos solidos
	3	5,1		
	4	6,8		
	5	8,9		
Hierro (Fe)	1	221	ppm	Requisito no exigido en los materiales orgánicos solidos
	3	80		
	4	101		
	5	258		
Fósforo Total (P_2O_5)	1	1,39	%	>1
	3	0,72		
	4	0,60		
	5	1,06		
Boro (B)	1	0,06	ppm	> 1
	3	0,03		
	4	0,01		
	5	0,08		

Fuente: Elaboración propia según resultados de laboratorio.

Los tratamientos 1 y 5 presentan un alto contenido de Potasio (K_2O) y Fósforo (P_2O_5) en las muestras de lodos conforme se establece en la NTC 5167. Se puede resaltar que una buena relación del potasio es esencial para todos los microorganismos vivos, además de la importancia en la actividad enzimática, este elemento ayuda en la síntesis de proteínas y carbohidratos. Dentro de los beneficios del potasio para los cultivos encontramos que aumenta la resistencia de la planta a enfermedades (Medina y Varela, 2007)

El contenido de micronutrientes de hierro, magnesio, calcio, potasio, cobre, manganeso y fósforo, son determinantes en el crecimiento alguna especie vegetal que se proponga cultivar con dichos sustratos. El reuso de residuos industriales dentro de criterios seguros, es una de las posibilidades de menor impacto ambiental y costos de operación. La utilización agrícola de los biosólidos contribuye, además de aportar nutrientes al suelo, a una agricultura autosustentable (Medina y Varela, 2007)

- Determinación % Capacidad de Retención de humedad

Los resultados de % Capacidad de Retención de humedad de las cuatro las muestras de lodos según tratamientos propuestos, se muestran en el cuadro 13.

Cuadro 13: Valores de % Capacidad de Retención de humedad de las muestras de lodo por tratamiento.

PARAMETRO	TRATAMIENTO	RESULTADO	UNIDADES	NTC 5167
Capacidad de Retención	1	141	%	Mín 100
	3	129		
	4	128		
	5	133		

Fuente: Elaboración propia según resultados de laboratorio.

- Determinación Capacidad de Intercambio Catiónico

Los resultados de Intercambio Catiónico de las cuatro las muestras de lodos según tratamientos propuestos, se muestran en el cuadro 14.

Cuadro 14: Valores de Intercambio Catiónico de las muestras de lodo por tratamiento.

PARAMETRO	TRATAMIENTO	RESULTADO	UNIDADES	NTC 5167
Intercambio Catiónico	1	17	meq/100g	Mín 30
	3	15		
	4	14		
	5	21		

Fuente: Elaboración propia según resultados de laboratorio.

Como puede observarse los valores están por debajo de los 30 meq/100g , lo que indica que la reserva nutrimental de este tipo de sustratos es baja, esto se establece en lo señalado en la NTC 5167.

- Determinación Conductividad Eléctrica

Los resultados de Conductividad Eléctrica de las cuatro las muestras de lodos según tratamientos propuestos, se muestran en el cuadro 15.

Cuadro 15: Valores de Conductividad Eléctrica de las muestras de lodo por tratamiento.

PARAMETRO	TRATAMIENTO	RESULTADO	UNIDADES	NTC 5167
Conductividad Eléctrica	1	6,68	dS/m	N.A
	3	6,35		
	4	7,02		
	5	5,59		

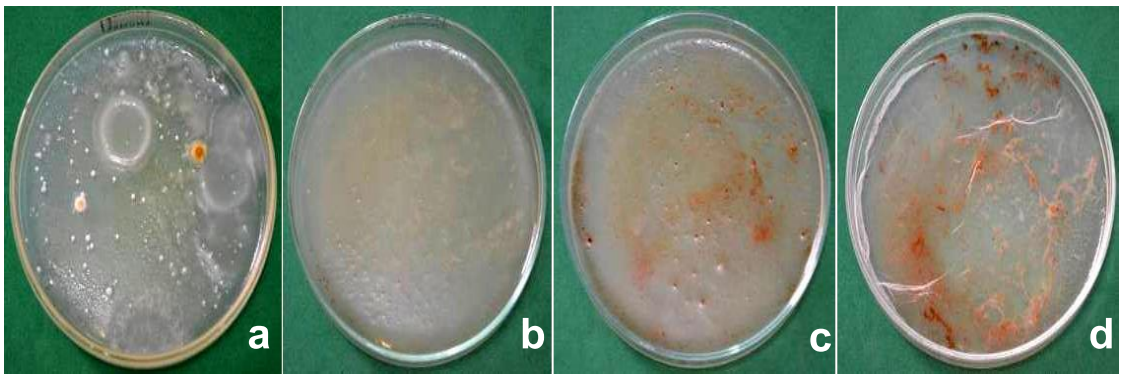
Fuente: Elaboración propia según resultados de laboratorio.

3.3.2. Análisis parámetros microbiológicos

Por cada tratamiento se tomó una muestra del sustrato al final del experimento después de haber evacuado la totalidad de las lombrices. Para el análisis microbiológico de las muestras de humus orgánico solido se tomaron y enviaron cuatro muestras de humus correspondientes a los tratamientos 1, 3, 4 y 5 al laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca.

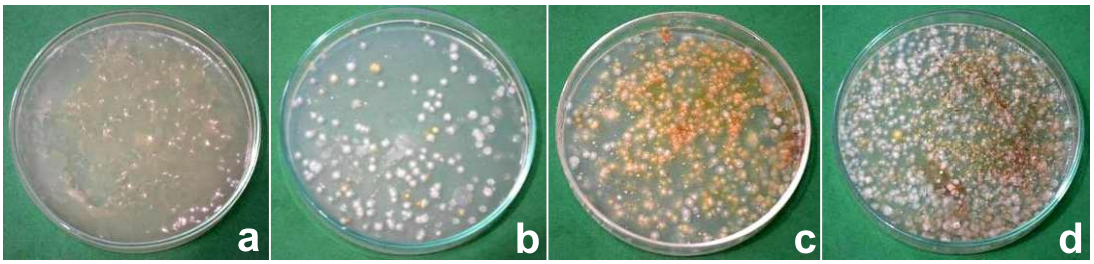
Las muestras procesadas para el análisis microbiológico se sembraron en cajas de petri con agar-caso, agar- agua y PDA (magen11 y 12). Adicionalmente, cada muestra se llevó a condiciones de cámara húmeda en bandejas plásticas (Imagen 13). Las muestras fueron evaluadas entre el 3 y el 19 de Octubre del 2015 con código SAM 10B.

Imagen 11: Microorganismos asociados a cada tratamiento en PDA. **a.** Tratamiento 1 **b.** Tratamiento 3 **c**. Tratamiento 4 **d.** Tratamiento 5.



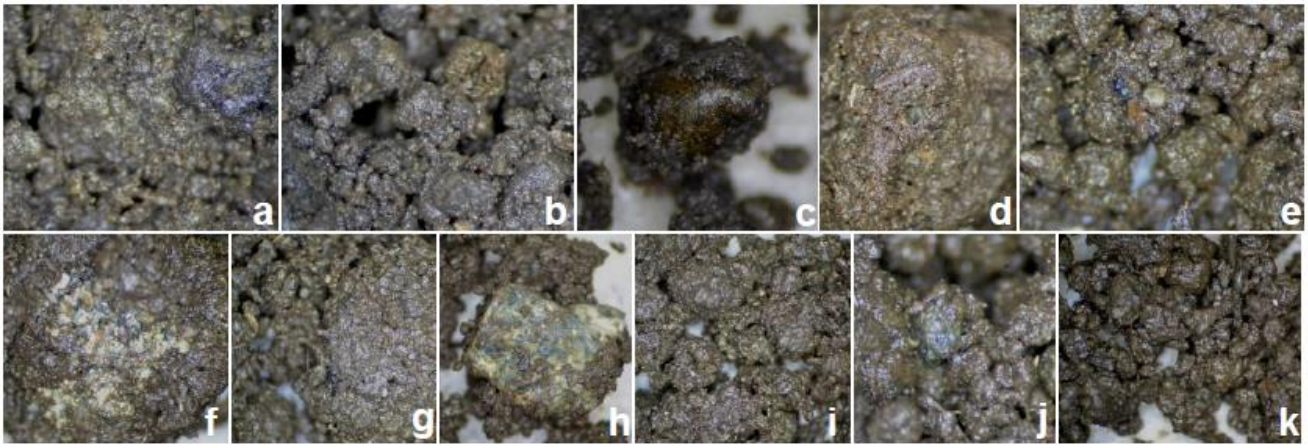
Fuente: Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

Imagen 12: Microorganismos asociados a cada tratamiento en agar-caso. **a**. tratamiento 1. **b** Tratamiento 3. **c.** Tratamiento 4. d. Tratamiento 5.



Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

Imagen 13: Condiciones de cada tratamiento en cámara húmeda. **T**ratamiento 1: a,b,c**;** Tratamiento 3: d y e ; Tratamiento 4: f,g,h ; Tratamiento 5: j y k.



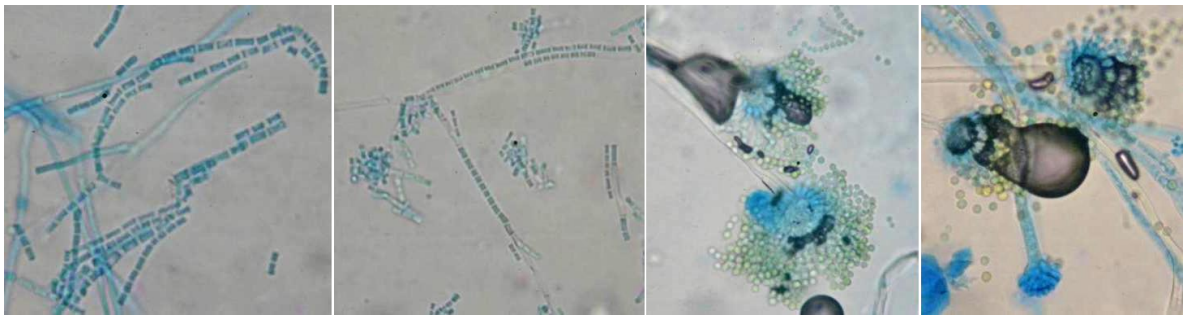
Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

- Evaluación microbiológica tratamiento 1: 100% lodo

En el tratamiento 1 se desarrollaron colonias de *Aspergillus sp.* (Eurotiomycete: *Trichocomaceae*) a una concentración de 3,0 x 10^2 Unidades formadoras de colonia (UFC)/ml, a una concentración de 2,0 x 10^2. UFC/ml fueron encontradas colonias de *Chalara sp*. (Chaetosphaeriales: *Chaetosphaeriaceae*).

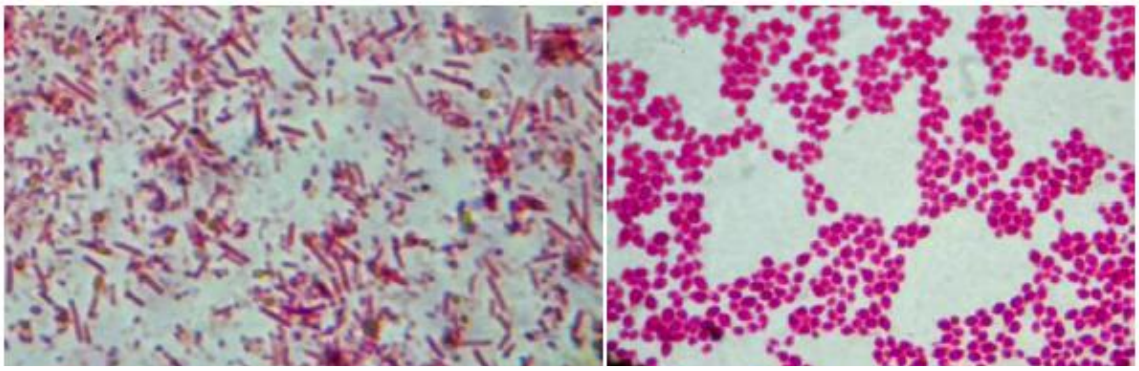
La concentración de las colonias bacterianas fue de 2,3 x 10^6 UFC/ml. En cámara húmeda se encontró micelio de *Trichoderma sp.* (*Hypocreales: Hypocreaceae*) y de *Rhizoctonia solani*.

Imagen 14: Microorganismos crecidos en el tratamiento 1 en PDA.



Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

Imagen 15: Tinción de Gram de las colonias asociadas al tratamiento 1.

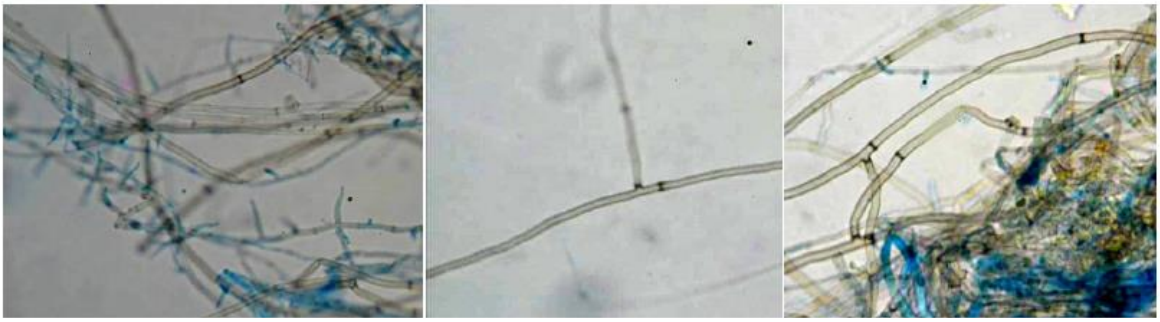


Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

- Evaluación microbiológica tratamiento 3: 70 % boñiga + 30 % Lodo

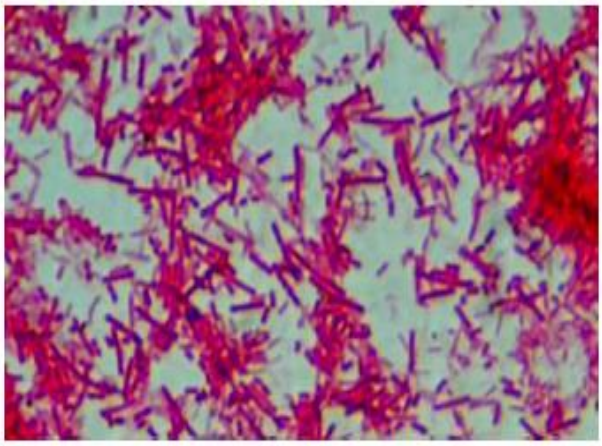
Las colonias desarrolladas en el tratamiento 3 fueron de *Aspergillus* sp. (*Eurotiomycete: Trichocomaceae*) y de *Chalara* sp. (*Chaetosphaeriales: Chaetosphaeriaceae*) a una concentración de $1{,}05x10^3$ UFC/ml y $9{,}0x10^2$ UFC/ml, respectivamente. Las colonias bacterianas se presentaron a una concentración de $1{,}0x10^7$ UFC/ml.

Imagen 16: Micelio asociadas a las colonias del tratamiento 3 bajo condiciones de cámara húmeda.



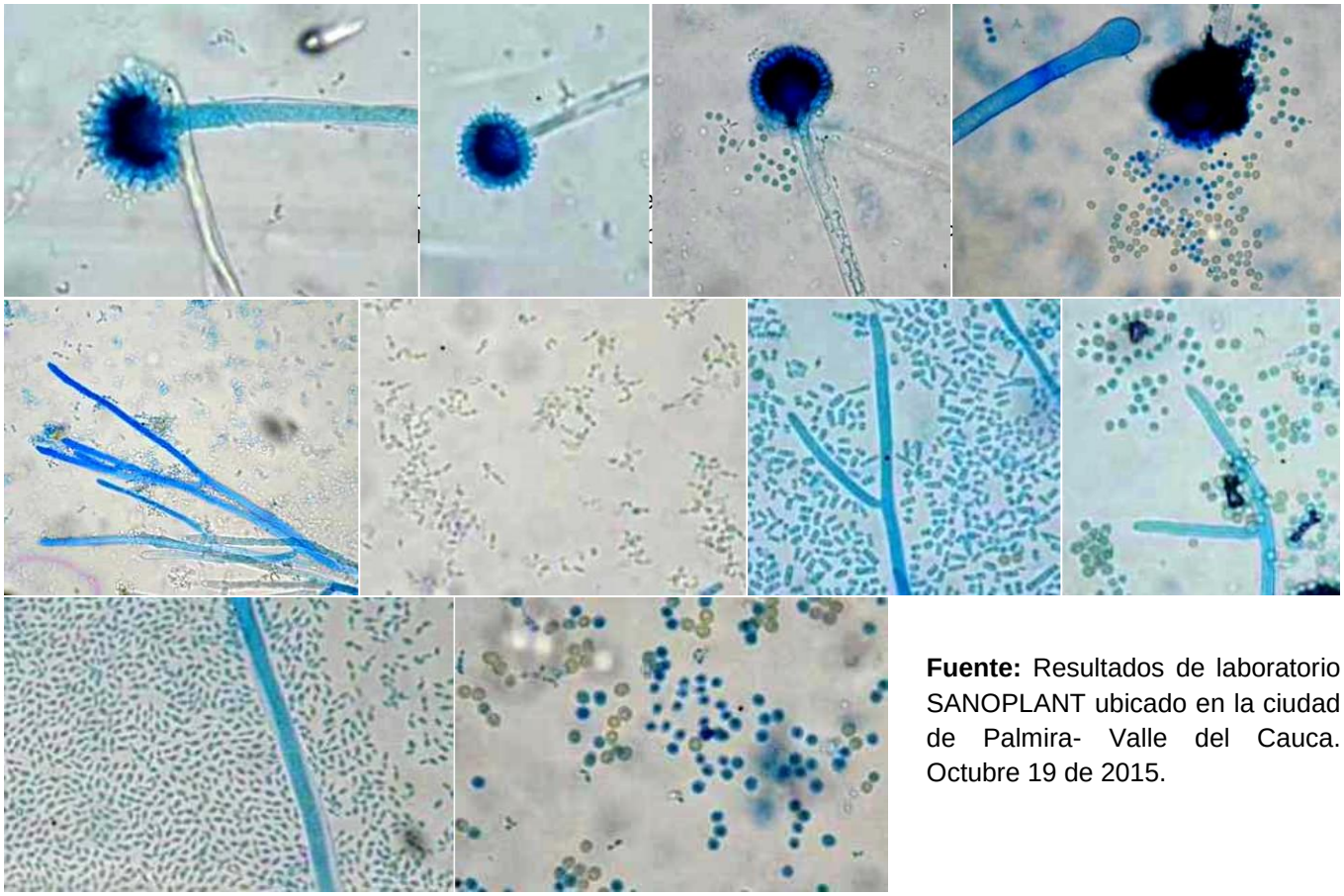
Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

Imagen 17: Tinción de Gram de las colonias asociadas al tratamiento 3.



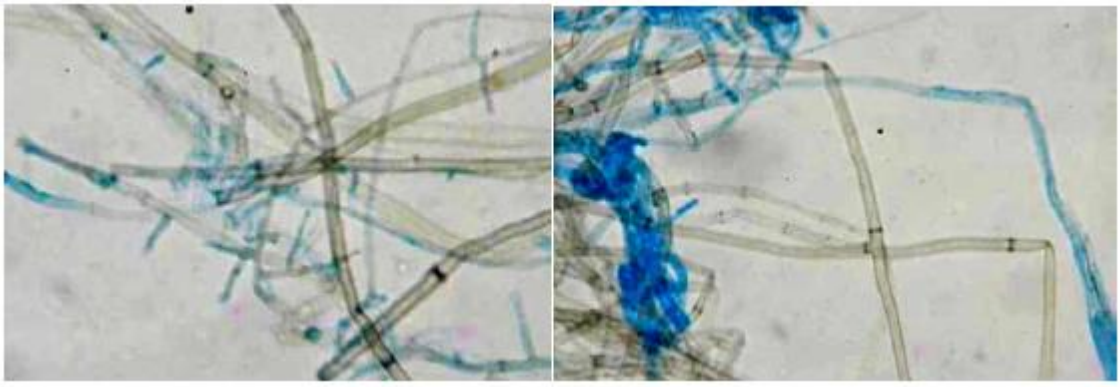
Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

Imagen 18: Microorganismos crecidos en el tratamiento 3 en PDA.



Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

Imagen 19: Micelios de las colonias asociadas al tratamiento 3.

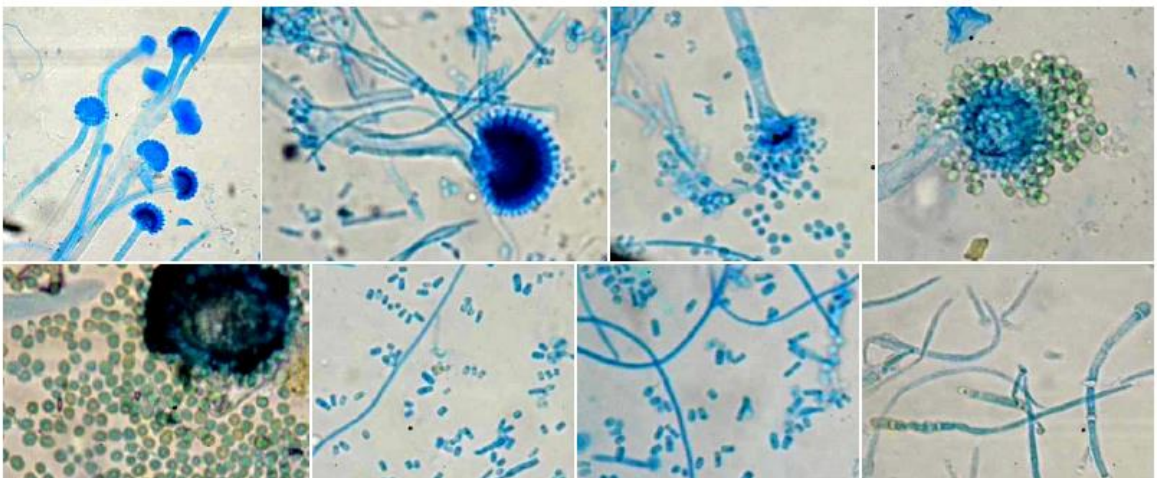


Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

- Evaluación microbiológica tratamiento 4: 50 % Lodo + 50 % Boñiga

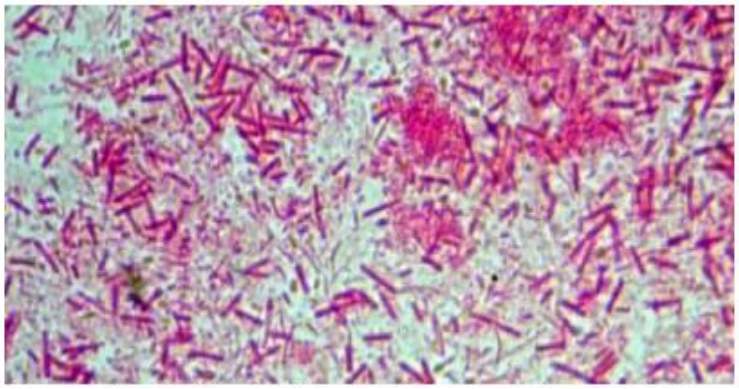
En el tratamiento 4 se encontraron *Aspergillus* sp. *(Eurotiomycete: Trichocomaceae*) a una concentración de $3{,}03x10^3$ UFC/ml, *Graphium* sp. (Moniliales: *Stilbaceae)* a una concentración de $1{,}2x10^3$ UFC/ml y *Chalara* sp. (Chaetosphaeriales: *Chaetosphaeriaceae*) con $9{,}32x10^3$ UFC/ml. En cámara húmeda se encontró *Trichoderma* sp. (Hypocreales: *Hypocreaceae*). La concentración de las colonias bacterianas fue de $9{,}32x10^7$ UFC/ml.

Imagen 20: Microorganismos crecidos en el tratamiento 4 en PDA.



Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

Imagen 21: Tinción de Gram de las colonias asociadas al tratamiento 4.

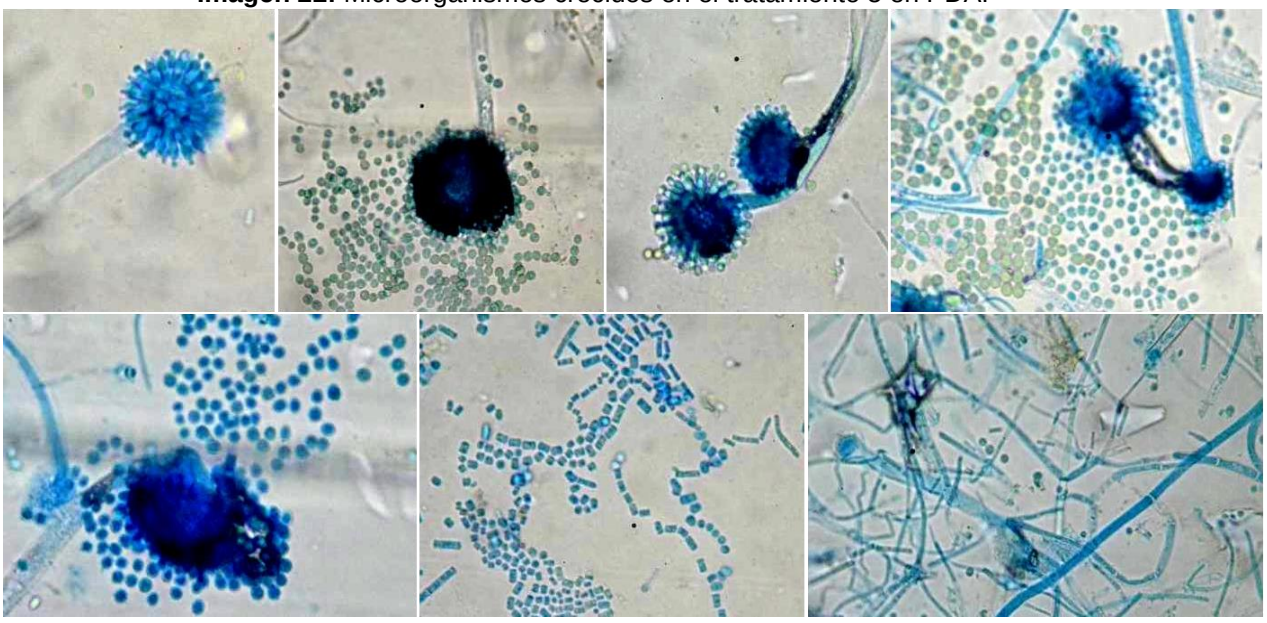


Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

- **Evaluación microbiológica tratamiento 5:** 70 % Lodo + 30 % Boñiga

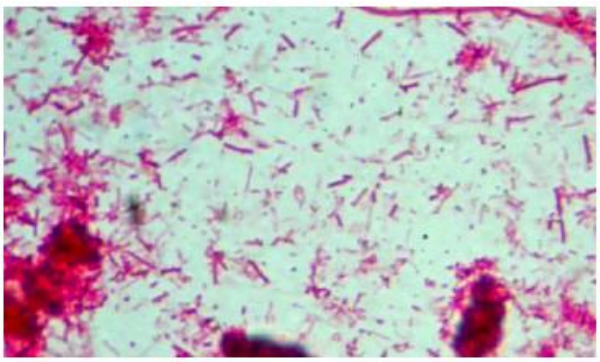
En el tratamiento 5, *Aspergillus* sp. (Eurotiomycete: Trichocomaceae) se presentó a una concentración de $1{,}1x10^4$ UFC/ml, *Chalara* sp. (Chaetosphaeriales: *Chaetosphaeriaceae*) a $2{,}8x10^3$ UFC/ml y las colonia bacterianas a $8{,}95x10^7$ UFC/ml.

Imagen 22: Microorganismos crecidos en el tratamiento 5 en PDA.



Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

Imagen 23: Tinción de Gram de las colonias asociadas al tratamiento 5.



Fuente: Resultados de laboratorio SANOPLANT ubicado en la ciudad de Palmira- Valle del Cauca. Octubre 19 de 2015.

3.3.3. Evaluación de la caracterización y composición microbiológicas de los tratamientos

Para determinar la calidad y composición de los lodos, los parámetros microbiológicos más relevantes referenciados en la normatividad colombiana son para el caso específico de los microorganismo mesófilos aerobios *Salmonella*, coliformes Fecales, mohos y levaduras que se mencionan en la Norma Técnica Colombiana 5167 . Los anteriores grupos de microorganismos se referencian en el decreto "Por el cual se establecen los criterios de calidad y uso para el aprovechamiento de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales para su incorporación al ciclo económico, productivo y se toman otras determinaciones" del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

El condensado de los resultados de los parámetros evaluados se muestra en el cuadro 16 y cuadro 17:

Cuadro 16: Condensado de los resultados de la evaluación de los parámetros microbiológicos de las 5 muestras de sustratos después del tratamiento.

TRATAMIENTO	PARAMETRO	RESULTADOS	METODO ANALITICO
Tratamiento 1 (muestra 1)	Recuento de Enterobacterias	5 UFC / g	NTC-4458
	Recuento en Placa E. coli	Ausencia	ISO-7251
	Salmonella	Ausente en 25 g	NTC-4574
Tratamiento 2 (muestra 2)	Por criterios definidos según resultados en campo, no se evaluaron		
Tratamiento 3 (muestra 3)	Recuento de Enterobacterias	15 UFC /g	NTC-4458
	Recuento en Placa E. coli	Ausencia	ISO-7251
	Salmonella	Ausente en 25 g	NTC-4574
Tratamiento 4 (muestra 4)	Recuento de Enterobacterias	20 UFC / g	NTC-4458
	Recuento en Placa E. coli	Ausencia	ISO-7251
	Salmonella	Ausente en 25 g	NTC-4574
Tratamiento 5 (muestra 5)	Recuento de Enterobacterias	12 UFC /g	NTC-4458
	Recuento en Placa E.coli	Ausencia	ISO-7251
	Salmonella	Ausente en 25 g	NTC-4574

Fuente: Elaboración propia según resultados de laboratorio.

Cuadro 17: Niveles máximos de patógenos según la norma NTC 5167

Microorganismos patógenos	**Límites permitidos**
Salmonella sp. final	Ausente en 25 g de producto
Enterobacterias totales	< 1000UFC/g de producto final

. **Fuente:** Adaptado de la norma NTC 5167,200A4.

Según la NTC 5167 las muestras analizadas cumplen con los requisitos para abono orgánico.

4. ANÁLISIS ESTADISTICO. Diseño estadístico experimental

4.1 ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TRATAMIENTOS PARA NÚMERO DE COCONES

El cuadro 18 muestra diferentes estadísticos de número de cocones para cada uno de los 5 niveles de tratamiento. El sesgo estandarizado y/o la curtosis estandarizada se encuentran fuera del rango de -2 a +2 para los 1 niveles de tratamiento. Esto indica algo de no normalidad significativa en los datos, lo cual viola el supuesto de que los datos provienen de distribuciones normales.

Cuadro 18: Resumen Estadístico para número de cocones**.**

tratamiento	*Recuento*	*Promedio*	*Desviación Estándar*	*Coeficiente de Variación*	*Mínimo*	*Máximo*
A	15	26,4667	23,1173	87,345%	2,0	75,0
B	15	8,4	12,3855	147,446%	0	49,0
C	15	16,0	18,0594	112,871%	0	62,0
D	15	12,0	8,7014	72,5116%	2,0	27,0
E	15	16,5333	10,6695	64,5332%	3,0	38,0
Total	75	15,88	16,2755	102,49%	0	75,0

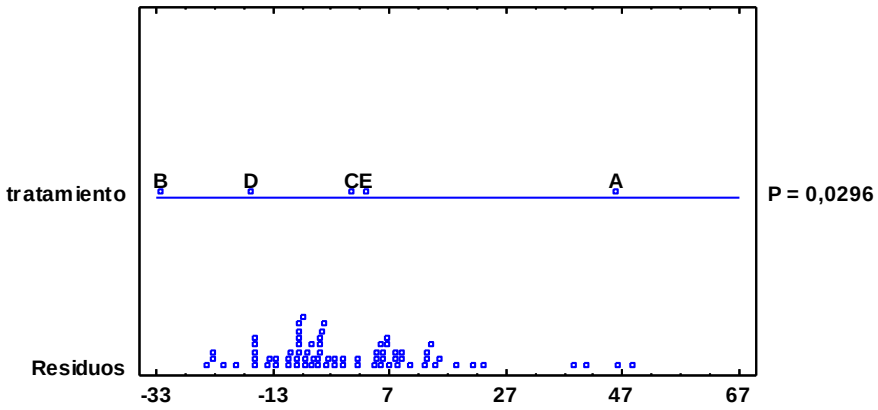
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 18: Continuación. Resumen Estadístico para número de cocones**.**

tratamiento	*Rango*	*Sesgo Estandarizado*	*Curtosis Estandarizada*
A	73,0	1,30174	-0,150118
B	49,0	4,39735	7,15071
C	62,0	1,98193	1,24975
D	25,0	0,850929	-1,13523
E	35,0	0,79306	-0,513821
Total	75,0	5,47996	4,48377

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 8: ANOVA para número de cocones.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 19: ANOVA para número de cocones por tratamiento.

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Entre grupos	2752,85	4	688,213	2,86	0,0296
Intra grupos	16849,1	70	240,701		
Total (Corr.)	19601,9	74			

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 19 muestra los resultados de como la tabla ANOVA descompone la varianza de número de cocones en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 2,8592, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de número de cocones entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95,0 % de confianza.

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó Pruebas de Múltiples Rangos y cuyos resultados se muestran a continuación:

Cuadro 20: Pruebas de Múltiple Rangos para número de cocones por tratamiento. Método: 95,0 porcentaje Duncan**.**

tratamiento	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
B	15	8,4	X
D	15	12,0	X
C	15	16,0	XX
E	15	16,5333	XX
A	15	26,4667	X

Fuente: Elaboración propia.

* indica una diferencia significativa.

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*
A - B	*	18,0667
A - C		10,4667
A - D	*	14,4667
A - E		9,93333
B - C		-7,6
B - D		-3,6
B - E		-8,13333
C - D		4,0
C - E		-0,533333
D - E		-4,53333

En el cuadro 20 se muestran los resultados de aplicar un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. Se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado en esta investigación para discriminar entre las medias es el procedimiento de comparación múltiple de Duncan. Con este método hay un riesgo del 5,0 % al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

4.2. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TRATAMIENTOS PARA PRESENCIA DE CLITELIO POR TRATAMIENTO

Se realizó un análisis de varianza de un factor para presencia de clitelio para los 5 diferentes niveles de tratamiento. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de *Kruskal-Wallis* la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

Cuadro 21: Resumen Estadístico para presencia de clitelio.

tratamiento	*Recuento*	*Promedio*	*Desviación Estándar*	*Coeficiente de Variación*	*Mínimo*	*Máximo*
A	20	19,45	12,4667	64,0961%	5,0	50,0
B	20	8,55	8,38216	98,0369%	0	28,0
C	20	13,8	9,80118	71,0231%	0	35,0
D	20	25,85	19,4294	75,1622%	5,0	60,0
E	20	26,8	24,0232	89,6389%	5,0	80,0
Total	100	18,89	17,1546	90,8132%	0	80,0

Fuente: Elaboración propia.

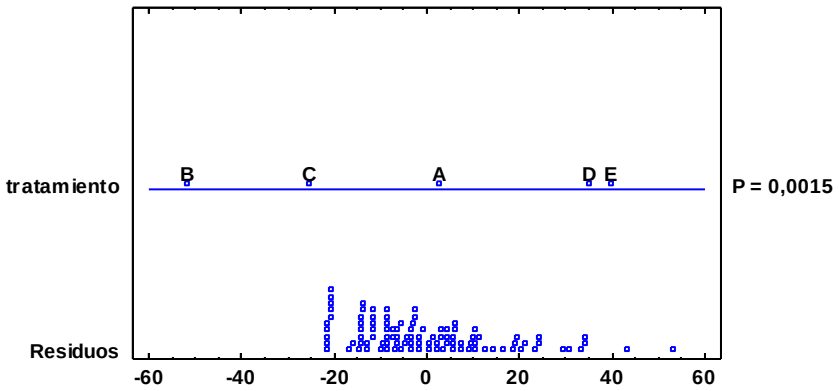
Cuadro 21: Continuación. Resumen Estadístico para presencia de clitelio.

tratamiento	*Rango*	*Sesgo Estandarizado*	*Curtosis Estandarizada*
A	45,0	1,19284	0,196282
B	28,0	2,22245	0,348274
C	35,0	1,30083	0,1501
D	55,0	0,947332	-1,07882
E	75,0	1,82777	-0,236292
Total	80,0	5,71251	3,32782

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 21 muestra diferentes estadísticos para evaluar la presencia de clitelio para cada uno de los 5 niveles de tratamiento. Del análisis se concluye que el sesgo estandarizado y/o la curtosis estandarizada se encuentra fuera del rango de -2 a +2 para los 1 niveles de tratamiento. Esto indica algo de no normalidad significativa en los datos, lo cual viola el supuesto de que los datos provienen de distribuciones normales. Por lo anterior se pudo utilizar la prueba de *Kruskal-Wallis* para comparar las medianas en lugar de las medias.

Grafico 9: ANOVA para presencia de clitelio.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 22: ANOVA para presencia de clitelio por tratamiento.

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Entre grupos	4882,94	4	1220,74	4,78	0,0015
Intra grupos	24250,8	95	255,272		
Total (Corr.)	29133,8	99			

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 22 correspondiente a la prueba ANOVA, muestra los resultados de descomponer la varianza de presencia de clitelio en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 4,78209, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de presencia de clitelio entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó una Pruebas de Múltiples Rangos.

Cuadro 23: Pruebas de Múltiple Rangos para presencia de clitelio por tratamiento. Método: 95,0 porcentaje Duncan.

tratamiento	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
B	20	8,55	X
C	20	13,8	XX
A	20	19,45	XX
D	20	25,85	X
E	20	26,8	X

Fuente: Elaboración propia.

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*
A - B	*	10,9
A - C		5,65
A - D		-6,4
A - E		-7,35
B - C		-5,25
B - D	*	-17,3
B - E	*	-18,25
C - D	*	-12,05
C - E	*	-13,0
D - E		

El cuadro 23 muestra los resultados de aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la tabla muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior del cuadro, se identificaron 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado para discriminar entre las medias fue el procedimiento de comparación múltiple de Duncan. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

4.3. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TRATAMIENTOS PARA PESO EN GRAMO DE LAS LOMBRICES SEGÚN EL TRATAMIENTO

El cuadro 24 muestra diferentes estadísticos de peso en gramo para cada uno de los 5 niveles de tratamiento.

El sesgo estandarizado y/o la curtosis estandarizada se encuentran fuera del rango de -2 a +2 para los 2 niveles de tratamiento. Esto indica algo de no normalidad significativa en los datos, lo cual viola el supuesto de que los datos provienen de distribuciones normales.

Cuadro 24: Resumen Estadístico para peso en g de lombrices.

tratamiento	*Recuento*	*Promedio*	*Desviación Estándar*	*Coeficiente de Variación*	*Mínimo*	*Máximo*
A	20	6,5	4,20976	64,7656%	0,4	19,0
B	20	5,19	5,7053	109,929%	0	19,2
C	20	10,755	6,62837	61,6306%	0	21,5
D	20	12,03	7,37307	61,2891%	3,3	24,2
E	20	11,09	6,50505	58,6569%	2,8	24,3
Total	100	9,113	6,64652	72,9345%	0	24,3

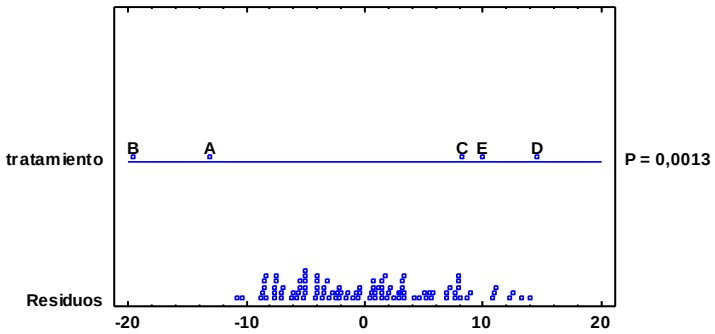
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 25: Continuación. Resumen Estadístico para peso en g de lombrices.

tratamiento	*Rango*	*Sesgo Estandarizado*	*Curtosis Estandarizada*
A	18,6	2,06747	2,87754
B	19,2	2,24941	0,610388
C	21,5	-0,337335	-1,06807
D	20,9	0,379292	-1,35838
E	21,5	0,661107	-0,971755
Total	24,3	2,11266	-1,70588

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 10: ANOVA para peso en gramos de lombrices.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 26: ANOVA para peso en gramos por tratamiento.

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Entre grupos	746,626	4	186,656	4,89	0,0013
Intra grupos	3626,83	95	38,1771		
Total (Corr.)	4373,45	99			

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 26 muestra los resultados al descomponerse la varianza de peso en gramos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 4,88922, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de peso en gr entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó una Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

Cuadro 27: Pruebas de Múltiple Rangos para peso en g por tratamiento. Método: 95,0 porcentaje Duncan.

tratamiento	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
B	20	5,19	X
A	20	6,5	X
C	20	10,755	X
E	20	11,09	X
D	20	12,03	X

Fuente: Elaboración propia.

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*
A - B		1,31
A - C	*	-4,255
A - D	*	-5,53
A - E	*	-4,59
B - C	*	-5,565
B - D	*	-6,84
B - E	*	-5,9
C - D		-1,275
C - E		-0,335
D - E		0,94

* indica una diferencia significativa.

En el cuadro 27 se muestran los resultados de aplicar un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias.

El asterisco que se encuentra al lado de los 6 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. Se identificaron 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de comparación múltiple fue Duncan. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

4.4 ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TRATAMIENTOS PARA NÚMERO DE LOMBRICES SEGÚN EL TRATAMIENTO

Cuadro 28: Resumen Estadístico para número de lombrices por tratamiento.

tratamiento	*Recuento*	*Promedio*	*Mediana*	*Moda*	*Varianza*	*Desviación Estándar*
A	20	44,4	33,5	33,0	890,358	29,8389
B	20	11,9	9,0	2,0	112,937	10,6272
C	20	18,85	15,5		169,818	13,0314
D	20	49,6	50,0		391,516	19,7868
E	20	57,8	54,0		1322,69	36,3689
Total	100	36,51	30,0	30,0	878,252	29,6353

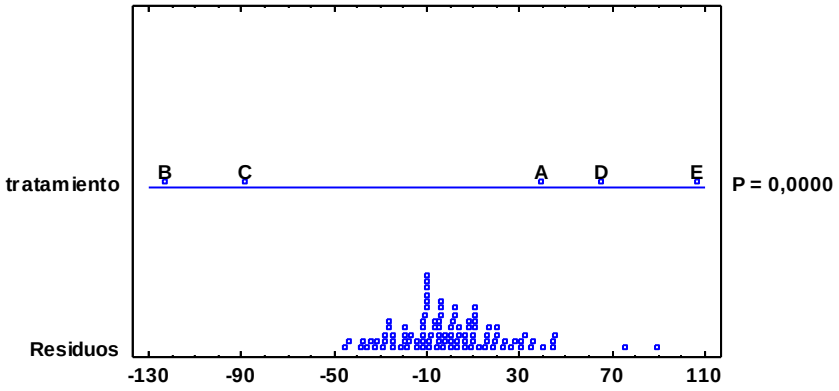
tratamiento	*Coeficiente de Variación*	*Error Estándar*	*Mínimo*	*Máximo*	*Rango*	*Rango Intersextil*
A	67,2047%	6,67217	6,0	120,0	114,0	48,0
B	89,304%	2,37631	0	40,0	40,0	19,0
C	69,1323%	2,91392	0	54,0	54,0	22,0
D	39,8927%	4,42445	21,0	90,0	69,0	38,0
E	62,9219%	8,13233	12,0	147,0	135,0	65,0
Total	81,1704%	2,96353	0	147,0	147,0	57,0

tratamiento	*Sesgo*	*Sesgo Estandarizado*	*Curtosis Estandarizada*	*Suma de Cuadrados*
A	0,888783	1,62269	0,57645	56344,0
B	1,22025	2,22787	1,05819	4978,0
C	1,06382	1,94226	1,41984	10333,0
D	0,270021	0,492988	-0,704235	56642,0
E	0,735749	1,34329	0,0576366	91948,0
Total	1,15549	4,71726	2,57024	220245,

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 28 se muestra diferentes estadísticos para el número de lombrices para cada uno de los 5 niveles de tratamiento. Hay una diferencia de más de 3 a 1 entre la desviación estándar más pequeña y la más grande. El sesgo estandarizado y/o la curtosis estandarizada se encuentran fuera del rango de -2 a +2 para los 1 niveles de tratamiento. Esto indica algo de no normalidad significativa en los datos, lo cual viola el supuesto de que los datos provienen de distribuciones normales.

Grafico 11: ANOVA para número de lombrices.



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 29: ANOVA para número de lombrices por tratamiento

Fuente	*Suma de Cuadrados*	*Gl*	*Cuadrado Medio*	*Razón-F*	*Valor-P*
Entre grupos	32087,8	4	8021,96	13,89	0,0000
Intra grupos	54859,2	95	577,465		
Total (Corr.)	86947,0	99			

.

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 29 muestra que la razón-F, que en este caso es igual a 13,8917, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de número de lombrices entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó una prueba de Múltiples Rangos.

Cuadro 30: Pruebas de Múltiple Rangos para número de lombrices por tratamiento. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

.

tratamiento	*Casos*	*Media*	*Grupos Homogéneos*
B	20	11,9	X
C	20	18,85	X
A	20	44,4	X
D	20	49,6	X
E	20	57,8	X

Fuente: Elaboración propia.

* indica una diferencia significativa.

Contraste	*Sig.*	*Diferencia*	*+/- Límites*
A - B	*	32,5	21,1314
A - C	*	25,55	21,1314
A - D		-5,2	21,1314
A - E		-13,4	21,1314
B - C		-6,95	21,1314
B - D	*	-37,7	21,1314
B - E	*	-45,9	21,1314
C - D	*	-30,75	21,1314
C – E	*	-38,95	21,1314
D – E		-8,2	21,1314

El cuadro 31 muestra los resultados de realizar un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El asterisco que se encuentra al lado de los 6 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. Se identificaron 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa fue (HSD) Tukey. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

5. DISCUSIÓN RESULTADOS

5.1. CARACTERISTICAS DEL MATERIAL A COMPOSTAR

Para mejorar la técnica de obtención de abono orgánico a partir de lodos provenientes de la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. se debe realizar un buen control del proceso desde el inicio hasta el final del mismo, garantizando así resultados óptimos en rendimiento y calidad.

5.1.1. Características físico químicas

El análisis físico-químico mostró que el lodo generado en la empresa PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. correspondiente a los tratamientos 1 (100 % lodos) y 5 (30 % boñiga – 70% lodos) tienen potencial agronómico para ser usados como abono o enmienda orgánica.

- pH

Las mediciones de pH mostraron que los residuos de las muestras son ligeramente básicos oscilando en un rango de 6,82 y 7,5 principalmente. Se cumple entonces con lo establecido en la NTC 5167 al estar en los rangos de 4 y 9.

En cuanto al pH, las condiciones óptimas de los procesos de biotransformación con lombriz roja californiana el pH recomendado es 7,0 ya que pueden llegar a soportar pH ácidos hasta 5,5 y alcalinos de 8,5, arriesgando la productividad de la lombriz. Según Castillo (2010) las lombrices presentan una mayor eficiencia cuando el pH del sustrato está entre 6,5 a 7,5. A medida que el sustrato va pasando por el tracto digestivo de las lombrices, este pH empieza a cambiar ligeramente.

Probablemente el pH del sustrato no es un indicador importante de la madurez o estabilidad de un lombricompost (compost), pero si es determinante para el normal desarrollo de las lombrices dentro del sustrato. Además las lombrices son capaces de digerir la mayoría de los desechos orgánicos y por la presencia de las glándulas de Morren, pueden regular un poco el pH del sustrato. Sin embargo algunos materiales como la pulpa de naranja o piña con pH inicial de 3 a 3.5 no permitirán el desarrollo de las lombrices hasta 2 a 3 semanas después en que el pH sea naturalmente regulado. Después de dos semanas las lombrices son capaces de adaptarse y lograr una descomposición total de los materiales tal como lo plantean Castillo y Taco (2010).

Normalmente en el proceso de compostaje se da una caída del pH en la fase inicial, debido a la liberación de ácidos orgánicos de la materia orgánica. Conforme el proceso de descomposición continua, estos ácidos orgánicos son descompuestos liberándose bases y altos contenidos de amoniaco que ayudan a elevar el pH. En compostaje de broza de café reportaron un incremento del pH desde 4.4 hasta 8.25 en el producto final. Estos incrementos pueden llegar a niveles como el reportado

en compost de desechos de banano, donde encontraron pH finales hasta de 12 (Soto, 2003).

- Humedad

Uno de los factores más importantes en el proceso de compostaje es la humedad, pues si está baja los microorganismos no se desarrollan por no tener el agua suficiente para su metabolismo, disminuyendo la actividad microbiana en este tipo de proceso y si por el contrario, es muy alto, desplaza el aire saturado de agua (Uribe, José. F. at el. 2001).

El contenido de humedad para los tratamientos estuvo entre 60% y 75%. El contenido de humedad se considera alto, teniendo en cuenta que el límite permisible máximo es de 35%. Según Salamanca (2012), algunas calidades comerciales de compost presentan solamente 15% de humedad, por lo cual es conveniente disminuir su contenido, y realizar tratamientos adicionales, tales como solarización en condiciones controladas para deshidratar y quitar humedad al producto final antes de ser utilizado en campo, o en su defecto más volteos por semana.

Las lombrices requieren condiciones ambientales óptimas para su buen desarrollo, uno de estos factores es la humedad, dado que la lombriz requiere de un buen nivel para la alimentación y la respiración, las humedades superiores al 80% les generaría la muerte. En la misma medida se encuentra la temperatura, la cual presenta un rango muy limitado entre 20 y 33 grados centígrados (Soto, 2003).

- Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico es una de las propiedades más importantes por ser una medida indirecta del grado de humificación. La materia orgánica (compost) funciona como " intercambiador"; de tal modo , que los cationes aplicados a través de fertilizantes interaccionan con los cationes intercambiables del suelo quedando protegidos del lavado, pero aun, disponibles para las plantas (GIEM,1999). El contenido de bases intercambiables (Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} y Na^{+}), depende de los materiales usados como materia prima en la elaboración del compost, la descomposición y mineralización del mismo. Este contenido es más alto a un pH mayor de 6,6 que a un pH menor (Uribe, José. F. at el 2001).

Para los tratamientos, las mediciones de la conductividad eléctrica que oscilaron entre 14 y 21 meq/100g indicaron que se tienen muestran con un valor bajo según la NTC 5167 que establece un mínimo de 30 meq/100g para el total de los tratamientos. La muestra que presenta un valor próximo a lo establecido en la norma es el tratamiento 5, con un valor de 21 meq/100g.

- Relación Carbono / Nitrogeno

Si se relaciona el aporte de carbono de los diferentes tratamientos el contenido final de carbono del tratamiento 1 (100% lodos) es un producto con mayor contenido de carbono orgánico, seguido del tratamiento 5 (70% lodo y 30% boñiga).

Según los resultados de laboratorio, el contenido de nitrógeno para la muestra 1 es de 1,02 %; mientras que para los tratamientos 3,4 y 5 está en rangos de 0,81 a 0,90 %;, los cuales se encuentra por fuera de los rangos recomendados para un compost según la NTC 5167. Este déficit de nitrógeno en los ensayos hace que la relación carbono / nitrógeno este fuera de los parámetros de la NTC 5167.

La relación carbono /nitrógeno es otro factor dentro del proceso por la necesidad de carbono por parte de los microorganismos como fuente de energía y del nitrógeno como elemento básico en la formación de proteínas y otros constituyentes del protoplasma celular.

La mayoría de microorganismos usan 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno, por lo que una relación carbono/nitrógeno de 30 es la más conveniente para una fermentación eficiente, aunque se habla de compostajes eficientes con relación de 26:1 y hasta 35: 1. La proporción 20:1 debe considerarse como la mínima ya que más bajas (aunque pueden acelerar el proceso), también producen olores desagradables, pues el carbono disponible es completamente utilizado por los microorganismos, generando una desestabilización del nitrógeno creando excesos de este elemento que van a perderse a la atmosfera en forma de amoniaco. Una mezcla de materiales con una relación carbono /nitrógeno alta, por encima de 40 requieren de un mayor tiempo para la estabilización del compost, pues los microorganismos tienen que utilizar todo el exceso de carbono que esté presente (Uribe, José. F. at el. 2001).

Los residuos de origen vegetal presentan por lo general una relación C/N elevada; por su parte los residuos de origen animal presentan una relación más baja de C/N. La relación carbono/nitrógeno medida antes del ensayo fue de 13. Los resultados finales de la relación carbono/nitrógeno en este ensayo fueron para los tratamientos 1- 3 - 4 y 5 de 12,91 - 12,32 – 12,71 y 14,1 respectivamente, siendo el tratamiento 5 quien presentó mejor relación C/N.

Lo anterior indica que hay más carbono que nitrógeno y el cual está por debajo de los niveles presentados por Quintana Valencia (2012) quien realizó un estudio para la viabilidad técnica de compostaje a partir de biosólido seco y definió algunos valores para la relación C/N de algunos materiales, entre ellos el del estiércol de vaca y desechos de frutas con valores de 28 y 34,8 respectivamente (Anexo L). Sin embargo, el valor presentado durante el ensayo para el tratamiento 5 se acerca al valor mínimo recomendado por Sarria y R (2004) quienes recomiendan valores entre 15 y 25.

Con respecto al balance de nutrientes se menciona que debido a que la relación C/N no es muy alta según la información presentada en los párrafos anteriores, es necesario realizar mezclas entre los materiales (lodos, boñiga más residuos de poda) debido a que los materiales con relativo alto contenido de carbono deben de mezclarse con materiales con relativo alto contenido de nitrógeno y viceversa (Quintana Valencia, 2012).

- Presencia de elementos principales: N,P,K (Nitrógeno, Fósforo y Potasio)

Las concentraciones de nitrógeno[6], fósforo[7] y potasio[8] se encuentran alrededor del 0,89 % - 0,94 % y 1,28 % respectivamente para el promedio de las concentraciones de los tratamientos. Sin embargo, para los mejores tratamientos, correspondientes a T1 y T5 los valores oscilan entre el 1 % - 1,3 % y 1,5 % respectivamente, por lo que se identifican en este estudio valores similares a lo observado por Torres y colaboradores, quienes encontraron concentraciones de 2,37 % - 0,87 % y 0,1 % para el nitrógeno, el fósforo y el potasio en biosólidos generados en la PTAR Cañaveralejo de Cali (Torres at el, 2005).

En los tratamientos restantes el compost se clasifica como un acondicionador de suelos más que como un abono, para ser clasificado como abono tendría que tener niveles elevados de nitrógeno, potasio y fósforo. El compost aporta estos elementos y otros, entregándolos lentamente pero en forma sostenida, aumentando la disponibilidad de estos en el suelo.

Sin embargo, se reconoce que el lombricompost obtenido en el ensayo puede ser utilizado como abono orgánico en las actividades que desarrolla el Vivero el Rosal para el cultivo de algunas especies de plantas ornamentales , ya que las concentraciones de N, P y K presentes en los tratamientos complementan los requerimientos nutricionales dentro de las funciones básicas de las especies vegetales, favorecen su desarrollo, aumentando la resistencia de las enfermedades, cuajado y maduración de los frutos; formación de la clorofila y la actividad fotosintética de las plantas y su crecimiento. Añadido a lo anterior, se aclara que el lombricompost no podría ser comercializado según la NTC 5167 al no cumplir con las concentraciones reglamentados.

- ✓ **Nitrógeno**

Según los resultados de laboratorio de suelos el contenido de N en el total de los tratamientos está entre el 0,81% y 1,02% los cuales se encuentran por fuera de lo restablecido en la NTC 5167, excepto para el tratamiento 1, quien excede en 0,2 % lo mínimo establecido en la norma. Sin embargo si se comparan los resultados de los tratamientos 3, 4 y 5 frente a los valores recomendados por Sarria y R (2004)

[6] Concentraciones de Nitrógeno según tratamiento: **T1**: 1,02% **T3**: 0,81% **T4:** 0,86% **T5**: 0,90%
[7] Concentraciones de Fósforo según tratamiento: **T1**: 1,39% **T3**: 0,60% **T4:** 0,72% **T5**: 1,06%
[8] Concentraciones de Potasio según tratamiento: **T1**: 1,52% **T3**: 0,96% **T4:** 1,44% **T5**: 1,21%

que establecen valores entre 0,8 y 1,5 , el lombricompost seria apto como abono orgánico y comercialización.

- ✓ **Fósforo**

Según los resultados de laboratorio de suelos el contenido de P la muestra con mayor cantidad de fósforo correspondió al T1 con una concentración de 1,39 %, estando por encima de lo establecido en la NTC 5167 que corresponde a un valor de mínimo requerido de 1%.

El P un nutriente importante por estar implicado en numerosas funciones en las plantas. Podemos destacar, entre todas ellas, que es el componente esencial en las enzimas vegetales implicadas en la transferencia de energía de los procesos metabólicos, presente en los ácidos nucleicos, azúcares y ácido fítico, participa en la fotosíntesis y respiración, es un componente esencial en la membrana celular, favorece el desarrollo radicular, durante la floración favorece la maduración de los frutos, Cuando este es deficiente, la planta es más débil, no crece al mismo ritmo, no desarrolla sus raíces, se retrasa la floración y la maduración de los frutos y las plantas son menos resistentes al frío.

- ✓ **Potasio**

Según los resultados de laboratorio de suelos el contenido de K la muestra con mayor cantidad de K correspondió al T1 con una concentración de 1,52 %, estando por encima de lo establecido en la NTC 5167 que corresponde a un valor de mínimo requerido de 1%.

Una buena relación del potasio es esencial para todos los microorganismos vivos, además de la importancia en la actividad enzimática; este elemento ayuda en la síntesis de proteínas y carbohidratos. El potasio presente en el lodo favorece principalmente al crecimiento de las plantas, en la recuperación del suelo aporta una mínima cantidad ya que las plantas son las encargadas de extraer el potasio. Además de esto el potasio cumple la función de mejorar la calidad y producción en el cultivo de flores, actúa en diversos procesos metabólicos como la fotosíntesis; la ausencia de este elemento produce vulnerabilidad a enfermedades y sequías (Asocolflores, 2009).

- ✓ **Calcio**

Según los resultados de laboratorio de suelos el contenido de Ca para la muestra con mayor cantidad correspondió al T5 con una concentración de 1,93 %. Para Sarria y R (2004) el Ca debe tener una concentración entre 2,12 y 2,58 % por lo que los tratamientos T1,T3,T4 y T5 estarían por debajo del valor recomendado, con concentraciones entre 0,87 y 0,93 % (Anexo LL). A la hora de utilizar el abono orgánico se deben aplicar otras concentraciones foliares para complementar las deficientes en este elemento, pues el calcio por su parte se requiere en grandes

cantidades para las bacterias fijadores de nitrógeno, además en las plantas estimulan el desarrollo de raíces y hojas.

Según la resolución ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) 0375 de 2004 las concentraciones de Ca para las muestras T1,T3,T4, y T5 están dentro de lo reglamentado (Anexo M)

- Presencia de elementos secundarios: Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Boro (B), Cobre (Cu),

Según los resultados presentados, se observa que los oligoelementos Fe, Mn, Cu, Zn y B presentan aportes que aunque no son exigidos en los materiales orgánicos según la NTC 5167 son importantes para mejorar el desarrollo de las plantas.

Sin embargo, según la resolución ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) 0375 de 2004 las concentraciones deben ser menores a 10,000 para el Fe; estar entre 100 y 350 ppm para el Mn; ser menores a 30 ppm para el Cu ; estar entre 250 y 450 para el Zn y menores de 60 para el caso del B.

De lo anterior se concluye que el Fe, Cu y B cumplen en sus concentraciones para la totalidad de las muestras. Para el caso del Mn y el Zn ningún tratamiento cumple con lo establecido en la resolución ICA.

- Número de cocones y lombrices; presencia de clitelio y peso en gramo de las lombrices

Uno de los factores de evaluación de calidad del compost planteados en la investigación fue el número de cocones, la presencia de clitelio, el número de y peso en gramos de las lombrices según cada tratamiento.

Según las pruebas de múltiples rangos (Duncan) en la variable número de cocones entre los tratamientos, se encontraron dos diferencias significativas entre el número de cocones del tratamiento 1 (100 % lodos) y el tratamiento 2 (100 % boñiga) y entre los tratamientos 1 (100 % lodos) y el 4 (50% lodos y 50% boñiga) lo cual respondió a la hipótesis alternativa (Ha) : el número de cocones es diferente en al menos un par de tratamientos, con un nivel de confianza del 95%.

Para la variable presencia de clitelio, las pruebas de múltiples rangos (Duncan) se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos 1 (100 % lodos) y 2 (100 % boñiga); 2 (100 % boñiga y 4 (50% lodos y 50% boñiga); 2 y 5 (70 % lodos y 30% boñiga); 3 (30 % lodos y 70% boñiga) y 4; y 3 y 5 (70 % lodos y 30% boñiga). Lo cual respondió a la hipótesis alternativa (Ha): la presencia de clitelio es diferente en al menos un par de tratamientos, con un nivel de confianza del 95%.

Por su parte para la variable peso en gramo de las lombrices , las pruebas de múltiples rangos (Duncan) se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos 1 (100 % lodos) y 3 (30 % lodos y 70% boñiga); entre el tratamiento 1

(100 % lodos) y el 4 (50% lodos y 50% boñiga); entre el tratamiento 1 (100 % lodos) y 5 (70 % lodos y 30% boñiga) ; entre los tratamientos 2 (100 % boñiga) y 3(30 % lodos y 70% boñiga) ; tratamientos 2 (100 % boñiga) y 4 y finalmente entre los tratamientos 2 (100 % boñiga) y 5 (70 % lodos y 30% boñiga). Lo cual respondió a la hipótesis alternativa (Ha): el peso en gramo de las lombrices es diferente en al menos un par de tratamientos, con un nivel de confianza del 95%.

Respecto al número de lombrices, las pruebas de múltiples rangos (Duncan) en la variable, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos 1 y 2; 1 y 3; 2 y 4; 2 y 5; 3 y 4 y finalmente entre los tratamientos 3 y 5. Lo cual respondió a la hipótesis alternativa (Ha): el número de las lombrices es diferente en al menos un par de tratamientos, con un nivel de confianza del 95%.

Según el análisis estadístico se concluye que los mejores tratamientos fueron las muestras 1,4 y 5 lo que es coherente con los resultados de los análisis físicos y químicos presentados.

5.1.2.Características microbiológicas

Aunque el análisis de la composición físico-química de los lodos generados en la empresa PPRODUCTORA DE JUGOS S.A.S, favorece su potencial aplicación en suelos[9] y pese a que en esta investigación no se encontraron concentraciones de Enterobacterias y *Salmonella spp*. superiores a los valores recomendados en la NTC 5167, se reconoce que hay un riesgo potencial que aunque bajo, que podría representar la disposición inadecuado de éste material orgánico según lo plantea la NTC 5167.

El compostaje es un proceso dinámico debido a las actividades combinadas de una amplia gama de poblaciones de microorganismos que varían dependiendo de los sustratos y de las condiciones que se van dando en el proceso (Sarria y Rodríguez, 2004).

La relación de temperaturas de los tratamientos, que oscilaron entre los 22,08 y 22,70 ºC , con el crecimiento, muerte y latencia de los microorganismos encontrados en las muestras, evidencia que no se presentan las temperaturas optimas de crecimiento para coliformes fecales según Quintana (2012) que está entre los 25-40 ºC (LATENCIA >20 ºC ; MUETRE <50 ºC) ni de *Salmonella s.p* que corresponde a temperaturas entre los 35-45 ºC (MUERTE <55 ºC) aunque se reportaron en el informe microbiológico.

Con los valores de temperatura promedio alcanzadas por los tratamientos, se define que las temperaturas están por debajo de los rangos que la literatura sugiere que son de 40 ºC a 55 ºC para lograr un compostaje menor a los 30 días. Por las

[9] Sin embargo, su aplicación directa debe ajustarse a las indicaciones de la norma EPA o debe ser sometido a procesos adicionales de sanitización antes de ser aplicado en suelos o plantas y de esta forma cumplir con lo establecido en la NTC 5167.

temperaturas bajas la actividad de los microrganismos que intervienen en el `proceso puede decaer y alargar el proceso de compostaje.

Se reconoce que durante el proceso de compostaje se crea un micro-hábitat con características muy diferentes del entorno y en el cual aparecen microorganismos que se adaptan a las condiciones y etapas del compost. Tales organismos son entre otros las bacterias y los hongos. Las bacterias son los organismos más pequeños, numerosos y los primeros en comenzar el trabajo; desempeñan el papel más destacado en la descomposición de la materia ya que poseen una amplia gama de encimas capaces de romper químicamente una gran variedad de compuestos orgánicos. Por su parte los hongos son responsables de descomponer polímeros vegetales complejos, demasiado secos, ácidos o pobres en nitrógeno para ser descompuestos por bacterias, permitiendo a estas continuar el proceso de descomposición una vez que la mayor parte de dichos polímetros han sido degradados. La mayoría viven en las capas externas del compost cuando la temperatura es alta, creciendo en forma de filamentos, formando colonias blancas o grises de textura aterciopelada en la superficie de la pila.

Los informes de laboratorio reportaron grupos de actinomicetos que son los que dan el olor característico a tierra ya que son especialmente importantes en la formación del humus; son hongos filamentosos, sus encimas les permiten romper químicamente residuos ricos en celulosa, lignina, quitina y proteínas. Con frecuencia producen antibióticos que inhiben el crecimiento bacteriano. Poseen forma alargada con filamentos que se extienden como telas de araña grises, suelen aparecer al final del proceso de descomposición en los primeros 10-15 centímetros de la superficie de la pila tal como lo reporta Quintana (2012).

5.1.3. NTC 5167 de 2004

Antes que puedan ser utilizados beneficiosamente los biosólidos se debe consultar La NTC 5167 (2004), donde se describen los requisitos para la aplicación segura de los biosólidos en terreno. La NTC 5167, es la Norma Técnica Colombiana, que establece los requisitos que deben cumplir, y los ensayos a los cuales se deben someter los productos orgánicos utilizados como abonos fertilizantes o enmiendas de suelo (Anexo N)

Según la norma NTC 5167, no se puede clasificar con exactitud este compost como abono orgánico, dado que no cumple con todas de las especificaciones requeridas para aplicarlo en suelos de actividad agrícola, según la norma técnica colombiana existen unos valores mínimos de riqueza que no son alcanzados por los tratamientos. Sin embargo se definen los tratamientos 1, 4 y 5, como potencial de abono orgánico y ser empleado en el Vivero el Rosal para tratamiento nutricional de especies vegetales ornamentales.

6. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

6.1. ESTRATEGIA DE INTERVENCIÓN. Valoración de la implementación del proyecto a tres años.

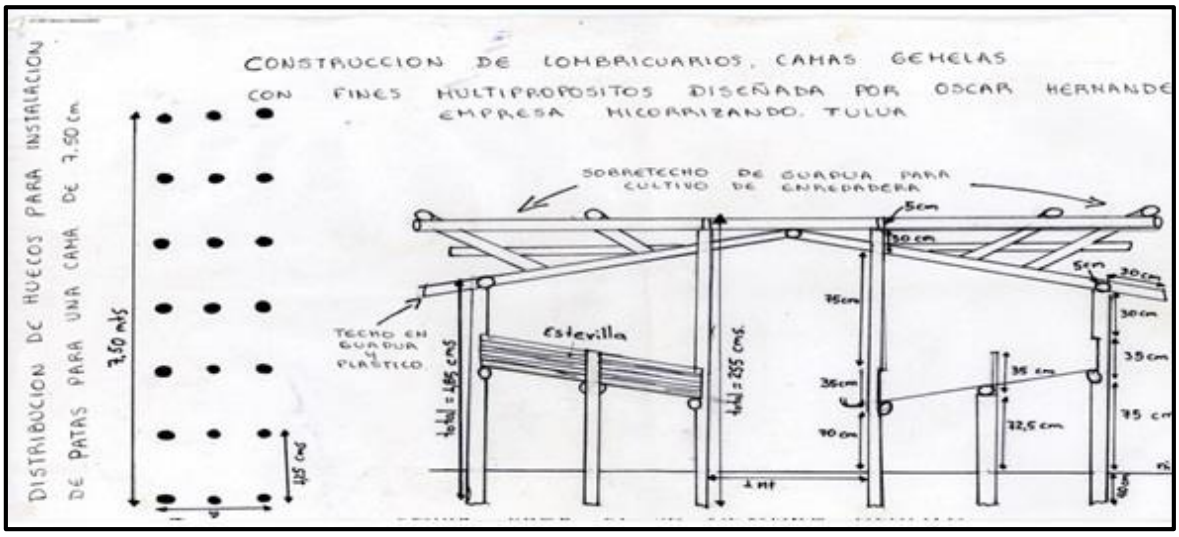
Con base en los resultados del montaje experimental se plantea que la Productora de Jugos S.A.S. puede establecer asociación con el Vivero el Rosal, como estrategia para aprovechar los lodos generados y garantizar su buena disposición. Lo anterior, teniendo en cuenta que el vivero tiene un montaje hecho para la obtención y transformación de desechos orgánicos que podrían ser utilizados para este fin ahorrando parte del diseño.

Se debe tener en cuenta que el área destinada para el lombricultivo debe ser delimitado con mallas para evitar el acceso de aves que se puedan alimentar de lombrices. A continuación se muestran las dimensiones de la infraestructura actual en El Vivero el Rosal para abono orgánico:

- ✓ **Ancho terreno:** 13 m largo: 20 m
- ✓ **Distancia a los lechos**: 1,50 m
- ✓ **Altura de las camas** : 0,70 m ancho ; 1,20 m largo ; 20 m alto
- ✓ **Espacio**: entre pasillos es de 1m.
- ✓ **Elevación central del techo:** 2,25 m
- ✓ **Elevación de extremos del techo:** 1,85 m
- ✓ **Cuarto de almacenamiento:** 3 m de ancho y 2 m de alto.

- **Requerimientos de infraestructura**:

Imagen 24: Diseño área destinada al lombricultivo. Requerimientos de infraestructura para la ejecución del proyecto



Fuente: Elaboración propia con asesoría del propietario de la Hacienda la Margarita – Tuluá, Valle del Cauca.

En el cuadro 31 se muestra la generación de lodo mensual. Para la construcción del montaje definitivo se tiene en cuenta el volumen de lodo generado en el mes más alto y con base en esta cifra se designan las camas necesarias para la transformación del lodo en abono orgánico (Anexo O)

Cuadro 31: Cantidad de lodo generado mensualmente y número de viajes a disponer por la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S.

MES	CANTIDAD DE LODOS EN KILOGRAMOS	CANTIDAD DE LODOS EN TONELADAS	FLETES
mes 1	29.410	29,41	6
mes 2	30.180	30,18	5
mes 3	10.930	10,93	2
mes 4	18.420	18,42	3
mes 5	28.940	28,94	7
mes 6	39.720	39,72	6
mes 7	7.500	7,5	2
mes 8	6.050	6,05	2
mes 9	10.320	10,32	3
mes 10	3.840	3,8	1
mes 11	4.100	4,1	2
mes 12	10.090	10,09	3

Fuente: Elaboración propia según datos proporcionados por la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. Anexo M.

Se puede observar que la cantidad de lodo no es constante y que por esta razón se debe tener en cuenta en los cálculos estimativos y así tomar como base el mínimo de producción para los ingresos por venta del producto y recuperación del capital invertido, el máximo se toma como base para la construcción del montaje definitivo (Anexo P).

Dimensión de las camas: las dimensiones definidas para la construcción de las camas se llevaron a cabo mediante los siguientes cálculos.

Generación máxima de lodos = 39.720 Kg
Densidad del lodo = 860 Kg/m^3
V=m/d V=46 m^3

Se toma como referencia el mes de Junio, ya que fue el mes con mayor generación de lodos residuales. Según el volumen máximo de lodos residuales se sugieren las siguientes dimensiones para la construcción de las camas.

- ALTERNATIVA UNO: Las dimensiones deben tener las siguientes medidas según el volumen 3 m de ancho por 0,60 m de alto por 25 m de largo.

- ALTERNATIVA DOS: Dos camas de 1.5 de ancho, 0,60 de alto y 25 m de largo, con un camino de 3 metros.

- Producción de abono estimado en el montaje definitivo.

Para obtener un estimado de la cantidad de abono producido por el montaje definitivo, se toma como base el montaje experimental y se realiza una proyección que se presenta a continuación. Los cálculos de producción de abono se realizaron con el montaje experimental. Los datos obtenidos en este montaje serán la base para lograr un estimado de la producción de abono que se obtendrá en el montaje definitivo. Al finalizar el ensayo se obtuvieron 228 gramos eso equivale al 57 % de la muestra inicial (400 g).

- Producto de abono montaje experimental.

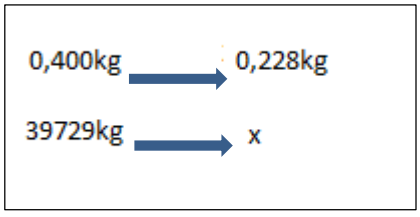
Los cálculos que se tienen en cuenta en la producción de lodo mensual en la PTAR son equivalentes a 39.720 Kg de lodo. Los resultados arrojados por el montaje experimental detallan que el lodo al ser estabilizado y convertido en abono orgánico tiene una reducción de 43 % aproximadamente en el cual se obtiene el 57 % de abono. En este montaje se depositaron 0,400 kg de lodo y se obtuvieron 0,228 kg de abono.

- Generación de abono para montaje definitivo.

La generación de abono del montaje definitivo fue calculada con base en el mes que se presenta mayor producción de lodo al año. Esta base sólo se toma para calcular el espacio que se requiere para la construcción del montaje definitivo como se presenta en los siguientes cálculos. Cálculos para definir las dimensiones del montaje definitivo con máxima de generación de lodos.

X=22,646 kg

X=22 toneladas



Cuadro 32: Cantidades de generación de lodos para capacidad de infraestructura.

Máximo de lodo a estabilizar	Generación de abono	Porcentaje de abono	Reducción de lodo
39.720 kg	22 toneladas	57%	43%
mínimo de lodo a estabilizar	generación de abono	porcentaje de abono	reducción de lodo
3.840kg	2 toneladas	57%	43%

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 32 se expresa la cantidad de lombricompuesto producido. El costo que se estima está guiado por los precios con los que actualmente se comercializa el producto en el mercado. Los valores máximos de producción serán tomados para la construcción de la infraestructura y los valores mínimos para recuperación del capital invertido en la venta y comercialización.

6.2. ANÁLISIS DE COSTO/BENEFICIO DEL PROYECTO

- Costos del proyecto

La valoración de los costos de inversión, operación, y manutención, se realiza principalmente a través de los precios de mercado y lo establecido en las leyes colombianas. Los cuadros 33 al 40 muestran datos de costos y de producción derivados del proyecto. Se muestra, por ejemplo, el costo al que se comercializará el abono por cantidad de unidades y el costo por unidad. Se valoraron los costos de comercialización con el mes de mayor producción de lodos.

Cuadro 33: Costos de dotación y salario de un empleado para la manutención de biotransformación de lodos por medio de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

COSTO EMPLEADO MES		
Item	**COSTO MES**	**COSTO AÑO**
Sueldo mes (2 horas al día* 15 días)	**$ 359.000**	**$ 4.308.000**
Cesantías (8.33%)	**$ 29.905**	**$ 359.000**
Salud ocupacional + Seguridad Industrial	**$ 35.000**	**$ 420.000**
Prima (8.33%)	**$ 29.905**	**$ 359.000**
Vacaciones (4.16%)	**$ 13.395**	**$ 160.742**
Interés cesantías (1%)	**$ 3.590**	**$ 43.080**
Salud (8.5%)	**$ 27.370**	**$ 328.440**
Pensión (12%)	**$ 38.640**	**$ 463.680**
Arl (2.436%)	**$ 7.844**	**$ 94.127**
CCF (4%)	**$ 12.880**	**$ 154.560**
ICBF (3%)	**$ 9.660**	**$ 115.920**
SENA (2%)	**$ 6.440**	**$ 77.280**
TOTAL MES	**$ 573.629**	
TOTAL AÑO		**$ 6.883.829**
2. DOTACIÓN EMPLEADO AÑO		
Ítem	**Unidades**	**Valor Total**
Pantalones	3	60.000
Busos	6	108.000
Botas	2	100.000
EPP (elementos de protección personal)	3	120.000
	SUBTOTAL	**388.000**
	TOTAL AÑO	7’271,000

FUENTE: Propia

Cuadro 34: Producción de abono y precios para la comercialización con el máximo de lodo generado.

Producción de lombricompuesto / costo unitario y por tonelada			
Ítem	**unidades**	**Costo unidad**	**Costo total**
bolsa de lombricompuesto x 25kg	40	13.000	520.000
Bolsa de lombricompuesto x 50Kg	20	25.000	500.000
Toneladas de lombricompuesto	22	235.000	5´170.000

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 35: Producción de abono, y precios para la comercialización con el mínimo de lodo generado.

Producción de lombricompuesto / costo unitario y por tonelada			
ITEM	**Unidades**	**Costo Unidad**	**Costo Total**
Bolsa de lombricompuesto x 25Kg	40	13.000	520.000
Bolsa de lombricompuesto x 50Kg	20	25.000	500.000
Toneladas de lombricompuesto	2	235.000	470.000

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 36: Costos por la compra de costales para la venta del producto

Consumo de Unidades de costales x 25Kg			
ITEM	**Uni**	**Costo Unidad**	**CostoTotal**
Costal x 25 Kg x 1 Tonelada de Lombricompuesto	40	454,72	18.188,80

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 37: Costos de inversión para montaje definitivo**.**

INVERSIÓN	COSTOS
Infraestructura	14’000.000
Báscula	1'710,000
Selladora	1'646.000
Yoyoenvolvente	590.000
Lombriz(ton)	500.000
Dotación	388.000
Licencia para venta de abono	1'062,400
Licencia comoproductor	796.000
TOTAL	20’692,400

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 38: Costos de operación del montaje definitivo

OPERACIÓN	COSTOS
SUELDOS + DOTACIÓN (año)	7’271,000
COSTALES (960 de 50 Kg para 24 Ton/año)	436,531
HILO PARA COSERCOSTALES	6.800
TOTAL	**$7’714,331**

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 39: Gastos actuales por la disposición final de lodos.

GASTOS ACTUALES	COSTOS
DISPOSICIÓN DE LODOS POR TON(año)	4'061.128
VIAJES LODO(año)	6'820.000
TOTAL	10'881.128

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 40: Costos de operación general del centro de lombricultivo lodos.

ACTIVIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO ($)	VALOR PESOS Año 1	VALOR PESOS Año 2	VALOR PESOS Año 3
Costo manejo operativo	Operario	605,916	7'271.000	7'271.000	7'271.000
Costos por la compra de costales	Costal	454,72	145510	18.188.80	18.188,80
Servicios públicos	Agua de pozo y energía	100,000	**1.200.000**	**1.200.000**	**1.200.000**
Desinfección[10]	Tonelada	30,000	**480000**	**720000**	**720000**
TOTAL			**9`096.510**	**9`209.188**	**9`209.188**

Fuente: Elaboración propia.

- Promedio de lodos generados en la productora de jugos durante el año

En promedio durante los 12 meses la empresa Productora de jugos S.A.S genera aproximadamente 16.625 kg de lodos como se muestra en la tabla generación de lodos mensuales; lo anterior se reduce a un 43% de los cuales el otro 57% es abono orgánico.

- ✓ Total abono=16.625*57%= 9476 kg de lodo
- ✓ 9.476kg=9,5 toneladas
- ✓ 9,5 toneladas*230000$=2'185.000

Cuadro 41: Ingresos por concepto de la venta de lombri-humus a 3 años

DETALLE	Año 1	Año 2	Año 3
Ingresos esperados por toneladas de lombri-compuesto	$ 2`185.000*8mes	$ 2`185.000*12mes	$ 2`185.000*12mes

Fuente: Elaboración propia.

[10] Se evalúa para 2 toneladas

- **Beneficios totales del proyecto**

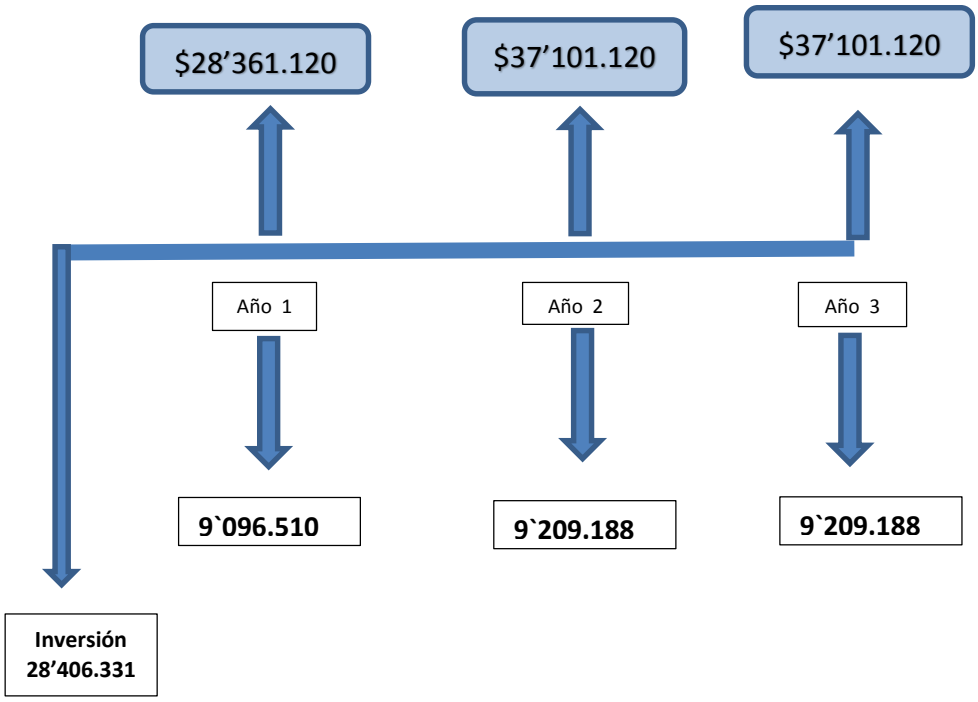
Cuadro 42: Ingresos por concepto de la venta de lombri-humus a 3 años**.**

DETALLE	Año 1	Año 2	Año 3
Venta de lombri-humus	$17’480.000	$ 26’220.000	$ 26’220.000
Ahorro recogida y transporte de lodos	$ 10’881.128	$ 10’881.128	$ 10’881.128
TOTAL	$ 28’361.128	$ 37’101.128	$ 37’101.128

Fuente: Elaboración propia

Una vez valorados los costos y beneficios del proyecto a partir de la construcción del flujo de caja (Diagrama 1) se evalúa financieramente el proyecto, situación que permite determinar si la inversión realizada en esta alternativa se cubrirá en el tiempo y observar los beneficios durante su operación. Dado que el desarrollo normal y continuo de los procesos productivos de la empresa son los únicos condicionantes para que el proyecto aquí expuesto finalice, la rentabilidad del mismo se evalúa tomando como referencia un horizonte de 3 años. El diagrama 1 muestra la inversión que se asumirá para el proyecto, y el ahorro que se genera por el aprovechamiento de los lodos.

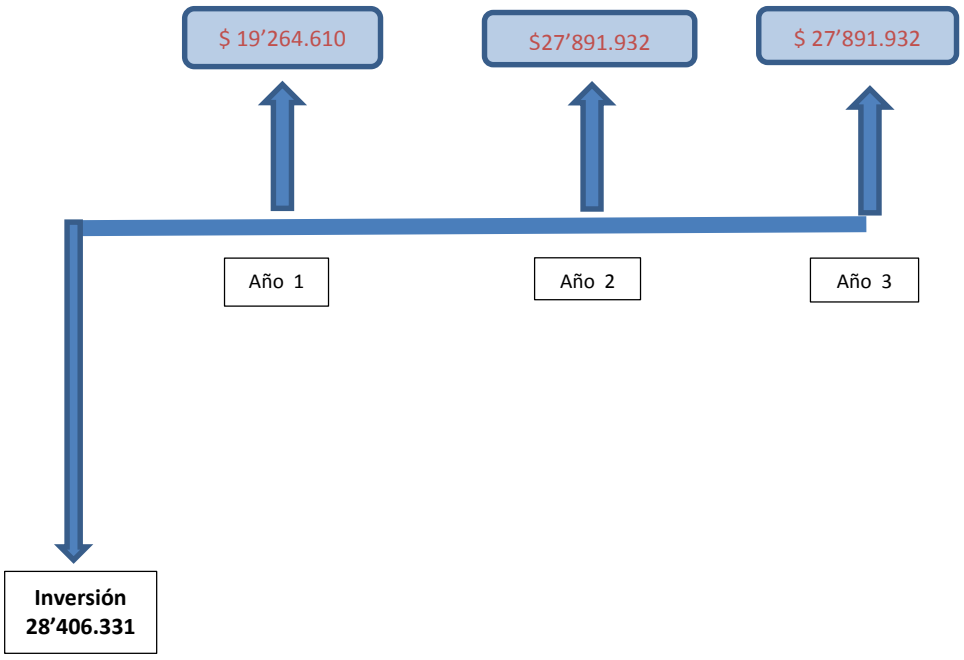
Diagrama 1: Costos y beneficios del proyecto a partir de la construcción del flujo de caja para el proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Debido a que no se conoce con exactitud la Tasa Mínima Atractiva de Retorno – TMAR manejada por la empresa, se establece un valor del 15% mensual para este tipo de proyecto.

Diagrama 2: Diagrama de flujo neto del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

6.3. INDICADORES DE RENTABILIDAD

- Valor presente: se calcula y analiza con el objetivo de determinar si el proyecto alcanza a compensar el costo de oportunidad que este representa, representado en una tasa de interés real y si se genera una fuente de ganancia financiera para el inversionista. En otros términos lo que se pretende es traducir todos los costos e ingresos del proyecto a su valor equivalente en el año cero y así establecer su rentabilidad.

A continuación se presentan las formulas empleadas para determinar el valor presente y la relación Beneficio/ Costo del proyecto:

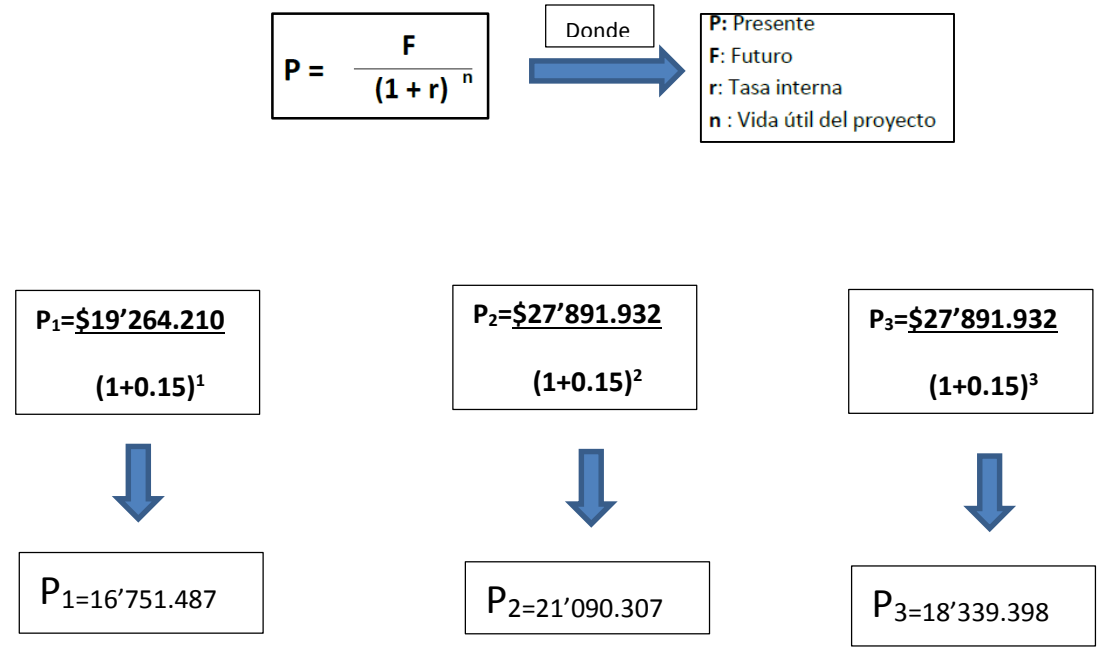
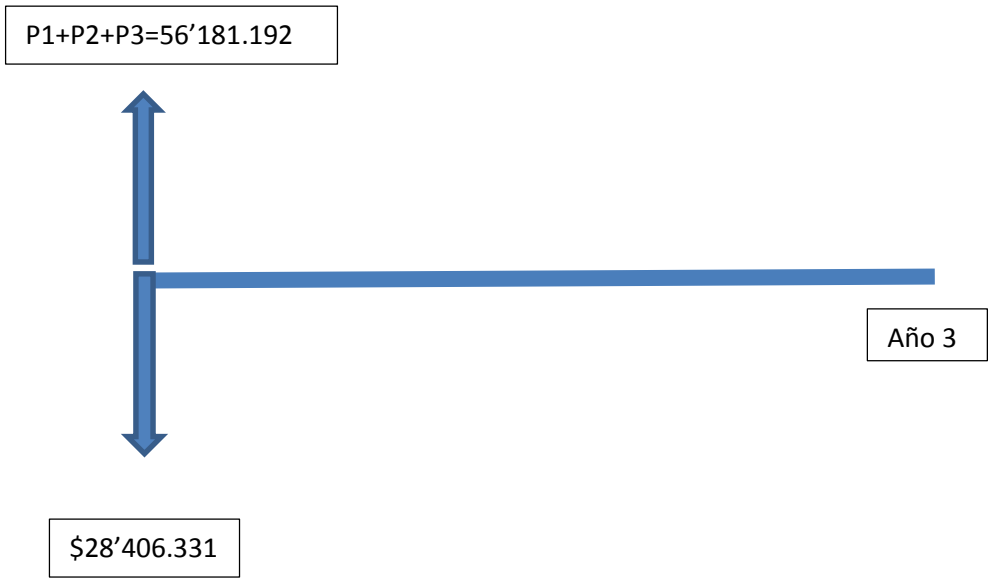


Diagrama 3: Relación beneficio / costo.



Fuente: Elaboración propia.

Relación beneficio / costo=56'181.192/28'406,331=1,97

6.4. ANÁLISIS DE COSTOS DE INVERSIÓN Y BENEFICIOS

Los cálculos realizados detallan el análisis de la relación Beneficio Costo, en donde el resultado es igual a 1,9 y según el autor Karem Mokate en su publicación "Evaluación Financiera de Proyectos", cuando el resultado es mayor a 1 significa que los ingresos netos son superiores a los egresos netos. En otras palabras, los beneficios (ingresos) son mayores a los sacrificios (egresos) y, en consecuencia, el proyecto resultará viable.

6.4.1. Beneficios del proyecto

Evaluadas y analizadas cada uno de los sistemas de tratamientos propuestos para el manejo de lodos en la Productora de Jugos S.A.S. se listan a continuación los beneficios ambientales derivados del proyecto:

TIPO DE BENEFICIO	DESCRIPCIÒN
Ambientales	- Obtener de abonos orgánicos que ayuden al mejoramiento de los suelos, fertilización de cultivos comercializando los abonos con grandes y pequeños compradores que a su vez los utilizarán para aplicar buenas prácticas agrícolas (BPA) y orientar los sistemas de producción limpia hacia una agricultura sostenible y ecológicamente segura, reduciendo de esta manera el uso de agroquímicos que además de contaminar y acabar con los suelos contaminan las aguas subterráneas y superficiales. - Cumplimiento de la normatividad ambiental vigente. - Aplicación de nuevas tecnologías ambientales
Económicos	- Reducción de los costos de transporte y disposición de lodos. - Generación de utilidades por la disposición adecuada de lodos.
Responsabilidad social empresarial	- Replicación de experiencias productivas positivas en el gremio. - Generación de empleo[11] - Educación y cultura ambiental a empresas del sector y comunidad educativa aledaña[12].
Imagen corporativa	- Mejoramiento continuo ambiental para posicionarse como empresa ejemplo a nivel departamental, regional y nacional.

[11] El desempleo se ha convertido en uno de los problemas más graves y complejos que enfrenta el país, el proyecto generará empleo para una persona que deberá ocuparse del mantenimiento y cuidado del lombricultivo, realizando todas las labores que este tipo de actividades requiere.

[12] La implementación del proyecto constituye un nuevo atractivo para los visitantes quienes podrán ser testigos de la adopción de nuevas tecnologías ambientales a través del montaje de lombricultivos, de esta manera se incentivará a niños de colegios vecinos , jóvenes y adultos a practicar estas tecnologías dentro de sus hogares; de igual manera el proyecto se convertirá en una muestra piloto que puede ser copiada por las instituciones educativas para ejecutar proyectos de aprovechamiento de los residuos que se producen en cada una de ella

7. CONCLUSIONES

El comportamiento de las condiciones evaluadas, como temperatura, humedad y pH que presentan los lodos después de la aplicación de los tratamientos, muestran que la biotrasnformación de lodos es una opción efectiva, que, previo la realización de otros ensayos que se realicen a futuro, contribuir a la regeneración de suelos por su aplicación como enmienda y prevenir la contaminación de los suelos como una alternativa ante los fertilizantes químicos.

El análisis estadístico para la evaluación de la bioactividad de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), muestra que los tratamientos en sus contenidos de nutrientes, parámetros físicos y químicos no se comportan de una forma homogénea por esta razón existen diferencias significativas entre tratamientos.

Desde el punto de vista técnico y bajo las condiciones planteadas en el presente proyecto, el uso de lodos para la generación de un biosólido cumple con el decreto 4741 de 2005, el cual reglamenta la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos y lo estipulado en la norma técnica colombiana NTC 5167 de 2004 la cual ejerce control para los productos orgánicos usados como abonos y/o fertilizantes de enmiendas de suelos exigiendo límites permisibles de metales pesados y componentes químicos que puedan llegar a tener efectos indeseables sobre la salud y el medio ambiente.

Desde el punto de vista económico, la alternativa tecnológica evaluada es viable en virtud de la relación Costo/Beneficio evaluada ya que los ingresos superan los egresos. En cuanto a los beneficios, la empresa agregará a su imagen corporativa una imagen ambientalmente responsable al incursionar en la implementación de tecnología que conlleva a la generación de empleo, educación ambiental para comunidades educativas, además, fomentar la recuperación de desechos para ser utilizados como materia prima para el proceso de producción de humus de manera eficiente.

8. RECOMENDACIONES

- Para efectos de mejorar la calidad del abono orgánico obtenido se deben mejorar los siguientes parámetros: carbono orgánico oxidable y capacidad de intercambio catiónico. Para este efecto el lodo se podría mezclar con cachaza ya que es un residuo que está disponible en los ingenios y es de un bajo costo. Lo anterior seria de una gran ayuda a la hora de obtener unos buenos resultados microbiológicos y fisicoquímicos ya que estos residuos tienden a estar libres de coliformes fecales debido a su composición haciéndolos interesantes a la hora de obtener el registro ICA como productor y comercializador. Además le aportaría mayor cantidad de nitrógeno aumentando la disponibilidad de este elemento.

- Además de lo anterior, los residuos de la poda y jardinería pueden ser utilizados como material de soporte y de enmienda dependiendo de sus características. Para que el material de soporte suministre a la mezcla estabilidad estructural, mejorando la porosidad, el carbono organico y permitiendo la circulación del aire durante el proceso de compostaje.

- Se debe tener en cuenta que como estos residuos (lodos), son ricos en nutrientes el lodo se convierte como un medio de sustrato hospedero para microorganismos patógenos por esta razón en la etapa final del proceso de lombricompostaje se debe hacer la desinfección que tarde entre 15 y 20 días.

- La empresa Productora de Jugos S.A.S. puede tener presente que los resultados del proyecto pueden ser replicados como experiencia positiva en empresas del sector productivo. Con este esquema de trabajo se lograría impactar de manera positiva a las empresas y a la comunidad próximas a estas fábricas, logrando un acercamiento con el sector productivo que contribuye a fortalecer la función de proyección social inherente a la gestión ambiental empresarial.

- La empresa Productora de Jugos S.A.S. puede dentro del plan de gestión ambiental empresarial incluir y desarrollar una estrategia de comunicación e información ambiental que impacte y contribuya a la concienciación de la población cercana a sus instalaciones y demás empresas del gremio. Lo anterior a partir de la elaboración de una cartilla digital y/o física para difundir los procesos internos de la organización y las actividades conjuntas con el lombricultivo. La empresa Productora de Jugos S.A.S. puede establecer convenios con universidades públicas y/o privadas de la región; además de buscar apoyo en el SENA.

- Como recomendación se propone una investigación complementaria, que sería la incorporación de los lodos estabilizados a diferentes concentraciones de porcentaje a fin de establecer cuál es la más idónea con la finalidad de no afectar de manera negativa a los suelos en los que se dispongan y/ o a cultivos de plantas ornamentales, como una opción de manejo. Así se generan resultados positivos y se puede plantear una alternativa de solución más precisa para la problemática de los altos volúmenes de generación de lodos residuales en el desecho de frutas.

9. BIBLIOGRAFIA

AAMANN, R. I., W. LUDWIG, AND K.-H. SCHLEIFER. *Phylogenetic Identification and In Situ Detection of Individual Microbial Cells without Cultivation. Microbiological Reviews* **59:**143–169. 1995 citado por **SUÁREZ SILVA**, Yudith Angélica. Análisis de la funcionalidad y diversidad microbiana en suelos dedicados al cultivo de papa criolla (*solanum phureja*) mediante una aproximación metagenómica. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Maestría en Microbiología. Bogotá, 2010.

AGUILERA S. Y RODRIGUEZ M. Desarrollo de prácticas sustentables de reciclaje de biosolidos en plantaciones forestales. Universidad de Chile. Proyecto FONDEF DO1I1034. 198 P. 2005.

ALCANDÍA DE TULUÁ. Página web. Actualización al 18 de Diciembre de 2015. http://www.tulua.gov.co/informacion_general.shtml#geografia

ASOCOLFLORES. Macronutrientes en los suelos. 2.004 p 68. Citado por **KARENN ANDREA MÁRQUEZ S. CRISTIAN STEVEN PARRA M.** Estudio de dos alternativas para el aprovechamiento de lodos secundarios de sistemas aerobios provenientes de PTAR's jurisdicción de la CAR. Universidad de la Salle. Facultad de ingeniería ambiental y sanitaria. Bogotá D.C. 2.009.

BRADY N. The nature anad propierties of soils. Tenth Edition MacMillan Publishing Company New Yorck. 1990.

CANET R, POMARES E, ESTELA M, TARAZONA E. Efecto de los lodos de depuradora en la producción de hortalizas y las propiedades químicas del suelo. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg. 11*: 83-99. 1996.

CASTILLO TACO, J.C. "Análisis de lombricompuestos a partir de diferentes sustratos". Universidad nacional de Colombia. Universidad Popular del Cesar. Facultad de agronomía - escuela de postgrados. Especialización en cultivos perennes industriales. 2010.

COKER E. G. and MATTHEWS P. J. *Metals in sewage sludge and their potential effects un agriculture*. wat. sci. tech. 15:2209-9.1983.

CONCESIONARIA TIBITOC S.A. E.S.P. Gestión de residuos. Presentación en Power Point. S.f.

CLESCERI LEONE S, GREENBERG ARNOLD E, EATON ANDREW D. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition* citado por GALVIS TORO, J. y RIVERA GUERRERO, X. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTAR) de la empresa Jugos Hit de la ciudad de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Escuela de Química. Pereira. 2013.

DALAL RC, MAYER RJ. *Long –term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile*. *Aust. J. Soil Res. 24*: 281-292. 1986.

DEMOLÓN A. Principios de Agronomía. Tomo 1. Dinámica del suelo. Ediciones Omega, siglas S.A.Barcelona. 1965

DUBEY, S. K., A. K. TRIPATHI, AND S. N. UPADHYAY. Exploration of soil bacterial communities for their potential as bioresource. Bioresource Technology **97:**2217-2224. 2006 citado por **SUÁREZ SILVA**, Yudith Angélica. Análisis de la funcionalidad y diversidad microbiana en suelos dedicados al cultivo de papa criolla (*solanum phureja*) mediante una aproximación metagenómica. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Maestría en Microbiología. Bogotá, 2010.

ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA (503) citado por GALVIS TORO, J. y RIVERA GUERRERO, X. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTAR) de la empresa Jugos Hit de la ciudad de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Escuela de Química. Pereira. 2013.

GALVIS TORO, J. y RIVERA GUERRERO, X. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTAR) de la empresa Jugos Hit de la ciudad de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Escuela de Química. Pereira. 2013.

GRUPO INTERDISICIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES GIEM. Manejo y evaluación de la gallinaza (materia prima en compostaciòn): Avicultores 1999; 53:28-33. Citado por URIBE, José. F. at el. Evaluación de microorganismos eficaces (E.M.) en producción de abono orgánico a partir del estiércol de aves de jaula.Rev.Col. Cience. Pec.Vol.14:2,2001.

HUEN, SILVA J. *Organic Soil Amendments for Sustainable Agriculture: Organic Sources of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium. Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*; Epub 144. 2000.

IZQUIERDO, C. G., AND T. H. FERNÁNDEZ. Importancia de la medida de la actividad microbiana en suelos y materiales orgánicos, ECO-Biologia del Suelo y el compost León. 2004.

JOKELA, E. J., SMITH, W. H. AND COLBERT, S. R. *Growth and elemental content of slash pine 16 years after treatment with garbage composted with sewage sludge*. *J. Environ. Qual.* 19*:* 146-150. 1990.

KONRAD, M., AND K. ERNEST. Principios de Nutrición Vegetal, 4 ed. Editor *International potash Institute Switzerland* 2000 citado por **SUÁREZ SILVA**, Yudith Angélica. Análisis de la funcionalidad y diversidad microbiana en suelos dedicados al cultivo de papa criolla (*solanum phureja*) mediante una aproximación metagenómica. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Maestría en Microbiología. Bogotá, 2010.

LABRADOR J. La materia orgánica en los agrosistemas. Editorial Mundi Prensa. Madrid España. (2002).

LABRADOR J. La materia orgánica en los agrosistemas. Editorial Mundi Prensa. Madrid España. (1996).

LOGAN, T. J., CHANG. A. C., PAGE, A. L. AND GANJE, T. J. *Acumulation of selenium in crops grown on sludge treated soil. J. Environ. Qual.* **16** (4): 349-352.1987.

LOZA MURGUÍA, M et al. Comportamiento de lombriz roja californiana y lombriz silvestre en bosta bovina y rumia bovina como sustrato. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 1(4), 555-565. Recuperado en 25 de enero de 2016, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000400008&lng=es&tlng=es. (2010).

METZGER L, YARON B. *Influence of sludge organic matter on soil physical properties. Adv. Soil Sci.* 1987.

MUNN, ET AL. Mineralization and of soil and legume nitrogen in soil treated with metal contaminated sewage slud. Soil Biology and Biochemestry. (2000).

MUÑOZ GF, POLO GÓMEZ MJ, GIRADLES JV. Modificación de algunas propiedades físicas de un suelo del valle de Guadalquivir enmendado con lodos de depuradora. Estudios de la zona no saturada. En Muñoz-Capena R, Ritter A, Tascón C (Eds.) *Actas de las IV Jornadas sobre Investigación de la Zona no Saturada del Suelo.* ICIA. Tenerife, España. pp. 115-143. 1999.

NOGALES, B. La microbiología del suelo en la era de la biología molecular: descubriendo la punta del iceberg. Ecosistemas 14:41-51. 2005.

NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Colombia 2006.

ODEPA, CHILE. Evolución reciente de los precios de los fertilizantes. 2000.

OTERO JL, ANDRADE ML, MARCET P. Caracterización química y evaluación agronómica de dos tipos de lodos residuales. Inv. Agric. Prod. Veg 11: 117-131. 1996.

OTTAVIANI M.; SANTARSIERO A.; DE FULVIO S. *Hygienic, technical and legislative aspects of agricultural sewage sludge usage*. Acta Chim. Hung. 128 (4 - 5), 535-543. 1991.

PORTA ET AL. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, España. Mundi Prensa. 2003.

PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. Página web. Actualización al 31 de Agosto de 2015. http://empresite.eleconomistaamerica.co/PRODUCTORA-JUGOS-SA.html.

PROYECTO DE DECRETO POR PARTE DEL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE BIOSÓLIDOS. Disponible en: www.andi.com.co/Archivos/file/Gerambiental/proyectosnormativos2010/PROYECTOBIOSOLIDOS.pdf. 2010

QUINTANA VALENCIA, JUDITH MARCELA. Estudio para la viabilidad técnica de compostaje a partir de biosólido seco proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR Cañaveralejo Cali. Universidad de San Buenaventura Cali. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería agroindustrial. 2012.

SARRIA VASQUEZ NANCY; RODRIGUEZ MARTINEZ DIEGO; Evaluación de la viruta de madera como material de soporte para el compostaje de los Biosólidos generados en la PTAR-C, Colombia 2004 citado por **QUINTANA VALENCIA, JUDITH MARCELA.** Estudio para la viabilidad técnica de compostaje a partir de biosólido seco proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR Cañaveralejo Cali. Universidad de San Buenaventura Cali. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería agroindustrial. 2012.

SCHNITZER M. *Soil organic matter - The next 75 years*. Soil Sci., 151 (1), 41-58. 1991.

SCORA, R.W. AND CHANG, A. C. Essential oil quality and heavy metal concentrations of peppermint grown on a municipal sludge-amended soil. *J. Environ. Qual.* 26: 975-979. 1997.

SOTO. GABRIELA, El proyecto NOS de CATIE/GTZ, el centro de investigaciones agronómicas de la Unidad de Costa Rica de insumos agropecuarios no sintéticos. En: Taller de abonos orgánicos. Costa Rica, 3 y 4 de marzo de 2003, p.21. citado por Gladys Jaramillo Henao Liliana María Zapata Márquez. Universidad de Antioquia. Facultad de ingeniería. Posgrados de ambiental. Especialización en gestión ambiental aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Disponible en : http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Aprressolorgco.pdf. 2008.

SUÁREZ SILVA, Yudith Angélica. Análisis de la funcionalidad y diversidad microbiana en suelos dedicados al cultivo de papa criolla (*Solanum phureja*) mediante una aproximación metagenómica. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Maestría en Microbiología. Bogotá, 2010.

SUMNER . Handbook of soil science. CRC Press LLC.2000.

TESTER C.F. *Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil*. Soil Sci. Soc. Am. J., 54(3), 827-831. 1990.

TORRES P EJ, PÉREZ A, IMERY R, NATES P, SÁNCHEZ G, SÁNCHEZ M, BERMÚDEZ A. Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales-PTAR. Revista ingenieris e investigación. 2005;25:53-61 citado por **KATHERINE BEDOYA-URREGO , JOSÉ M. ACEVEDO-RUÍZ , CARLOS A. PELÁEZ-JARAMILLO Y SONIA DEL PILAR AGUDELO-LÓPEZ**. Caracterización de biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí (Antioquia, Colombia). REVISTA DE SALUD PÚBLICA · Volumen 15 (5), Octubre 2013

T.W. WALKER ET AL. «Fate of labeled nitrate and ammonium nitrogen when applied to grass and clover separately and together», Soil Science, 81, pp. 339-352, 1956.

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD. Capítulo 1. Conceptualizacion de la gestion de residuos aprovechables. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente -Manejo de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades. Adaptación de María Carolina Díaz Franky (2014) de primera versión de Alba Ruth Olmos Clavijo (2012).

URIBE, JOSE. F. at el Evaluación de microorganismos eficaces (E.M.) en producción de abono orgánico a partir del estiércol de aves de jaula. Rev. Col. Cience. Pec.Vol.14:2,2001.

WALTER I, BIGERIEGO M, CALVO R . Efecto fertilizante y contaminante de lodos residuales en la producción de trigo en secano. Inv. Agric. Prod. Veg 9: 501-507. 1994.

WATSON, J. E. PEPPER, I.L., UNGER, M. AND FULLER, W.H. Yields and leaf elemental composition of cotton grown on sludge amended soil. *J. Environ. Qual.* 14: 174-177. 1985.

ZAMBRANO DÌAZ, JAIRO ENRIQUE. Diseño del plan de manejo de residuos urbanos no peligrosos Para la Universidad de la Salle Bajío, campus lomas del Campestre, León Guanajuato, México. Universidad de la Salle Bogotá Colombia. Facultad de ingeniería ambiental y sanitaria. Control de la contaminación – gestión de residuos sólidos. Bogotá d.c.2006

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A

EcoQuímica Ltda.
Análisis Especializado
NIT: 805.018.221-0

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PRODUCTORA DE JUGOS S.A.
EMPRESA CONSULTORA ECOQUIMICA LTDA
FECHA: ABRIL DE 2005

FEO: G19 - 0799
Cali, Abril 29 de 2005

Caracterización de Residuos Sólidos

PRODUCTORA DE JUGOS S.A.
Informe Ejecutivo

A manera resumida se presenta el informe de los estudios de caracterización de las muestras de residuos sólidos provenientes del tanque de almacenamiento de los lodos que se generan de la PTAR.

1. **Estudio:** Caracterización de residuos sólidos según normatividad EPA
2. **Empresa Interesada:** Productora de JugosS.A.
3. **Actividad de la Empresa:** Producción de pulpas de fruta y jugos
4. **Dirección:** Calle 48 No. 21-100 Tuluá (V)
5. **Entidad Solicitante de la caracterización:** Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC.
6. **Fecha de Muestreo:** 20 de abril de 2005.
7. **Sitio de Muestreo:** Tanque de almacenamiento de lodos.
8. **Toma y cantidad de muestra definitiva:** Composición de 1 muestra de aproximadamente 1.0 Kg.
9. **Oficial de Muestreo:** Química Lina María Granobles
10. **Diseño de Muestreo:** Omar Velásquez L., Ph.D
11. **Parámetros Evaluados:**

- ✓ Metales tóxicos en lixiviado usando el procedimiento EPA, método 1311.
- ✓ pH, método 9040C
- ✓ Corrosividad, método 1110A (acero inoxidable)
- ✓ Inflamabilidad de sólidos, método 1030
- ✓ Reactividad, Literal 7.3 del Cap. 7 de SW 846

Conclusión: Los residuos sólidos muestreados presentaron las características siguientes:

- ✓ La medición de su **pH** mostró que los residuos son ligeramente acidos.
- ✓ Su **corrosividad** se encuentra para la muestra valores MUCHO menores que el valor límite establecido, 6.35 mm/año por tanto con este criterio en mente podemos afirmar definitivamente que las muestras NO son corrosivas al acero inoxidable.
- ✓ La prueba de inflamabilidad. Método 1030 aplicado sobre las muestras indicaron que NO son inflamables.
- ✓ Las pruebas de Reactividad efectuadas presentaron el cuadro siguiente de resultados:
- Los residuos no reaccionan violentamente con el agua
- Los residuos no generan vapores tóxicos (HCN o H_2S al reaccionar con el acido sulfúrico 0.01N.
- Los residuos no son combustibles ni explosivos

Carrera 24 No. 9C - 19 TELEFAX (92) 558 1576 – 556 7928. CALI - COLOMBIA
E-mail: ecoquimica@yahoo.es

El ensayo de toxicidad por metales en el lixiviado (prueba TCLP 1311) presentó para las determinaciones de los metales de interés resultados que están por dentro de la normatividad establecidos para todos los elementos metálicos analizados(Pb, Cd, Ba, Cr, Ag, Hg, As y Se) se encuentran por debajo de los límites establecidos por la EPA en el manual de la SW-846.

2. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS (Lodos de la Ptar) PRODUCTORA DE JUGOS S.A.

Introducción

Productora de Jugos S.A. contrató con Ecoquimica Ltda. la caracterización de los residuos sólidos de interés para efectos de la presentación de una solicitud de exención ante la entidad Regional Regulatoria CVC. **Residuo Peligroso**: Se define como aquel que por sus propiedades fisicoquímica y /o biológicas representa un riesgo para la salud o causar un efecto adverso al medio ambiente. Las características fundamentales que la EPA ha trazado en el manual de la SW846 como decisivas en la clasificación de un residuo en peligroso o no peligroso son las aplicadas en el presente estudio. El informe presenta a continuación los resultados de las pruebas de caracterización siguiendo las directrices de la EPA:

ECOQUIMICA LTDA : Es una empresa constituida en el año 2000 al servicio de la industria química y de instituciones oficiales o privadas que soliciten de sus servicios. Actualmente hemos sido aceptados por la CVC como uno de los laboratorios que se encuentra con la infraestructura física y humana para la realización de las pruebas correspondientes para la caracterización de residuos sólidos y vertimientos en la región del Sur occidente Colombiano.

Aseguramiento de la Calidad: Ecoquímica forma parte de la Cámara de Laboratorios de ACODAL y se encuentra en un proceso de implementación de un sistema de calidad bajo la norma ISO 9000 versión 2000 bajo la asesoría permanente del SENA. Además junto con otros laboratorios de la Ciudad desarrolla un programa de capacitación bajo la asesoría del IDEAM con el fin de obtener la acreditación como un laboratorio ambiental bajo la norma NTC-ISO-IEC-17025 por parte de la misma entidad estatal que puede otorgar el reconocimiento a todos los laboratorios que emiten resultados carácter ambiental.

OBJETIVO: Realizar la caracterización de lodos procedentes de la planta de tratamiento (PTAR) localizadas en su sitio de almacenaje antes de su disposición final.

ALCANCE: En el presente estudio se realizó la caracterización de residuos sólidos (lodos) provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales(PTAR) con el fin de presentar un informe a la entidad regulatoria competente (CVC) la metodología empleada se ajusta completamente a las directrices de la EPA SW - 846.

METODOLOGIA: La caracterización de los residuos y su clasificación en peligrosos o no, se ha realizado empleando los métodos establecidos por la EPA fundamentalmente la prueba de inflamabilidad, corrosividad, reactividad y toxicidad (TCLP) del residuo determinando ocho metales a saber, Pb, Cd, Cr, Ba, Hg, As, Ag y Se.

Plan de Muestreo: Las muestras analizadas se obtuvieron mediante un sistema de muestreo del sitio de almacenamiento en la zona de la PTAR,.donde existen en una cantidad que nos superan los 100 Kg . Se realizó una recolección de cuatro sitios diferentes el tanque y se integraron en una sola muestra dada la cantidad tan pequeña de lodo que estaba presente en el sitio de muestreo. El plan de muestreo fue diseñado por Ecoquimica apoyados en la norma técnica ASTM E-300-86, se obtuvo una muestras de 1 Kg aproximadamente. La muestra fué tomada por Lina Maria Granobles química designada por Ecoquímica como responsable de este proceso. El muestreo tuvo un registro fotográfico (se anexan fotografías del muestreo). Las muestras se almacenaron en bolsas plásticas.

Análisis de los metals: Los metales (Pb, Cd, Cr, Ba, Hg, As, Ag y Se) fueron determinados en un lixiviado que se obtiene con una solución extractora de ácido acético de pH = 2.88 ± 0.05 unidades con agitación por 18 ± 2 horas. Para la determinación de los metales se utilizó un equipo de absorción atómica marca UNICAM modelo 969 con muestreador de llama para analizar plomo, cromo, cadmio, bario y plata y un generador de hidruros como accesorio para la evaluación de arsénico, mercurio y selenio. El instrumento utiliza un software Solaar en la estación de datos.

En la tabla No.1 se relacionan las técnicas analíticas empleadas para la determinación de cada parámetro de interés.

Tabla No. 1: Métodos y técnicas usadas para evaluar los parámetros de interés.

PARAMETRO	METODO EPA	TECNICA
CORROSIVIDAD	1110 A	Reactor con discos de acero inoxidable
INFLAMABILIDAD	1030	Sistema de combustión
TOXICIDAD	1311	Extracción
REACTIVIDAD	Literal 7.3 Cap. 7 SW-846	Sistema de reactor vidrio

RESULTADOS

Las tablas dadas a continuación resumen los resultados de laboratorio obtenidos para las diferentes muestras

Prueba de Corrosividad: Método 1110A EPA

Registro	Muestra	pH	Corrosividad (mm/año)	Límite - Corrosividad (mm/año) dado por la EPA
M - 1718	Lodos de Ptar	6.53	0.004	6.35

Prueba de Toxicidad (TCLP): Método 1311 EPA

Registro	Muestra	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Ba (mg/L)	Cr (mg/L)
M - 1100	Lodos de PTAR	0.020	<0.030	<0.100	<0.030
	Regulación de la EPA	5.00	1.00	100.00	5.00

Registro	Muestra	Ag (mg/L)	Hg (mg/L)	As (mg/L)	Se (mg/L)
M - 1100	Lodos de PTAR	<0.030	<0.001	<0.008	< 0.009
	Regulación de la EPA	5.00	0.200	5.00	1.00

Prueba de Inflamabilidad: La muestra no es inflamable

Prueba de Reactividad:

La muestra de lodo es inactive

- No es explosiva ni es combustible
- NO reaccionan, con el agua.
- No generan vapores tóxicos al reaccionar con el agua.
- NO generan vapores en contacto con ácido sulfúrico 0.01N.
- NO generan vapores de H_2S.
- NO generan vapores de HCN.

Los resultados indican que este tipo de muestra es elegible para la exención de los RICOPRI.

Omar Velásquez L., Ph.D.
Director Técnico Ecoquimica Ltda

ANEXO B

Cuadro 1: Promedio de pH por unidad experimental y repetición

		MEDICIÒN pH					
Tratamiento	**Tiempo (días)**	**Repetición 1**	**Repetición 2**	**Repetición 3**	**Repetición 4**	**Repetición 5**	**Promedio**
1	30	6,3	6,3	6,3	6,3	6,4	6,3
	60	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	90	7,5	7,5	7,6	7,5	7,5	7,5
	120	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
2	30	6,4	6,3	6,3	6,4	6,4	6,4
	60	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	90	7,5	7,6	7,5	7,6	7,5	7,5
	120	7,5	7,6	7,5	7,6	7,5	7,5
3	30	6,4	6,3	6,3	6,4	6,4	6,4
	60	7,5	7,6	7,6	7,5	7,5	7,5
	90	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
	120	7,5	7,6	7,6	7,5	7,6	7,6
4	30	6,3	6,4	6,3	6,3	6,3	6,3
	60	7,6	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6
	90	7,6	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6
	120	7,6	7,5	7,6	7,7	7,6	7,6
5	30	6,4	6,4	6,3	6,4	6,4	6,4
	60	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
	90	7,6	7,6	7,6	7,7	7,6	7,6
	120	7,6	7,6	7,6	7,7	7,6	7,6

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO C

Cuadro 2: Promedio de temperatura registrada por unidad experimental y repetición.

		Medición de temperatura					
Tratamiento	**Tiempo (días)**	**Repetición 1**	**Repetición 2**	**Repetición 3**	**Repetición 4**	**Repetición 5**	**Promedio**
1	30	22,36	22,36	22,35	22,35	22,36	22,35
	60	22,60	22,60	22,57	22,49	22,57	22,57
	90	22,07	22,08	22,08	22,09	22,08	22,08
	120	22,42	22,43	22,44	22,43	22,43	22,43
2	30	22,52	22,54	22,52	22,43	22,50	22,50
	60	22,69	22,71	22,66	22,67	22,68	22,68
	90	22,07	22,08	22,09	22,01	22,06	22,06
	120	22,53	22,54	22,51	22,47	22,51	22,51
3	30	22,67	22,67	22,65	22,66	22,67	22,63
	60	22,85	22,84	22,83	22,84	22,84	22,81
	90	22,15	22,15	22,14	22,14	22,15	22,13
	120	22,52	22,53	22,52	22,53	22,53	22,52
4	30	22,69	22,71	22,70	22,70	22,70	22,70
	60	22,88	22,90	22,88	22,88	22,89	22,89
	90	22,11	22,11	22,11	22,11	22,11	22,11
	120	22,55	22,55	22,55	22,55	22,55	22,55
5	30	22,60	22,60	22,51	22,51	22,60	22,56
	60	22,87	22,87	22,87	22,87	22,87	22,87
	90	22,14	22,14	22,14	22,13	22,14	22,14
	120	22,54	22,54	22,54	22,54	22,54	22,54

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO D

Cuadro 3: Promedio de humedad registrada por unidad experimental y repetición.

		Medición de humedad					
Tratamiento	**Tiempo (días)**	**Repetición 1**	**Repetición 2**	**Repetición 3**	**Repetición 4**	**Repetición 5**	**Promedio**
1	30	73%	73%	69%	71%	72%	72%
	60	71%	71%	67%	67%	69%	69%
	90	70%	70%	66%	67%	68%	68%
	120	71%	71%	66%	66%	69%	69%
2	30	75%	75%	68%	73%	73%	73%
	60	70%	70%	68%	69%	69%	69%
	90	70%	70%	66%	69%	69%	69%
	120	68%	69%	67%	68%	68%	68%
3	30	70%	72%	71%	72%	71%	71%
	60	69%	70%	70%	71%	70%	70%
	90	70%	71%	70%	71%	70%	70%
	120	69%	70%	70%	70%	70%	70%
4	30	71%	71%	67%	70%	70%	70%
	60	68%	69%	67%	68%	68%	68%
	90	70%	70%	66%	69%	69%	69%
	120	68%	69%	67%	68%	68%	68%
5	30	72%	73%	67%	72%	71%	71%
	60	70%	71%	67%	70%	69%	69%
	90	68%	69%	68%	67%	68%	68%
	120	68%	67%	67%	73%	69%	69%

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO E

Cuadro 4: Promedio para número de lombrices durante los 120 días del ensayo.

	tratamiento 1	tratamiento 2	tratamiento 3	tratamiento 4	tratamiento 5
repetición 1	68	2	34	30	12
repetición 2	6	6	16	35	22
repetición 3	20	4	10	30	25
repetición 4	10	2	0	21	62
repetición 5	7	0	8	25	88
promedio día 30	26	3,5	15	29	30,25
repetición 1	80	8	54	58	26
repetición 2	34	28	25	50	102
repetición 3	120	15	39	58	84
repetición 4	54	3	1	68	102
repetición 5	55	12	14	90	147
promedio día 60	68,6	13,2	26,6	64,8	92,2
repetición 1	67	10	30	70	30
repetición 2	33	28	17	60	77
repetición 3	90	13	25	60	48
repetición 4	33	21	14	66	90
repetición 5	33	40	22	80	68
promedio día 90	51,2	22,4	21,6	67,2	62,6
repetición 1	30	2	15	40	14
repetición 2	20	18	12	45	38
repetición 3	48	5	19	33	30
repetición 4	57	7	7	23	60
repetición 5	23	14	15	50	31
promedio día 120	35,6	9,2	13,6	38,2	34,6

Fuente: propia.

ANEXO F

Cuadro 5: Numero de cocones por tratamiento y repetición durante los 120 días del ensayo.

	tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	tratamiento 4	Tratamiento 5
repetición 1	65	13	62	27	23
repetición 2	20	49	22	25	25
repetición 3	23	13	23	7	38
repetición 4	18	10	0	20	32
repetición 5	14	0	15	18	23
promedio día 30	28	17	24,4	19,4	28,2
repetición 1	75	3	39	20	10
repetición 2	40	14	30	21	14
repetición 3	37	6	25	8	12
repetición 4	45	3	0	7	22
repetición 5	40	4	15	7	21
promedio día 60	47,4	6	21,8	12,6	15,8
repetición 1	7	0	2	6	3
repetición 2	3	0	0	4	4
repetición 3	5	1	0	3	6
repetición 4	3	10	7	2	9
repetición 5	2	0	0	5	6
Promedio día 90	4	2,2	1,8	4	5,6
repetición 1	0	0	2	0	0
repetición 2	0	0	0	0	0
repetición 3	0	0	0	0	0
repetición 4	0	0	0	0	0
repetición 5	0	0	0	0	0
Promedio día 120	0	0	0,4	0	0

Fuente: elaboración propia.

ANEXO G

Cuadro 6: Presencia de clitelio durante los 120 dìas del ensayo por cada tratamiento.

Promedio clitelio durante los 120 días					
	tratamiento 1	tratamiento 2	tratamiento 3	tratamiento 4	tratamiento 5
repetición 1	5	2	5	5	5
repetición 2	5	5	5	5	5
repetición 3	5	4	5	5	5
repetición 4	5	2	0	5	5
repetición 5	5	0	5	5	5
promedio dia 30	5	2,6	4	5	5
repetición 1	25	3	17	14	11
repetición 2	10	5	15	13	15
repetición 3	30	6	16	14	10
repetición 4	12	0	1	12	15
repetición 5	12	6	7	16	18
promedio día 60	17,8	4	11,2	13,8	13,8
repetición 1	30	5	35	60	15
repetición 2	27	28	20	45	60
repetición 3	25	13	34	50	38
repetición 4	20	21	13	50	70
repetición 5	27	25	18	60	50
promedio dia 90	25,8	18,4	24	53	46,6
repetición 1	15	2	24	36	12
repetición 2	20	18	8	35	31
repetición 3	38	5	16	24	30
tratamiento 4	50	7	12	23	56
repetición 5	23	14	20	40	80
promedio día 120	29,2	9,2	16	31,6	41,8

Fuente: Propia

ANEXO H

	AGROAMBIENTAL.LAB S.A.S NIT 900.480.724-7 Registrado ante el ICA según Resolución 005823 del 26 de diciembre de 2012	F-LAB-F-017 Rev 00 23/04/2012

Informe de Laboratorio No: **096**
Fecha de emisión: Octubre 14 de 2015

INFORMACION DEL CLIENTE

Solicitante: Vladimir Bemúdez
Identificación de la muestra: Humus
Código de muestra Lab: **3712**
Fecha de recepción de la muestra: Septiembre 23 de 2015
Descripción de la muestra: Material Orgánico Sólido Tratamiento 1

INFORME DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	NORMA NTC 5167	MÉTODO ANALÍTICO
pH	6,82	N.A.	>4 <9	Potenciométrico
Conductividad Eléctrica	6,68	dS/m	N.A.	Conductimétrico
Nitrógeno Total (N)	1,02	%	> 1	Kjeldahl (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable (COT)	13,18	%	Mín 15	Walkley - Black
Fósforo Total (P_2O_5)	1,39	%	>1	Colorimétrico (NTC 5167)
Potasio Total (K_2O)	1,52	%	>1	Colorimétrico (NTC 5167)
Calcio (CaO)	1,74	%	N.A.	Mineralización Húmeda (NTC 5167)
Magnesio (MgO)	0,60	%	N.A.	Mineralización Húmeda (NTC 5167)
Capacidad de Intercambio Catónico - CIC	17	meq/100g	Mín 30	Acetato de Amonio 1N pH 7. Volumetría
Capacidad de Retención de Humedad	141	%	Mín 100	Determinación de Volumen
Azufre (S)	0,14	%	N.A.	Gravimetría NTC 1154
Hierro	221	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Manganeso	10,6	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Cobre	6,2	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Zinc	21,5	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Boro	0,06	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)

(a) Requisito No exigido en los Materiales Orgánicos Sólidos

OBSERVACIONES

1. Los resultados reportados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otra(s) muestras de la misma procedencia

2. Si tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre los resultados, por favor comuníquese con la Dirección Técnica.

3. Las contramuestras de las muestras analizadas serán almacenadas por un periodo de tiempo de tres meses, posteriormente serán desechadas.

ANEXO I

AGROAMBIENTAL.LAB	AGROAMBIENTAL.LAB S.A.S NIT 900.480.724-7 Registrado ante el ICA según Resolución 005823 del 26 de diciembre de 2012	F-LAB-F-017 Rev 00 23/04/2012

Informe de Laboratorio No: 097
Fecha de emisión: Octubre 14 de 2015

INFORMACION DEL CLIENTE

Solicitante: Vladimir Bemúdez
Identificación de la muestra: Humus
Código de muestra Lab: 3713
Fecha de recepción de la muestra: Septiembre 23 de 2015
Descripción de la muestra: Material Orgánico Sólido Tratamiento 3

INFORME DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	NORMA NTC 5167	MÉTODO ANALÍTICO
pH	7,5	N.A.	>4 <9	Potenciométrico
Conductividad Eléctrica	6,35	dS/m	N.A.	Conductimétrico
Nitrógeno Total (N)	0,86	%	> 1	Kjeldahl (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable (COT)	10,6	%	Mín 15	Walkley - Black
Fósforo Total (P_2O_5)	0,72	%	>1	Colorimétrico (NTC 5167)
Potasio Total (K_2O)	1,44	%	>1	Colorimétrico (NTC 5167)
Calcio (CaO)	1,15	%	N.A.	Mineralización Húmeda (NTC 5167)
Magnesio (MgO)	0,41	%	N.A.	Mineralización Húmeda (NTC 5167)
Capacidad de Intercambio Catónico - CIC	15	meq/100g	Mín 30	Acetato de Amonio 1N pH 7. Volumetría
Capacidad de Retención de Humedad	129	%	Mín 100	Determinación de Volumen
Azufre (S)	0,11	%	N.A.	Gravimetría NTC 1154
Hierro	80	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Manganeso	5,1	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Cobre	3,2	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Zinc	8,7	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Boro	0,03	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)

(a) Requisito No exigido en los Materiales Orgánicos Sólidos

OBSERVACIONES

1. Los resultados reportados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otra(s) muestras de la misma procedencia

2. Si tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre los resultados, por favor comuníquese con la Dirección Técnica.

3. Las contramuestras de las muestras analizadas serán almacenadas por un periodo de tiempo de tres meses, posteriormente serán desechadas.

ANEXO J

AGROAMBIENTAL.LAB	AGROAMBIENTAL.LAB S.A.S NIT 900.480.724-7 Registrado ante el ICA según Resolución 005823 del 26 de diciembre de 2012	F-LAB-F-017 Rev 00 23/04/2012

Informe de Laboratorio No: **098**
Fecha de emisión: Octubre 14 de 2015

INFORMACION DEL CLIENTE

Solicitante: Vladimir Bemúdez
Identificación de la muestra: Humus
Código de muestra Lab: **3714**
Fecha de recepción de la muestra: Septiembre 23 de 2015
Descripción de la muestra: Material Orgánico Sólido Tratamiento 4

INFORME DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	NORMA NTC 5167	MÉTODO ANALÍTICO
pH	7,15	N.A.	>4 <9	Potenciométrico
Conductividad Eléctrica	7,02	dS/m	N.A.	Conductimétrico
Nitrógeno Total (N)	0,81	%	> 1	Kjeldahl (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable (COT)	10,3	%	Mín 15	Walkley - Black
Fósforo Total (P_2O_5)	0,60	%	>1	Colorimétrico (NTC 5167)
Potasio Total (K_2O)	0,96	%	>1	Colorimétrico (NTC 5167)
Calcio (CaO)	0,87	%	N.A.	Mineralización Húmeda (NTC 5167)
Magnesio (MgO)	0,22	%	N.A.	Mineralización Húmeda (NTC 5167)
Capacidad de Intercambio Catónico - CIC	14	meq/100g	Mín 30	Acetato de Amonio 1N pH 7. Volumetría
Capacidad de Retención de Humedad	128	%	Mín 100	Determinación de Volumen
Azufre (S)	0,08	%	N.A.	Gravimetría NTC 1154
Hierro	101	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Manganeso	6,8	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Cobre	4,9	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Zinc	9,0	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Boro	0,01	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)

(a) Requisito No exigido en los Materiales Orgánicos Sólidos

OBSERVACIONES

1. Los resultados reportados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otra(s) muestras de la misma procedencia

2. Si tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre los resultados, por favor comuníquese con la Dirección Técnica.

3. Las contramuestras de las muestras analizadas serán almacenadas por un periodo de tiempo de tres meses, posteriormente serán desechadas.

ANEXO K

	AGROAMBIENTAL.LAB S.A.S NIT 900.480.724-7 Registrado ante el ICA según Resolución 005823 del 26 de diciembre de 2012	F-LAB-F-017 Rev 00 23/04/2012

Informe de Laboratorio No: 099
Fecha de emisión: Octubre 14 de 2015

INFORMACION DEL CLIENTE

Solicitante: Vladimir Bemúdez
Identificación de la muestra: Humus
Código de muestra Lab: **3715**
Fecha de recepción de la muestra: Septiembre 23 de 2015
Descripción de la muestra: Material Orgánico Sólido Tratamiento 5

INFORME DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	NORMA NTC 5167	MÉTODO ANALÍTICO
pH	7,44	N.A.	>4 <9	Potenciométrico
Conductividad Eléctrica	5,59	dS/m	N.A.	Conductimétrico
Nitrógeno Total (N)	0,90	%	> 1	Kjeldahl (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable (COT)	12,7	%	Mín 15	Walkley - Black
Fósforo Total (P_2O_5)	1,06	%	>1	Colorimétrico (NTC 5167)
Potasio Total (K_2O)	1,21	%	>1	Colorimétrico (NTC 5167)
Calcio (CaO)	1,93	%	N.A.	Mineralización Húmeda (NTC 5167)
Magnesio (MgO)	0,68	%	N.A.	Mineralización Húmeda (NTC 5167)
Capacidad de Intercambio Catónico - CIC	21	meq/100g	Mín 30	Acetato de Amonio 1N pH 7. Volumetría
Capacidad de Retención de Humedad	133	%	Mín 100	Determinación de Volumen
Azufre (S)	0,17	%	N.A.	Gravimetría NTC 1154
Hierro	258	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Manganeso	8,9	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Cobre	5,3	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Zinc	15,2	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)
Boro	0,08	ppm	(a)	Espectrofotometría (NTC 5167)

(a) Requisito No exigido en los Materiales Orgánicos Sólidos

OBSERVACIONES

1. Los resultados reportados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otra(s) muestras de la misma procedencia

2. Si tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre los resultados, por favor comuníquese con la Dirección Técnica.

3. Las contramuestras de las muestras analizadas serán almacenadas por un periodo de tiempo de tres meses, posteriormente serán desechadas.

ANEXO L

Cuadro 7: Relación C/ N para algunos materiales.

MATERILAES	RELACION C/N
Estiércol de vaca	[1] 18,0
Desechos de frutas	[1] 34,8
Estiércol de caballo	[1] 25.0
Lodo de agua residual cruda	[1] 11,0
Lodo agua residual activado	[1] 6,8
Lodo agua residual digerido	[1] 15,7
Residuo de poda	[1] 40-80
Biosólido seco	[2] 8
Restos de comida	[3] 15
Césped cortado	[3] 17
Hojas	[3] 54
Cascara de arroz	[3] 120
Aserrín	[3] 442
Paja	[3] 75
Viruta madera	[3] 500
Cartón	[3] 500

Fuente: elaborado a partir de las referencias
(1)Fuente: (Sarria y Rodríguez)
(2)Fuente: ingeniero Ricardo morales (asesor)
(3) Fuente: Organic SA. 2012

Fuente: Quintana Valencia (2012)

ANEXO LL

Cuadro 8: Niveles máximos de patógenos según la norma NTC 5167

Microorganismos patógenos	Límites permitidos
Salmonella sp.	Ausente en 25 g de producto final
Entero bacterias totales	<1000 UFC/g de producto final.

Fuente: Adaptado de la norma NTC 5167,2004.

Cuadro 8: Continuación. Niveles máximos de metales pesados según la norma

Metales	Límites permitidos
Arsénico (As)	41
Cadmio (Cd)	39
Cromo (Cr)	1200
Mercurio (Hg)	17
Níquel (Ni)	420
Plomo (Pb)	300

Fuente: Quintana Valencia (2012)

ANEXO M

Tabla 1: Valores permisibles en los resultados de análisis físico-químicos.

UNIDADES	%				ppm				
Elemento	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Valor Permisible	<90	<Ca	<50	<1	<60	<30	<10000	100-350	250-450

Fuente: Resolución ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) 0375 de 2004

ANEXO N

Tabla 1: Características fisicoquímicas según Sarria y R (2004)

PARAMETROS	MATERIALES			TRATAMIENTOS				
	BS	P	EC	T1 BS:30 %-P20%	T2 BS:35 %-P15%	T3 BS:25%-P25%	T0 EC:30 %-P20%	Valores recomendados
pH	6,46	5,15	NA	6,9	6,8	7,1	7,3	7-8.3
Carbono Organico %	15,8	32,7	NA	49	51	54	52	26-85
Nitrogeno A. %	N.A	N.A	NA	N.A	N.A	N.A	N.A	0.02%
Nitrogeno T.%	2,1	1,08	NA	0,07	0,08	0,1	0,08	0,8-1,5
Relación C/N	7	30	NA	700	637,5	540	650	15-25
Fosforo %	2,25	0,31	NA	1,17	1,54	1,09	0,96	0,4-1,0
Potasio %	0,13	0,37	NA	0,8	0,91	1,09	1,08	0,6-1,5
Calcio %	2,97	1,54	NA	2	2,04	2,25	2,17	2,12-2,58
Magnesio %	0,95	0,32	NA	1,99	1,99	2,09	2,08	0,2-0,7
Sodio %	0,07	0,01	NA	0,65	0,69	0,6	0,64	2,0-6,0
Hierro ppm	3,49	0,02	NA	23	24	23	23	32269-34069
Cobre ppm	191	9,4	NA	0,62	0,7	0,53	0,5	40-85
Zinc ppm	894	20	NA	2,24	2,86	1,93	1,51	80,33
Manganeso ppm	368	38	NA	4,35	5,65	5,45	6,23	421-474
Boro ppm	98	16	NA	6,2	4,8	6,7	4,4	8,7-9
Conductividad Electrica	9,11	11,8	NA	N.A	N.A	N.A	N.A	2,0-4,0
Huemdad	16,8	30,3	NA	N.A	N.A	N.A	N.A	30-35 (Sarria y R. 2004)

Fuente: Quintana (2012)

ANEXO O

AGRILAB
Servicios ambientales y agrícolas

Calle 79 B No.70 - 16 Bogotá
Teléfono: 2231999
Telefax: 2234087
e-mail: agrilab@etb.net.co

Laboratorio de Análisis Químicos
Insumos Agrícolas
Registrado ante el ICA según Resolución 000584

Remitente	**PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S.**		
Identificación suministrada	**M5- LODO PTAR PROJUGOS**		
Descripción	Sólido Negro	**No. Laboratorio**	**MO 16883 - BR 3089**
Fecha de Ingreso	19-may-14	**Fecha de Entrega**	03-jun-14

CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO SÓLIDO

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDADES	METODO ANALITICO
Humedad	82,7	%	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)
Cenizas	3,91	%	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)
Pérdidas por Volatilización	13,4	%	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable Total	5,58	%	WALKLEY-BLACK(NTC 5167)
pH (pasta de saturación)	8,55		POTENCIOMÉTRICO
Densidad (Base Seca - 20ºC)	0,86	g/c.c.	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)
Conductividad Eléctrica	M.I.	dS/m	CONDUCTÍMETRO
Retención de Humedad	M.I.	%	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)
Cap. Intercambio Catiónico	M.I.	(me/100g)	VOLUMÉTRICO (NTC 5167)
C/N	13		
Nitrógeno Orgánico (NOrg)	0,44	%	MICRO-KJELDHAL (NTC 5167)
Fósforo Total (P2O5)	0,24	%	COLORIMÉTRICO (NTC 5167)
Potasio total (K2O)	0,03	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Calcio total (CaO)	0,05	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Magnesio total (MgO)	0,04	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Azufre total (S-SO4)	0,02	%	TURBIDIMÉTRICO (NTC 5167)
Hierro total	0,08	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Manganeso total	20	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Cobre total	9,1	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Zinc total	22	p.p.m	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Boro total	1,9	p.p.m	COLORIMÉTRICO (NTC 5167)
Sodio total	0,03	%	EMISIÓN DE LLAMA (NTC 5167)
Sílice total SiO2 (sólido soluble en HF)	1,30	%	ABS. ATÓMICA (NTC 5167)
Residuo Insoluble en ácido	2,83	%	GRAVIMÉTRICO (NTC 5167)

***M.I. : MUESTRA INSUFICIENTE**

OBSERVACIONES: RESULTADOS EXPRESADOS EN BASE HÚMEDA

1. Si usted tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre sus resultados, por favor comuníquese con el Director técnico o con el Coordinador de área.
2. El alcance de la responsabilidad de AGRILAB en el presente informe, se limita a la realización de los análisis de laboratorio relacionados y descritos anteriormente, más NO A GARANTIZAR los productos en su concepción, diseño, calidad y eficiencia.

3. Los resultados analíticos consignados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otro(s) materiales de la misma procedencia.
4. La contramuestra de la muestra analizada se almacenará por un periodo de tiempo de 6 meses, luego será desechada.

ATENTAMENTE,

MYRIAM BENDECK LUGO
Química Director Técnico PQ-1168

OSCAR J. PARRA CORTÉS
Químico Industrial Coordinador De Área

ANEXO P

AGRILAB
Servicios ambientales y agrícolas

Calle 79 B No.70 - 16 Bogotá D.C.
Teléfono: 2231999
Telefax: 2234087
e-mail: agrilab@etb.net.co

Laboratorio de Análisis Químicos
Insumos Agrícolas
Registrado ante el ICA según Resolución 03775 / 02671

Remitente	**PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S. / Ing. Alexander Vallecilla**		
Identificación	M5 - LODO PTAR PROJUGOS	**No. Laboratorio**	**Br. 3089 - MO 16883**
Municipio	Tulua(Valle)		
Fecha de Ingreso	19-may-14	**Fecha Entrega**	05-jun-14

ANALISIS BROMATOLÓGICO ESPECIAL

ELEMENTO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO
Humedad	82,7	%	GRAVIMÉTRICO (MET. INTERNO)
Materia Seca	17,3	%	GRAVIMÉTRICO (MET. INTERNO)
Fracción Mineral	22,6	%	GRAVIMÉTRICO (MET. INTERNO)
Pérdidas por Volatilización	77,4	%	GRAVIMÉTRICO (MET. INTERNO)
FRACCION ORGANICA (77,4%)			
Grasa	2,85	%	GRAVIMÉTRICO (MET. INTERNO)
Fibra Cruda	19,5	%	GRAVIMÉTRICO (MET. INTERNO)
Proteína	15,8	%	MICRO-KJELDHAL (MET. INTERNO)
Extracto no Nitrogenado	39,3	%	
Fibra detergente neutra	49,2	%	GRAVIMÉTRICO (MET. INTERNO)
Fibra detergente ácida	29,2	%	GRAVIMÉTRICO (MET. INTERNO)
NUTRIENTES			
Fósforo (P)	1,37	%	COLORIMÉTRICO (NTC 234)
Calcio (Ca)	0,30	%	ABS. ATÓMICA (MET. INTERNO)
Carbohidratos	30,0	%	COLORIMÉTRICO (Método Interno)
Carbohidratos Base Humeda	7,30	%	COLORIMÉTRICO (Método Interno)

OBSERVACIONES: RESULTADOS EN BASE SECA.

NOTAS:

1. Si usted tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre sus resultados, por favor comuníquese con el Director Técnico o con el Jefe de Laboratorio.

2. El alcance de la responsabilidad de AGRILAB en el presente informe, se limita a la realización de los análisis de laboratorio relacionados y descritos anteriormente, más NO A GARANTIZAR los productos en su concepción, diseño, calidad y eficiencia.

3. Los resultados analíticos consignados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otro (s) materiales de la misma procedencia.

ATENTAMENTE,

MYRIAM BENDECK LUGO
Química Director Técnico PQ-1168

OSCAR J. PARRA CORTÉS
Químico Industrial Coordinador De Área

ANEXO Q

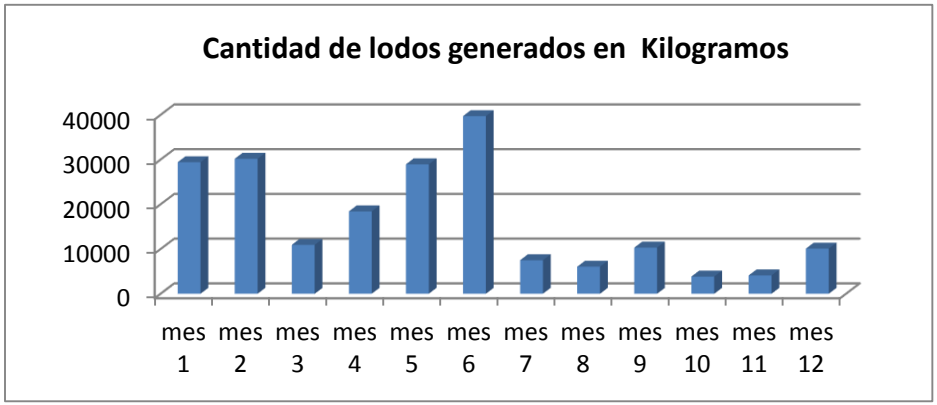
Cuadro 7: Condensado de los resultados de las variables analizadas en la investigación durante el ensayo para los cinco tratamientos y sus repeticiones.

		tratamiento 1					tratamiento 2					tratamiento 3					tratamiento 4					tratamiento 5				
		#repeticiones					#repeticiones					#repeticiones					#repeticiones					#repeticiones				
	variables evaluadas a lombrices	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	#de lombrices	68	6	20	10	7	2	6	4	2	0	34	16	10	0	8	30	35	30	21	25	12	22	25	62	88
	#de cocones	65	20	23	18	14	13	49	13	10	0	62	22	23	0	15	27	25	7	20	18	23	25	38	32	23
	presencia de clitelio	5	5	5	5	5	2	5	4	2	0	5	5	5	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Dia 30	total peso de lombrices	6	0,4	2,5	1	0,9	0,2	3,6	0,2	0,2	0	4,5	3,1	3,3	0	3,1	3,7	3,3	3,4	3,5	3,5	3,5	4,2	4	4,1	5,3
	#de lombrices	80	34	120	54	55	8	28	15	3	12	54	25	39	1	14	58	50	58	68	90	26	102	84	102	147
	#de cocones	75	40	37	45	40	3	14	6	3	4	39	30	25	0	15	20	21	8	7	7	10	14	12	22	21
	presencia de clitelio	25	10	30	12	12	3	5	6	0	6	17	15	16	1	7	14	13	14	12	16	11	15	10	15	18
Dia 60	total peso de lombrices	12	8	19	7,2	7,2	1	3,1	2,5	0,2	2	18,7	12,7	14	0,4	7,2	11,6	17,8	17	15,2	15,4	7,1	10,4	14,1	19	18
	#de lombrices	67	33	90	33	33	10	28	13	21	40	49	25	37	19	29	70	60	60	66	80	30	77	48	90	68
	#de cocones	7	3	5	3	2	0	0	1	10	0	2	0	0	7	0	10	5	2	1	7	0	0	0	0	0
	presencia de clitelio	30	27	25	20	27	5	28	13	21	25	35	20	34	13	18	60	45	50	50	60	15	60	38	70	50
Dia 90	total peso de lombrices	7,6	7,9	8,2	7,1	8	7	16,2	8	12,8	19,2	19,4	15,4	21,5	12,9	14	21	20	19,7	23,1	24,2	12	24,3	16,3	19,1	14
	#de lombrices	30	20	48	57	23	2	18	5	7	14	30	17	25	14	22	40	45	33	23	50	14	38	30	60	90
	#de cocones	0	0	0	0	0	0	0	1	10	0	2	0	0	7	0	30	33	25	17	36	40	36	37	44	50
	presencia de clitelio	15	60	38	70	50	2	18	5	7	14	24	8	13	12	20	36	25	24	23	40	12	31	30	56	30
Dia 120	total peso de lombrices	5	3	7	8	4	0,4	3,6	1	1,4	2,8	11,7	6,6	9,8	5,46	8	8	9	6,6	4,6	10	2,8	7,6	6	12	18

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO R

Grafico 1: Cantidad de lodo generado mensualmente por la PRODUCTORA DE JUGOS S.A.S.



Fuente: Elaboración propia.