



**Evaluación De La Eficiencia De La Lombriz Roja Californiana E. foetida
Para Estabilización De Lodos Residuales De La PTAR Salitre**

**Angie Mabel Albornoz Pineda
Elmer Mauricio Ortega Valencia**

**Universidad Santo Tomas de Aquino
Ingeniería Ambiental, Bogotá
Bogotá, Colombia
2017**

**Evaluación De La Eficiencia De La Lombriz Roja Californiana E. foetida
Para Estabilización De Lodos Residuales De La PTAR Salitre**

**Angie Mabel Albornoz Pineda
Elmer Mauricio Ortega Valencia**

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

Ingenier@ Ambiental

Director (a):

Biólogo Marino, Rafael Gabriel Barragán González

Línea de Investigación:

Tecnologías Ambientales (Tecnologías limpias, tecnologías de Control Ambiental)

Universidad Santo Tomas de Aquino

Ingeniería Ambiental, Bogotá

Bogotá, Colombia

2017

Dedicatoria

La presente tesis se la dedicamos a Dios principalmente que nos ha dado la fortaleza y la vida, a nuestros hermanos y padres que siempre nos han apoyado y estimulado, por su apoyo constante y por haber hecho posible la culminación de esta primera etapa en nuestra formación profesional.

El verdadero significado de la vida es plantar árboles bajo cuya sombra no esperas sentarte.

Nelson Herdenson.

La excelencia no es una habilidad. Es una Actitud.

Ralph Marston.

Agradecimientos

Agradecemos en primer lugar a Dios por regalarnos la oportunidad de vivir esta experiencia, aprovechándola para lograr culminar la carrera.

Agradecemos a todas las personas que de una u otra forma nos dieron ánimos, apoyo y fortaleza durante cada etapa de este proceso y para el desarrollo de este proyecto.

Gracias a nuestras familias por el apoyo y la comprensión, por guiarnos y creer en nosotros; han sido una parte importante de nuestro desarrollo como profesionales y como personas.

Damos nuestro total agradecimiento a nuestro profesor y director de tesis Rafael Gabriel Barragán González por compartirnos sus conocimientos, brindarnos su apoyo y asesoría, además de su tiempo y dedicación para el desarrollo de esta tesis.

Gracias a todos nuestros profesores de la facultad de Ingeniería Ambiental, porque cada uno aportó a nuestro crecimiento y formación ética y profesional.

Resumen

La producción excesiva de lodos como subproducto del tratamiento de aguas residuales representa en la actualidad una problemática que seguirá en aumento. Una de las alternativas que se han propuesto para reincorporar estos biosólidos a la cadena productiva, consiste en aprovecharlos como abono orgánico para mejorar las características del suelo; esto es posible gracias a la riqueza mineral que presentan en sus componentes.

En el presente proyecto, se realizó un montaje experimental a escala de laboratorio a partir de la investigación fallida que se desarrolló en torno a determinar la viabilidad del uso de estos lodos en aplicaciones agrícolas en la PTAR Salitre. De esa manera se propusieron 6 tratamientos, variando el porcentaje de biosólidos y un sustrato como el estiércol en cada uno de los lechos para comparar su proceso de vermiestabilización y así mismo sus diferencias en las características finales.

Se concluyó que sin importar la composición de los lechos en cuando a porcentajes de sustrato la estabilización con *Eisenia foetida* es efectiva para los biosólidos generados por la PTAR el Salitre, si se mantienen los rangos óptimos de temperatura, pH y humedad para que la lombriz se desarrolle y produzca humus. En todos los tratamientos disminuyó el contenido de coliformes fecales de 688.000 NMP/gTs en el biosólido inicial de la PTAR a 0 UFM/g base seca después del proceso de vermiestabilización. Finalmente, se realizaron pruebas para sistematizar el proceso de vermiestabilización con ayuda de una plataforma de prototipos electrónica (arduino) y sensores de temperatura y humedad (DHT11) que permitan monitorear y realizar un seguimiento al proceso de manera más sencilla y efectiva, además que los datos se pueden subir a la nube, de esta manera realizar el monitoreo desde cualquier parte y así mismo su rápido análisis.

Palabras clave: *Eisenia foetida*, Lombriz “roja californiana”, vermicompost, lodos residuales, estabilización, planta de tratamiento de aguas residuales, biosólidos.

Abstract

Excessive production of sludge as a by-product of wastewater treatment now represents a growing problem. One of the alternatives that have been proposed to reincorporate these biosolids to the productive chain, which includes to use them as organic fertilizer to improve soil characteristics; It is possible thanks to the mineral wealth that presents in its components.

In the present project, a laboratory-scale experimental setup was carried out based on the failed research that was carried out to determine the feasibility of using these methods in agricultural applications at the El Salitre wastewater treatment plant. In this way, 6 treatments were proposed, varying the percentage of biosolids and a substrate such as manure in each of the beds to compare their vermistabilization process and also their differences in the final characteristics.

It was concluded that regardless of the composition of the beds when substrate percentage stabilization with *Eisenia* is effective for the biotics generated by the wastewater treatment plant El Salitre, if the optimum ranges of temperature, pH and humidity are maintained for the worm to develop and produce Humus. In all treatments the fecal coliform content of 688,000 NMP / gTs was reduced in the initial biosolide of the PTAR at 0 UFM / g dry basis after the vermistilization process. Finally, tests were carried out to systematize the van process with the help of an electronic prototype platform and temperature and humidity sensors (DHT11) to monitor and perform a simpler and more efficient tracking process, in addition to the data can be uploaded to The cloud, in this way to carry out the monitoring from anywhere and also its rapid analysis.

Keywords: *Eisenia foetida*, “red” earthworm, vermicompost, residual sludge, stabilization, Residual water treatment plant, biosolids.

Contenido

Pág.

1	JUSTIFICACIÓN	13
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
3	OBJETIVOS	15
3.1	Objetivo General	15
3.2	Objetivos específicos	15
4	MARCO TEÓRICO.....	16
4.1	Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)	16
4.1.1	Planta de tratamientos de aguas residuales Salitre	16
4.2	Producción y tratamiento de lodos en PTAR.....	18
4.3	Aplicación De Lodo Residual	22
4.4	Lombrices de tierra.....	24
4.4.1	Lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia foetida</i>)	25
4.5	Lombricultura	28
4.6	Factores a considerar en el manejo de lombrices	29
4.6.1	Temperatura	29
4.6.2	Acidez o pH.....	30
4.6.3	Humedad	30
4.6.4	Luz	30
4.6.5	Aireación	30
4.7	Vermiestabilización de lodos	31

5	METODOLOGÍA.....	34
6	RESULTADOS Y ANÁLISIS	41
6.1	Análisis inicial de los biosólidos	41
6.2	Análisis variables de temperatura, pH y Humedad	42
6.3	Análisis de variables cualitativas	46
6.4	Análisis de componentes principales (PCA).....	50
6.5	Análisis de laboratorio	54
6.6	Comparación con la norma	55
7	Aplicación	57
8	Conclusiones y recomendaciones	61
8.1	Conclusiones.....	61
8.2	Recomendaciones	62
1	JUSTIFICACIÓN	13
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
3	OBJETIVOS	15
4	MARCO TEÓRICO.....	16
5	METODOLOGÍA.....	34
6	RESULTADOS Y ANÁLISIS	41
7	Aplicación	57
8	Conclusiones y recomendaciones.....	61

Lista de Ilustraciones

	Pág.
Ilustración 4-1. Proceso de la PTAR el salitre	18
Ilustración 4-2: Anatomía de la Lombriz Roja Californiana.....	26
Ilustración 4-3: Lombriz Roja Californiana.....	28
Ilustración 5-1: Diagrama de los contenedores de los tratamientos	36
Ilustración 5-2: Montajes de vermiestabilización de Biosólidos	36
Ilustración 5-3: Monitoreo de pH	37
Ilustración 5-5: Ajuste de humedad y aireación durante el proceso de vermiestabilización	39
Ilustración 7-1. Procedimiento diluciones para siembra en superficie	77
Ilustración 7-2. Resultados Siembra en superficie	79

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 4-1. Los principales datos de la PTAR Salitre	17
Tabla 4-2. Caracterización Agua Cruda	17
Tabla 4-3. Fuentes de sólidos y de lodos en el tratamiento de aguas residuales	19
Tabla 4-4. Concentraciones físico químicas promedio en el biosólido.	21
Tabla 4-5. Concentraciones microbiológicas promedio en el Biosólido.....	21
Tabla 4-6. Clasificación zoológica de la Lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia</i> <i>Foetida</i>)	25
Tabla 4-7. Incidencia de pH, temperatura y humedad sobre el comportamiento de las lombrices <i>Eisenia foetida</i> durante el proceso de lombricultura.	31
Tabla 5-1. Planteamiento de la metodología	34
Tabla 5-2: Dimensiones de los recipientes.....	35
Tabla 5-3. Porcentajes del montaje experimental	36
Tabla 5-4. Consideraciones para la prueba de puño	38
Tabla 5-5. Rangos de las características organolépticas del biosólido y de la lombriz durante el proceso de estabilización.....	39
Tabla 6-1. Resultado final a cada tratamiento y comparación con el biosólido inicial	54
Tabla 6-2. Comparación de los análisis de laboratorio con la norma Colombiana	55
Tabla 7-1. Viabilidad económica para la aplicación de la vermiestabilización en la PTAR El Salitre	57
Tabla 7-2. Costos actuales de manejo de biosólidos en la empresa Transmasivo S.A.	58
Tabla 7-3. Aplicación de la técnica de vermiestabilización para la empresa Transmasivo S.A.	59
Tabla 7-4. Ahorro potencial para la empresa Transmasivo S.A. con la técnica de vermiestabilización	60
Tabla 8-1. Proceso de filtración de suelo	73
Tabla 8-2. Resultados siembra en superficie para Coliformes Fecales.....	80

Lista de Gráficas

Gráfica 6-1: Variación de temperatura	42
Gráfica 6-2: Variación perdida de humedad	43
Gráfica 6-3: Variación de pH	45
Gráfica 6-4: Variación del Color del Biosólido	46
Gráfica 6-5: Variación en el olor del Biosólido	47
Gráfica 6-6: Variación en la textura del Biosólido	47
Gráfica 6-7: Variación del color de la lombriz	48
Gráfica 6-8: Variación en el tamaño de la lombriz	48
Gráfica 6-9: Variación en la cantidad de lombriz	49
Gráfica 6-10. PCA Para las variables medidas y controladas presentando los grupos por fecha de muestreo	50
Gráfica 6-11. PCA de las variables medidas y controladas presentando los grupos por tratamiento	51
Gráfica 6-12. PCA de las variables medidas y controladas presentando los grupos por media geométrica de las características de la Lombriz	52
Gráfica 6-13. PCA de las variables medidas y controladas presentando los grupos por media geométrica de las características del biosólido	53
Gráfica 7-1. Variación en la Humedad	82
Gráfica 7-2. Variación de temperatura	83
Gráfica 7-3. Comportamiento de la temperatura durante la experimentación	85
Gráfica 7-4. Comportamiento de la Humedad durante la experimentación	85

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional trae consigo un mayor consumo de agua, para diferentes actividades ya sea en el sector doméstico o el sector industrial de las cuales se generan aguas residuales, como resultado del tratamiento de estos efluentes se obtienen dos productos, el agua que es incorporada a un cauce con una menor carga contaminante y una sustancia semilíquida denominada lodo, un residuo que para evitar contaminación al ambiente y a la salud humana debe ser tratado.

El tratamiento o estabilización del lodo implica descontaminación de parámetros con metales pesados, materia orgánica, microorganismos patógenos, entre otros, a través de diferentes técnicas de estabilización el lodo se transforma en un residuo inerte es decir que no es nocivo. [1]

En la actualidad, Colombia genera diariamente 274 toneladas de biosólidos repartidos entre las PTAR Salitre, Cañaveralejo y San Fernando, debido a estas cantidades considerablemente grandes, el interés por caracterizar estos biosólidos se ha convertido en algo fundamental para una adecuada gestión. Dependiendo de su calidad, se da prelación a una u otra alternativa de aprovechamiento. [2]

Existen diferentes procesos físicos usados para la separación, reducción de volumen, descontaminación y transformación de las características de los biosólidos: como acondicionamiento, neutralización, estabilización, oxido-reducción, solidificación y extracción. [3]

Una de las técnicas usadas para la estabilización del lodo es la vermiestabilización o lombricultura es decir, uso de lombrices enfocado a transformar materia orgánica presente en un sustrato. Esta técnica se inició en EEUU en la década de los 50, se extendió a Europa y finalmente hacia el resto del mundo. En la actualidad, existe un amplio marco normativo que regula esta técnica, para el aprovechamiento en el sector agrícola.

Dentro de este contexto, este proyecto busca implementar una metodología de bioensayo, con el propósito de reutilizar y aprovechar los biosólidos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales el Salitre, evitando el vertimiento del lodo residual o una inadecuada disposición, para tal efecto se sometió a un proceso de vermiestabilización buscando transformar sus características iniciales, garantizando la mitigación de impactos ambientales y dando un valor agregado a estos, como su uso en el sector de la agricultura.

1 JUSTIFICACIÓN

Debido a la crisis ambiental que enfrenta actualmente el mundo, es de gran importancia plantear alternativas para el tratamiento y disposición final de los lodos generados por las Plantas de tratamiento de Aguas Residuales, debido a que el tratamiento que se realiza a estos lodos comúnmente no aprovecha su potencial energético y agrícola.

Es por esto que si se realiza un tratamiento adecuado de estos lodos y se utiliza para descontaminar el suelo; no solo con una proyección comercial sino como una propuesta para habitantes vinculados al sector agropecuario se puede mejorar la calidad de vida de las comunidades, ya que al tener un suelo más sano y con mejores condiciones se obtiene un cultivo más eficiente por ende la producción de alimentos puede ser de mayor calidad; con el fin de que estos productos que llegan al mercado, sean productos que no generen enfermedades o problemas adversos a corto y/o largo plazo.

La prueba que se realizó, se hizo importante debido a que logró determinar la eficiencia de la Lombriz Californiana para la estabilización de los biosólidos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales permitiendo así proponer la lombricultura como una técnica que permite la transformación de las características iniciales de estos lodos residuales y se definió la clasificación a partir de la comparación de los parámetros analizados en laboratorio con los parámetros estipulados en la legislación.

La importancia ambiental de este proceso de estabilización radicó en transformar los biosólidos ya mencionados, darles un valor agregado y proporcionar un adecuado aprovechamiento a estos residuos de la PTAR.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El incremento de la población y las diferentes actividades que se realizan domesticas e industriales generan aguas residuales, ocasionando una problemática ambiental por la contaminación al recurso hídrico, esto además de mencionar que casi 800 millones de habitantes urbanos viven sin acceso a instalaciones de saneamiento. Del tratamiento de estas aguas residuales se generan los biosólidos como subproducto de las PTAR y su composición puede variar en función de las características iniciales del agua residual. [4] [5]

La PTAR el Salitre genera 165 toneladas diarias de biosólidos, los cuales fueron utilizados un tiempo como cobertura en el relleno de doña Juana y hoy en día son dispuestos en un predio ubicado en el sur occidente de la ciudad de Bogotá. Debido al aumento secuencial de estos lodos su manejo y disposición se vuelve cada vez más compleja, la disponibilidad de sitios adecuados para la disposición final y los costos de transporte se suman a esta problemática.

Los residuos de las plantas de tratamiento de aguas son ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros elementos. Sin embargo, para muchas actividades productivas es necesaria la estabilización microbiológica del sustrato. La lombricultura posibilita la producción de abonos orgánicos [6] que mejoran la estructura del suelo, el intercambio gaseoso, la oxidación de la materia orgánica y la entrega de nutrientes que las plantas asimilan, estimulando el crecimiento vegetal. [7] [8] [6]

En la PTAR el Salitre se intentó estabilizar los biosólidos que se generan con ayuda de lombrices, pero no se tuvo éxito (comunicación personal). Por tal motivo, en este proyecto se plantea evaluar la eficiencia de la lombriz *Eisenia foetida* para estabilizar los biosólidos de la PTAR el Salitre y poder determinar si controlando las variables que afectan las lombrices estas pueden lograr mejorar las características de estos lodos.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia de la especie *Eisenia foetida* durante el proceso de vermiestabilización a escala de laboratorio de lodos residuales provenientes de la PTAR Salitre.

3.2 Objetivos específicos

- Desarrollar una metodología de bioensayo para determinar la eficiencia de la lombriz *Eisenia foetida* para la estabilización de lodos generados en plantas de agua residual.
- Realizar monitoreo y seguimiento de las condiciones pH, temperatura y humedad en el proceso de estabilización del lodo residual.
- Evaluar las condiciones finales del humus obtenido.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Las plantas de tratamiento de aguas residuales contribuyen a la conservación del medio acuático circundante mediante la eliminación de contaminantes de aguas residuales, de los efluentes industriales y domésticos, analizando la cantidad y calidad de agua de entrada y salida. Sin embargo las P.T.A.R. presentan impactos al medio ambiente durante su periodo de funcionamiento, debido al consumo de energía, uso de productos químicos, la generación de lodos, gas y emisiones, entre otros. [9]

En general, las aguas residuales consisten de dos elementos, un efluente líquido y un componente sólido, que es el lodo generado. Existen dos formas generales de tratar las aguas residuales. Una de ellas consiste en dejar que las aguas residuales se asienten en el fondo de los estanques, permitiendo que el material sólido se deposite en el fondo. Después se trata la corriente superior de residuos con sustancias químicas para reducir el número de contaminantes dañinos presentes. El segundo método más común consiste en utilizar la población bacteriana para degradar la materia orgánica. Este método, conocido como tratamiento de lodos activados, requiere el abastecimiento de oxígeno a los microbios de las aguas residuales para realzar su metabolismo. [10]

4.1.1 Planta de tratamientos de aguas residuales Salitre

En el norte de la ciudad de Bogotá las aguas residuales se generan principalmente por hogares, oficinas, colegios, universidades, entre otras fuentes; estas aguas son tratadas por la PTAR Salitre, la cual se encuentra ubicada al nor-occidente de la ciudad en las siguientes coordenadas: Latitud: 4°44'16.73"N y Longitud 74° 7'24.73"O. [11], [12]

Tabla 4-1. Los principales datos de la PTAR Salitre

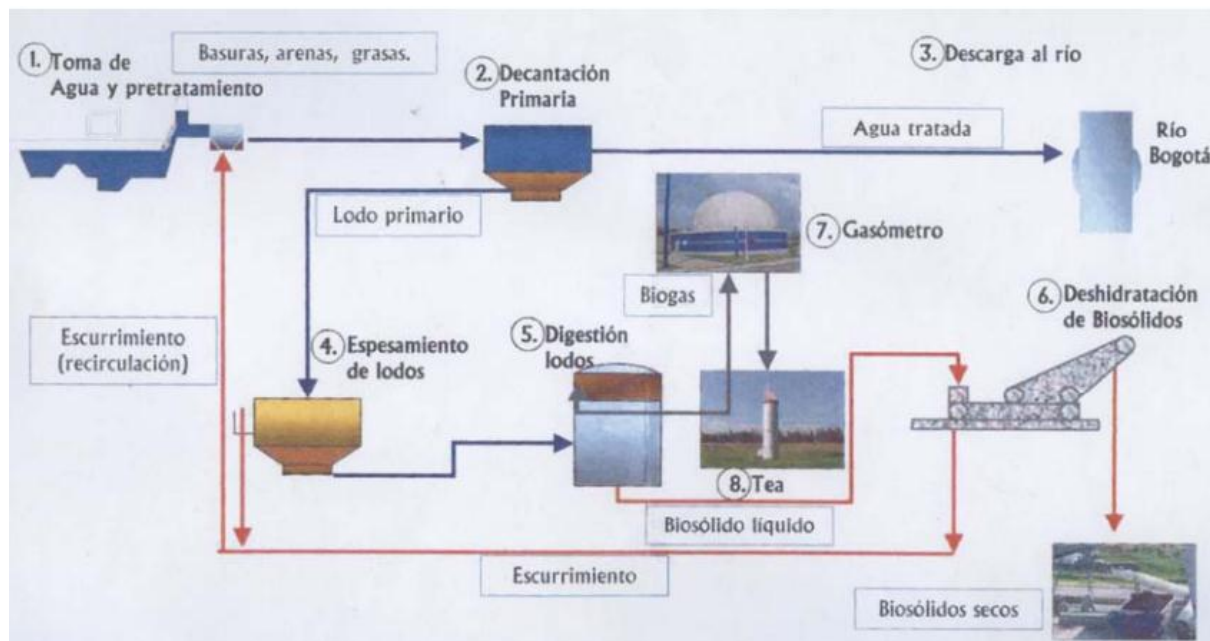
- **Población atendida:** 2.200.000 habitantes aproximadamente
- **Tipo de tratamiento:** Primario avanzado químicamente asistido
- **Caudales de operación:** Medio: 4.0 m³/s Máximo: 9.9 m³/s
- **Eficiencia en remoción** (Según Licencia Ambiental)
SST: 60%
DBO5: 40%
- **Estabilización de lodos:** Tratamiento anaeróbico
- **Generación de biogás:** 13500 m³/d
- **Generación de biosólidos:** 165 ton/d.

Fuente: [13]**Tabla 4-2. Caracterización Agua Cruda**

Parámetro	Unid.	Valor
SST	mg/L	226
DBO5	mg/L	264
DQO	mg/L	564
Ph	Unid.	7,33
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	208
SSV	mg/L	158
ST	mg/L	613
SV	mg/L	310
Turbiedad	NTU	173
Conductividad	mS	677

Fuente: [12]

Para ingresar el agua a la planta se utilizan cinco unidades de bombeo llamadas tornillos de Arquímedes o bombas de tornillo. Continuamente estos toman 4 m³/s de agua y la ingresan para su tratamiento. En el pre-tratamiento que se realiza, el agua es filtrada para eliminar basuras, agregando productos químicos, de esta manera aglomerar las partículas y formar flocs para facilitar la separación del agua. El agua floculada es conducida a tanques sedimentadores donde permanece 3 horas, de este proceso se obtiene en el fondo del tanque una mezcla oscura denominada “lodo primario”. Finalmente el agua tratada es entregada de nuevo al río Bogotá. [12]

Ilustración 4-1. Proceso de la PTAR el salitre

Fuente: [14]

4.2 Producción y tratamiento de lodos en PTAR

Según Mahamud la producción de lodos en el tratamiento de aguas residuales es normal y necesaria ya que en el proceso de depuración (decantación primaria) es inevitable su generación. Mahamud los define como cualquier sólido, semi-sólido o líquido de desecho generado por una planta municipal, comercial o industrial de tratamiento de aguas residuales, de aguas de consumo o instalaciones de control de la contaminación atmosférica u otra clase de desechos de similares características y efectos. [15]

Las aguas residuales contienen una diversidad amplia de contaminantes, el tratamiento de estas aguas genera como subproducto lodos cuyas características dependen principalmente de su origen, su tiempo de retención en las etapas de la PTAR y el tipo de tratamiento que han recibido. La estabilización de lodos es un proceso que tiene las ventajas de reducir la masa y volumen de éstos, facilitar el desaguado y reducir los organismos patógenos, olores y atracción de vectores. [16], [17]

Tabla 4-3. Fuentes de sólidos y de lodos en el tratamiento de aguas residuales

Unidad	Tipo de sólido o de lodo	Observaciones
Cribado	Sólidos gruesos	Los sólidos retenidos por la criba son removidos manual o mecánicamente
Desarenadores	Arena y espuma	A menudo, se omite la remoción de espuma en desarenadores
Preaireación	Arena y espuma	A menudo, se omite la remoción de espuma en la preaireación. Puede ocurrir sedimentación de arena si no existen desarenadores antes de la preaireación
Sedimentación primaria	Lodo y espuma primarios	La cantidad depende del tipo de agua residual afluente
Tratamiento biológico	Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos son el resultado de la síntesis biológica de la materia orgánica
Sedimentación secundaria	Lodo y espuma secundarios	La remoción de espuma es requisito exigido por la USEPA*
Tratamiento de lodos	Lodo, compost, cenizas	El lodo obtenido depende de su origen y del proceso usado en su tratamiento

Fuente: [18]

Como se puede observar en la tabla 4-3 los lodos que se producen en los procesos de tratamiento de aguas residuales son principalmente los siguientes:

1. Lodo primario proveniente de la sedimentación.
2. Lodo secundario proveniente del tratamiento biológico.
3. Lodos digeridos provenientes de los dos procesos anteriores, separados o mezclados.
4. Lodos provenientes de la coagulación y sedimentación.
5. Lodos provenientes de plantas de desarenadores y rejillas.

Los lodos provenientes de las aguas residuales están compuestos especialmente por materia orgánica removida del agua residual, la cual eventualmente se descompone y causa los mismos efectos indeseables del agua residual cruda. Los contaminantes son eliminados de distintas formas, en gran medida por la absorción en el lodo generado en un tratamiento fisicoquímico o biológico. Este lodo dese ser sometido a un análisis para determinar su grado de peligrosidad y posteriormente ser estabilizado, planeando alternativas para el manejo y disposición del mismo, evitando su putrefacción y atracción de vectores [19]

Dentro de las alternativas para el procesamiento y aprovechamiento del lodo residual existen algunos de los siguientes procesos:

- **Digestión anaerobia:** la formación de bacterias anaerobias generan gas metano a partir de los ácidos que se encuentra en el lodo, esto se produce por la ausencia de oxígeno molecular (O₂)
- **Digestión aerobia:** se realiza una aireación prolongada, provocando el desarrollo de microorganismos para reducir el material celular.

- **Tratamiento químico:** mediante acción bacteriana se detienen fermentaciones ácidas temporalmente, el reactivo que más se utiliza es la cal.
- **Incineración:** se realiza la combustión de materia orgánica, reduciendo su volumen.
- **Estabilización:** se hace uso de microorganismos y en el caso de vermiestabilización, se permiten condiciones viables para reducir presencia de patógenos, eliminar olores desagradables y eliminar la putrefacción de la materia orgánica.
- **Vermiestabilización:** con el uso de lombriz de tierra se realiza la estabilización de lodo residual, reduciendo patógenos

El propósito final del tratamiento de lodos residuales está enfocado a reducir su volumen, usando algunos de los procesos mencionados anteriormente. Otro enfoque que se le da al usar estos tratamientos es la estabilización, reduciendo la actividad biológica y su contenido de contaminantes. [19]

En la **PTAR El Salitre** la generación de lodos ocurre en el proceso de sedimentación donde se obtiene el lodo primario. Este lodo resultante pasa a los tanques espesadores, donde se le retira el exceso de agua, produciendo lodo espesado. Posteriormente, el lodo espesado pasa a los tanques digestores en los cuales a 35 °C, se acelera el proceso de descomposición del mismo por medio de bacterias anaerobias las cuales son las encargadas de degradar la materia orgánica. Aquí se produce lodo digerido; el cual es secado en filtros bandas y de esta manera convertido en biosólido (nombre técnico de este material). Durante este proceso de digestión se produce biogás que es rico en metano. Alrededor del 30% es usado para calentar los lodos en el proceso de digestión y el biogás restante es quemado en una chimenea llamada “tea”. [12]

El biosólido de la PTAR El Salitre es clasificado de acuerdo al Decreto 1287 del 10 de julio de 2014 el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio “Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales” que incorporó gran parte de las disposiciones contenidas en la norma US EPA 40 CFR part 503, el biosólido obtenido en la PTAR El Salitre, es clasificado en la categoría B que contempla el Decreto, dando viabilidad al uso actual que se le está dando al producto. [20]

La diferencia entre lodo y biosólido es que el término lodo corresponde a un líquido con contenido de sólidos en suspensión sin ningún tratamiento, mientras que biosólido corresponde a un sólido que ha sido llevado a procesos de estabilización, que no genera riesgos ni a la sociedad, ni a los recursos naturales. En general, los biosólidos son los sólidos provenientes del tratamiento de aguas residuales municipales, estabilizados biológicamente, con suficiente

concentración de nutrientes, bajo contenido de microorganismos patógenos, presencia permisible de metales pesados, que se pueden utilizar como fertilizante, acondicionador o mejorador de suelos, de acuerdo con la composición fisicoquímica del biosólido y la vocación de uso del suelo. [18]

La PTAR El Salitre realiza un monitoreo mensual de los parámetros que permiten conocer el comportamiento y características físicas, químicas y microbiológicas de los biosólidos que generan, estas muestras no se analizan en el laboratorio de la PTAR, se envían a un laboratorio certificado. Mensualmente se analizan, en una muestra compuesta, los siguientes metales pesados: Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio y Zinc. En muestras puntuales mensuales se analizan los siguientes parámetros físico químicos y microbiológicos: Nitrógeno total, Nitrógeno amoniacal, Nitritos, Nitratos, Fósforo total, pH, Sólidos totales y Sólidos volátiles, Coliformes fecales y Salmonella (indicador de bacterias), Fagos somáticos (indicador de virus) y Huevos de helminto viables (indicador de parásitos). [21]

Los datos que se presentan a continuación son los análisis de los biosólidos que se obtienen de la PTAR:

Tabla 4-4. Concentraciones físico químicas promedio en el biosólido.

Parámetro	Promedio* (mg/Kg Base Seca)
Nitrógeno total	26823,7
Nitrógeno amoniacal	4457,7
Nitratos	216,2
Nitritos	2,6
Fósforo	24470,6
pH	7,7
Sólidos totales	325365,0
Sólidos volátiles	158564,6

Fuente: [21]

Tabla 4-5. Concentraciones microbiológicas promedio en el Biosólido.

Parámetro	Promedio*
Coliformes fecales (UFC/g Base Seca)	6,88E+05
Fagos somáticos (PFP/4g Base Seca)	2,43E+06
HH totales (huevos/4g Base Seca)	5,86
HH viables (huevos/4g Base Seca)	7,52
Salmonella (NMP/4g Base Seca)	0,80

Fuente: [21]

La PTAR el Salitre espera que la utilización del biosólido como biofertilizante o abono orgánico, sirva para mejorar las características de los suelos donde se aplica actualmente y mejore también la productividad de los cultivos sembrados, de esta manera busca disminuir en algún porcentaje la diferencia que existe entre la producción interna de fertilizantes y su demanda anual en Colombia.

4.3 Aplicación De Lodo Residual

Se han propuesto varias alternativas para el aprovechamiento de los lodos residuales entre las cuales se destaca su uso para la generación de biogás, debido a que son altos en sólidos volátiles, indispensable para la generación de biogás. Es importante tener en cuenta que la generación de biogás como combustible, debe ser conveniente al tipo de actividad para la cual se va usar, la normativa e incluso a la sociedad. [22]

Los biosólidos también pueden reciclarse y ser aplicados como fertilizante para mejorar y mantener suelos productivos y estimular el crecimiento de las plantas, de esta manera aportan nutrientes a los cultivos o cualquier tipo de vegetación cultivada, además en bosques, sitios de recuperación, sitios de contacto público (por ejemplo, parques, granjas de césped, camellones carreteras, campos de golf), céspedes y huertos familiares. [23]

Los componentes del lodo residual presentan varios macronutrientes principalmente N y P, en la mayoría de los casos y dependiendo del origen de las aguas se identifican cantidades variables de micronutrientes como el boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn). La proporción exacta de estos nutrientes no se encuentra bien equilibrada como la de un fertilizante formulado; pero los nutrientes en lodos de depuradora se puede combinar con nutrientes de otros fertilizantes para proporcionar las cantidades adecuadas de nutrientes necesario para la producción de cultivos [24]. Sin embargo, teniendo en cuenta el origen de los lodos es probable que contengan algún porcentaje de contaminantes como metales, además de patógenos, por ello el lodo que se va usar en el suelo debe cumplir con algunos parámetros de calidad, evitando un mayor deterioro al suelo o al recurso hídrico.

La US-EPA, Agencia de Protección de los Estados Unidos ha elaborado estándares como la US-EPA CFR 40 PARTE 503 un marco regulatorio de protección para gestionar el uso y disposición de los lodos de depuradora, aquí se establecen parámetros de calidad asegurando un uso sin problemas tanto para la salud humana como para el medio ambiente [23]. El Reglamento establece dos niveles de calidad de los lodos de depuradora con respecto a las concentraciones de metales pesados. Las concentraciones de contaminantes; y dos niveles de calidad con respecto a patógenos- Clase A y Clase B, los cuales se especifican a continuación:

Los lodos residuales **Clase A** deben cumplir con uno de los siguientes requisitos en el momento de uso o eliminación, cuando se prepara para la venta o aplicación al suelo o la producción de otros productos:

- 1) Una densidad de coliformes fecales menor a 1000 Número Más Probable (MPN) por gramo de sólidos secos totales (1000 NMP / g TS)
- 2) A sp Salmonella. densidad de menos de 3, muy probablemente Número (MPN) por 4 gramos de total de sólidos secos (3 NMP / 4gTS).

Clase B es el nivel mínimo de reducción de patógenos para el uso de la tierra y la eliminación de la superficie. La única excepción a lograr al menos de clase B se produce cuando los lodos de depuradora se coloca en una unidad de eliminación de superficie que está cubierta diaria. Lodos de depuradora que no califica como clase B no se puede aplicar la tierra.

Lodos de depuradora Clase B debe cumplir uno de los requisitos siguientes patógenos:

- 1) Al menos siete muestras de lodos de aguas residuales se deben recoger en el momento de uso o eliminación y se analizaron para Fecal coliformes durante cada período de seguimiento. Se calculará la media geométrica de las densidades de estas muestras y debe cumplir con los siguientes criterios:
 - Menos de 2 millones más Probablemente Número por gramo de sólidos secos totales (2.000.000 NMP / TS).
 - Menos de 2.000.000 unidades formadoras de colonias por gramo de sólidos secos totales (2.000.000 CFU /gTS). [25]

Estos biosólidos se pueden utilizar en bosques, campos de pastoreo, o en terrenos alterados que necesitan recuperación y debido a su origen se pueden utilizar en terrenos agrícolas en donde los productos no tengo contacto directo con el suelo. Éstos mejoran las características del suelo, tales como la textura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. También provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre. Los biosólidos pueden servir también como una alternativa o sustituto al menos parcial de los costosos fertilizantes químicos. [16]

Desde el inicio de la operación de la PTAR El Salitre, y hasta el mes de Junio de 2007, el biosólido generado fue aprovechado como abono en la cobertura de las

celdas clausuradas del Relleno Sanitario Doña Juana, mejorando el crecimiento, desarrollo y resistencia del pasto cultivado. Actualmente, de acuerdo a los criterios para la disposición de las distintas clases de biosólido, establecidos en el Decreto 1287 de 2014, la PTAR El Salitre realiza aprovechamiento del biosólido mezclándolo con suelo como cobertura final para el restablecimiento de la cobertura vegetal del predio El Corzo I. Esta actividad fue autorizada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR, es así como desde el mes de julio de 2007 se inició la disposición y aprovechamiento del biosólido en este predio propiedad de la EAB –ESP, el cual se encuentra localizado al suroccidente de la ciudad en los límites de las localidades de Kennedy y Bosa y fue empleado para la disposición de los sobrantes de excavación de las obras de alcantarillado del Tintal y del Canal Cundinamarca. [20]

4.4 Lombrices de tierra

Las lombrices de tierra son consideradas ingenieras del ecosistema, ya que intervienen en la aireación e infiltración del suelo, y proporcionan materia orgánica disponible para otros organismos del suelo. Las lombrices de tierra se distribuyen en el área del suelo denominada drilosfera, que es el micrositio en donde convergen con los microorganismos. En relación a su distribución en el suelo, las lombrices se clasifican funcionalmente en tres categorías ecológicas: epigeas, endógenas y anecicas.

Las lombrices endógenas se clasifican en polihúmicas, mesohúmicas y oligohúmicas de acuerdo a la cantidad de materia orgánica que ingieren. Las lombrices por su origen pueden ser nativas o exóticas, y pueden tener una distribución local, regional o global. Las exóticas son aquellas que presentan una distribución global y un amplio intervalo de tolerancia a diferentes factores edáficos, mientras que la distribución de las lombrices nativas es reducida y restringida a un tipo de uso del suelo, o tienen nichos edáficos o climáticos estrechos. Las lombrices también pueden ser compactadoras o descompactadoras de acuerdo a los efectos que producen a la estructura del suelo. [26]

Se estima que hay en el planeta más de 8500 especies de lombrices, entre las cuales la más conocida es la lombriz de tierra; sin embargo para el manejo de desechos orgánicos se utilizan lombrices especiales, que reúnan ciertos requisitos tales como alta voracidad, alta capacidad reproductiva, fáciles de trabajar y con capacidad para adaptarse a condiciones adversas, desde los 0 hasta los 3000 msnm. Las especies más utilizadas en la Lombricultura y que reúnen los requisitos anteriormente citados son (coqueta roja) y (lombriz roja de California), especies utilizadas en el 80% de los criaderos a nivel mundial. [27]

De los tres grandes grupos taxonómicos de lombrices que albergan más de 7.000 especies, las especies epigeas son las más adecuadas para el vermicompostaje. Dentro del grupo de las epigeas, la *Eisenia andrei* y *Eisenia foetida* o Lombriz Roja Californiana, son las más empleadas para el tratamiento de residuos orgánicos a través de compostaje [28]. Las epigeas se caracterizan por vivir en la superficie de los suelos, en acumulaciones de materia orgánica. Estas características originan que estén en constante peligro, ya sea por la acción directa del hombre o por otras causas. No obstante, este grupo posee determinadas características que les permiten sobrevivir, como son: su alta capacidad de reproducción, de aprovechamiento de alimentos y su capacidad para producir capullos resistentes. [29]

Ambas especies, muy relacionadas entre ellas, tienen amplia distribución por todo el mundo, son de fácil manejo y muy resistentes. Bajo condiciones óptimas, su ciclo de vida es de alrededor de 51 días; las crías tardan entre 21-30 días en alcanzar la madurez; y su longevidad máxima llega a los 5 años de vida. Aunque la *E. foetida* tiene mayor capacidad adaptativa, en medios de cultivo controlados, la *E. andrei* compite e incluso domina a la *E. foetida*. Es posible que en numerosos estudios sobre vermicompostaje en los que se mencionaba únicamente a la *E. foetida*, se tratase de la *E. andrei* o de una mezcla entre ambas, que aunque pueden compartir nicho ecológico, no se aparean entre ellas naturalmente. [28]

4.4.1 Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*)

Las lombrices están clasificadas en el reino animal como Anélidos, de la clase de los Oligoquetos (nombre que procede del griego oligo –escaso– y quetos –pelos–, referido a las diminutas filas de cerdas que recorren la parte ventral y lateral de su cuerpo, las cuales sirven como elemento de agarre durante el desplazamiento). Viven en ambientes húmedos, rehúyen la luz y se nutren de sustancias inorgánicas y restos orgánicos vegetales y animales en descomposición, por lo que son excelentes recuperadores de los suelos. [30]

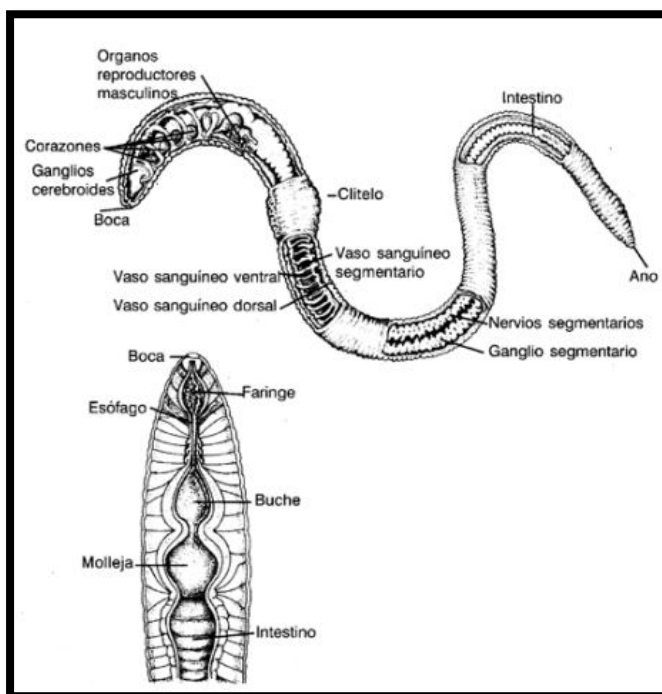
Tabla 4-6. Clasificación zoológica de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*)

Reino	Animal
Tipo	Anélido
Orden	Oligoqueto
Familia	Lombricidae
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>Foetida</i>

Fuente [31]

Eisenia foetida o lombriz roja californiana, que es la especie más utilizada en lombricultura, suele tener, en estado adulto, una longitud entre 5 y 9 cm con un diámetro entre 3 y 5 mm. Es de color rojo púrpura y puede alcanzar en condiciones óptimas entre 1 y 1,2 g de peso. El número de segmentos varía entre 80 y 120 con un promedio de 95. Cuando son adultas presentan un clitelo o abultamiento en forma de silla de montar situado entre los segmentos 24 al 32. [30]

Ilustración 4-2: Anatomía de la Lombriz Roja Californiana



Fuente: [32]

La respiración es cutánea por ende la lombriz roja californiana respira a través de la piel. Su sistema digestivo es recto y consta de una boca sin dientes, a la cual le siguen la faringe y el esófago. En este último se encuentran a ambos lados las glándulas calcíferas, las cuales segregan carbonato de calcio. Esta sustancia tiene la propiedad de neutralizar los ácidos de los alimentos. Una vez que el alimento ha llegado al esófago pasa al buche, a la molleja y de ahí al intestino, donde actúan enzimas degradando los alimentos en sustancias más simples. Las deyecciones salen a través del ano enriquecidas por microorganismos propios de su flora bacteriana. Las lombrices consumen diariamente una cantidad de alimento equivalente a su peso corporal. [30]

Los alimentos orgánicos que son útiles para las lombrices son muy variados, aunque se pueden destacar: Restos de serrerías e industrias relacionadas con la madera, residuos vegetales procedentes de explotaciones agrícolas (bagazo de

caña de azúcar, pajas, rastros, alfalfa, cáscaras de semillas, entre otros), frutas y tubérculos no aptos para el consumo humano o vegetal, fangos de depuradoras, estiércoles de animales (vacunos, equinos, caprinos, porcinos, ovinos, conejos, aves, etc.), residuos orgánicos domiciliarios biodegradables (corte de pastos o gramíneas, etc.). [33]

Al nacer las lombrices son blancas, transcurridos 5 o 6 días se ponen rosadas y a los 120 días ya se parecen a las adultas siendo de color rojizo y estando en condiciones de aparearse. Son hermafroditas teniendo la capacidad de aparearse con otro individuo para la reproducción. [34] [33]

La lombriz roja californiana es fotofóbica, los rayos ultravioletas pueden perjudicarla gravemente, además de la excesiva humedad, la acidez del medio y la incorrecta alimentación., el máximo tamaño de este anélido es un periodo de 2 a 3 meses es de 6 a 7 cm y llega a pesar en estado adulto de 0.6 a 1 gr. Su capacidad reproductiva es muy elevada, la población puede duplicarse cada 45-60 días, por lo que 1.000.000 de lombrices al cabo de un año se convierten en 12.000.000 y en dos años en 144.000.000. Durante este periodo habrán transformado 240.000 toneladas de residuos orgánicos en 150.000 toneladas de humus. [34]

La capacidad que tienen las lombrices de moverse verticalmente por el suelo y depositar sus excreciones, influye favorablemente sobre las propiedades físicas del mismo, favoreciendo la formación de agregados estables. Es conocido que la excreta de lombriz está compuesta por una alta proporción de complejo humus-arcilla, lo que confiere al suelo una mayor retención de humedad y mayor protección contra la erosión. Sus fecas son enriquecidas con materia orgánica y el 60% de estas son M.O. estabilizada (Humus). [30] [33]

Durante su movimiento las lombrices mezclan la materia orgánica con los componentes minerales del suelo, lo cual crea condiciones favorables para el crecimiento de las plantas. Se puede afirmar que las lombrices son verdaderas agricultoras naturales, capaces de labrar y fertilizar la tierra. Se considera que de la fauna del suelo, la lombriz es el animal que consume mayor cantidad de materia orgánica. Cuando existe una concentración elevada de lombrices en el suelo, los procesos de mineralización y síntesis de humus se aceleran, debido fundamentalmente a la acción que ejercen los microorganismos asociados a las excretas de estos animales. [30]

Las principales características que las hacen idóneas para ser utilizadas en los sistemas de lombricultura son las siguientes:

- Son ubicuas y colonizan diversos residuos orgánicos de forma natural.
- Toleran amplios rangos de temperaturas y humedad
- Son fuertes, resistentes y fáciles de manejar.
- Poseen una elevada tasa de reproducción.

- Son colonizadoras efectivas de todo tipo de ambientes ricos en materia orgánica, pudiendo reemplazar a alguna de las especies nativas ya establecidas.
- Viven en cautiverio sin fugarse de su lecho, independientemente de las condiciones de clima y altitud.
- Consumen diariamente una cantidad de residuos equivalente, prácticamente, a su propio peso. [28]

Ilustración 4-3: Lombriz Roja Californiana



Fuente: Autores

4.5 Lombricultura

Lombricultura es el proceso por el cual la lombriz se utiliza para convertir materiales orgánicos (por lo general desechos) en un material parecido al humus conocido como vermicompost. El objetivo es procesar el material tan rápida y eficientemente como sea posible. [35]

Una de las alternativas de manejo que permiten mejorar las características microbiológicas de los desechos orgánicos es la lombricultura o vermicultura, actividad que inicia su desarrollo en los Estados Unidos a finales de la década de los años cuarenta y principios de los cincuenta. En América latina se inicia su desarrollo a principios de 1980; también es bien conocido el desarrollo alcanzado en países como Suiza, Holanda, España, Cuba, Japón, Canadá y Colombia entre otros y más recientemente en México. [27]

Vermicompostaje se perfila como una alternativa más adecuada para el compostaje aeróbico convencional. Es una alternativa rápida, controlable fácilmente, rentable, ahorro de energía, y el proceso de descarga es cero. En

contraste con el compostaje tradicional, el vermicompostaje presenta una mejor calidad en términos de estética deseables, los niveles de contaminantes y nutrientes de las plantas más solubles y disponibles.

En el pasado, el vermicompostaje ha demostrado ser muy útil y competitivo para la estabilización de los lodos de depuradora. Literaturas en vermiestabilización de lodos de depuradora revelan que la mayoría de los estudios se ocupan de vermicompostaje de lodos activados desperdiciado (es decir, un subproducto del tratamiento secundario de aguas residuales). [36]

Por siglos, las lombrices han procesado toneladas de material, que posteriormente es revertido a la tierra a través de deyecciones. Estos organismos son sinónimo de tierra vegetal, productividad, fertilidad, mejoramiento y remediación. Han sido empleadas con éxito en el tratamiento de residuos de alimentos, destilería, industria de papel, estiércol de animales, entre otros [37]. En el proceso de vermicompostaje, desempeñan un rol fundamental para la fragmentación y acondicionamiento del sustrato, que incrementa la superficie para la actividad microbiológica y por ende, genera mayor descomposición; las lombrices “muelen” la materia orgánica, alterando sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, reduciendo su relación C:N y homogenizando el material [28].

Las lombrices modifican las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la materia orgánica a través de tres actividades vitales: alimentación, enterramiento y excreción. Dentro de dichos cambios se destacan la mejora de la agregación, estabilidad y porosidad del material. Para ello, las lombrices alteran el ciclo de los nutrientes (N y P principalmente), la tasa de descomposición de la materia orgánica, y la disponibilidad de los nutrientes para las plantas a través de distintas formas químicas. Igualmente, cambian el pH del suelo, la dinámica de la materia orgánica en términos cualitativos y cuantitativos, la presencia de microorganismos descomponedores, la producción de enzimas y reguladores de crecimiento vegetal, así como la abundancia de biomasa y diversidad de microflora y microfauna [28]

4.6 Factores a considerar en el manejo de lombrices

4.6.1 Temperatura

La temperatura ideal para el buen desarrollo de la lombriz es de 25°C; en condiciones controladas, esta es fácil de mantener, sin embargo cuando se trabaja al aire libre se debe tener un buen control, alcanzarla y mantenerla. La lombriz roja Californiana vive normalmente en zonas de clima templado, su temperatura corporal oscila entre 19°C y 20°C. [27] [38]

4.6.2 Acidez o pH

Al igual que la temperatura el pH es sumamente importante; lo ideal es que se encuentre entre 6.5 y 7.5, un pH básico o ácido puede ocasionar serios problemas a la lombriz y llegar a ocasionar su muerte. El método más eficiente para medir el pH es utilizando la misma lombriz, ella indicará si el material está o no listo para poder vivir en él. [27]

4.6.3 Humedad

Como se mencionó, la lombriz necesita de mucha humedad, ésta es requerida para que pueda moverse dentro de los desechos y facilitar la fragmentación de los mismos, así como para su respiración. La humedad recomendada es del orden de 75 a 80%. La lombriz Roja vive normalmente en humedades del 82%. [27] [38]

4.6.4 Luz

La especie *Eisenia foetida*, es fotofóbica, los rayos ultravioletas las puede matar en segundos. Por otro lado, el contacto directo del sol, aumenta la temperatura del medio, alcanzando temperaturas mortales para la lombriz. [32]

4.6.5 Aireación

La aireación es indispensable para el correcto funcionamiento y desarrollo de la lombriz, si no se controla esta variable el consumo de alimento y la reproducción se reduce. [32]

Debido a que la Lombriz Roja Californiana tolera amplios cambios de temperatura y humedad, permite que sean de fácil manejo y resistentes. Pero en su mayoría la bibliografía establece rangos óptimos para su reproducción y metabolismo, los cuales permiten que su humus sea de mejor calidad y que se garantice su reproducción.

Tabla 4-7. Incidencia de pH, temperatura y humedad sobre el comportamiento de las lombrices *Eisenia foetida* durante el proceso de lombricultura.

Parámetro	Efecto sobre la lombriz					
	Muerte	Letargo	Produce Humus		Letargo	Muerte
			Rango	V. óptimo		
pH >	< 5	< 6,5	6,8-8	7,5	> 8,5	> 9
Humedad %	< 50	< 75	80-85	82	> 88	> 90
<i>Eisenia foetida</i>						
T °C	0	< 7	14-27	20	> 33	> 42

Fuente: [29]

A partir de las condiciones que establece la tabla 4-7, se establece que bajo condiciones desfavorables, las lombrices únicamente se alimentarán, pero no se reproducen, por ende la población se estanca (las lombrices juveniles no pasarán a adultas y las adultas no se acoplarán, por lo que no habrá capullos) y disminuirá la producción de humus. Si las condiciones de vida son hacen más adversas, las lombrices entran en latencia y solo se alimentan para sobrevivir, pero ni se reproducen ni producen humus (en estas condiciones en el cultivo solo quedarán lombrices juveniles que son más resistentes que las adultas). Por último y ante condiciones extremas se produce la muerte de las lombrices. [29]

4.7 Vermiestabilización de lodos

Los biosólidos se obtienen a partir de dos etapas mediante el proceso de depuración convencional: la decantación primaria, mediante la cual la gravedad separa las partículas que están suspendida en el agua y la decantación secundaria, en donde se separan del efluente los flóculos (grumos de materiales orgánicos) formado a partir un líquido existente en el reactor biológico, una parte de esto es recirculado para mantener la biomasa necesaria y el resto es extraído, como lodos secundarios. [3]

En la vermiestabilización, las lombrices llevan a cabo un proceso fisiológico de digestión de los residuos orgánicos, sin dejar fuera la participación de los microorganismos. De esta manera la materia orgánica y patógenos presentes en el lodo residual es fragmentada, descompuesta y estabilizada. La lombriz, estabiliza a neutro los valores de pH, airea el sustrato y favorece la proliferación de una importante población microbiana. [1]

DAS, THOMPSON Y NDEGWA EN 1999 [39] realizaron un estudio que tenía como objetivo investigar y establecer una densidad de población de lombrices y una tasa de alimentación óptima para la vermicompostación de biosólidos, obteniendo que una densidad de población de 1,60 kg de lombrices/m² (0,33 libras-gusanos / pie²) y una velocidad de alimentación de 1,25 kg de alimento/kg de gusano/Día resultó en la mayor bioconversión del sustrato en la biomasa de lombrices y que el mejor vermicompost se obtuvo en la misma densidad de población y una velocidad de alimentación de 0,75 kg de alimento / kg de lombrices / día. [39]

Con el fin de investigar la capacidad de la lombriz *Eisenia foetida* para transformar lodos de aguas residuales primarias (PSS) con el estiércol de vaca (CD); Gupta y Garg 2007, en la india determinaron que la máxima biomasa de gusano se alcanzó en un 10% de PSS + 90% de CD, mientras que la tasa de crecimiento de la lombriz fue mayor en la mezcla de 30% PSS + 70% de CD. Se dedujo del estudio que la adición de 30-40% de PSS con CD no tenía ningún efecto adverso sobre el valor del fertilizante del vermicompost así como en el crecimiento de *Eisenia foetida*. Los resultados indicaron que el PSS podría convertirse en estiércol de buena calidad mediante vermicompost en una relación apropiada (30-40%) con estiércol de vaca. [40]

Surindra y Sushma en un estudio realizado en el 2008, desarrollaron un sistema integrado de compostaje-vermicompostaje para la estabilización de lodos activados (WAS) utilizando vermicompost madurado como material de carga y *Eisenia foetida*. El sistema integrado se optimizó mediante el reciclaje y mezcla sucesivos de material de carga con WAS. El material compostado provocó una reducción significativa del pH, de los sólidos volátiles (VS), de la tasa específica de absorción de oxígeno, el carbono total (TC), el carbono orgánico total (TOC), la relación C / N y los patógenos. El sistema integrado de compostaje-lombricomponente se estabiliza potencialmente y convierte el WAS peligroso en estiércol orgánico de calidad para aplicaciones agronómicas sin cualquier efecto adverso. [41]

En 2012 Trejos M. y Agudelo C. Nathalia en 2012 analizaron la viabilidad de la tecnología de vermicompostación para estabilizar el lodo de la industria de la destilería mezclado con un agente de carga (estiércol de vaca) en diferentes proporciones, con la especie *Perionyx excavatus* durante 90 días. Todos los vermíticos expresaron una disminución significativa en el contenido de C orgánico (10,5-19,5%) (12,8-27,2%), y un aumento en la N total (128,8-151,9%), P disponible (19,5-78,3%), así como K (95,4 - 182,5%), Ca (45,9 - 115,6%) y Mg (13,2 - 58,6%). El Vermicomposting también causó una reducción significativa en la concentración total de metales: Zn (15.1-39.6%), Fe (5.2-29.8%), Mn (2.6-36.5%) y Cu (8.6-39.6%) en el lodo. La viabilidad de las lombrices de tierra para mitigar la toxicidad de los metales y el perfil de nutrientes en el lodo podría ser útil en prácticas sostenibles de base de bajos insumos. [42]

El trabajo realizado por Vera, Sánchez Ortiz y Peña en 2005 tenía como objetivo evaluar la eficiencia del lombricompostaje para la estabilización del lodo residual crudo. Los lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales, fueron caracterizados mediante parámetros microbiológicos, parasitológicos y físico-químicos. El efecto de la actividad de la lombriz (*Eisenia* spp.) sobre los lodos residuales, se evaluó mediante un diseño experimental con cuatro tratamientos y tres repeticiones cada uno, donde los resultados fisicoquímicos del lodo crudo y de los diferentes tratamientos demostraron que tienen un alto potencial como fertilizantes orgánicos. Los tratamientos donde se inóculo materia vegetal fresca y composta resultaron ser más eficientes en la remoción de huevos de helmintos y coliformes fecales, sin embargo no fue así para la eliminación de Salmonella. [1]

Mariana Trejos Vélez Y Natalia Agudelo Cardona en 2012 realizaron un análisis de los lodos provenientes de la planta de tratamientos residuales para encontrar, a partir de los resultados, estrategias que permitan darles un manejo ecológico a la vez que se beneficia económicamente a la empresa no solo por la disminución de costos sino también por la agregación de valor a los residuos derivada de su transformación en abono orgánico por medio de un proceso de lombricultura. Los análisis de laboratorio mostraron que los lodos residuales tienen las condiciones necesarias y adecuadas para servir de sustrato para alimentar un cultivo de lombrices. Éstas, a su vez, participan en la transformación de los lodos en abono orgánico de excelente calidad que puede ser comercializado en diferentes empresas del sector agrícola. [43]

En el año 2001 Aviles Estefanía en la ciudad de Cuenca, realizo una instalación de un sistema de vermiestabilización a escala piloto para tratar los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de industrias Guapán con el propósito de estabilizarlos reduciendo los patógenos (coliformes fecales y huevos de helminto viables) que tienen, logrando producir un biosólido libre de estos con buena calidad agronómica por medio de la vermiestabilización. Este sistema fue alimentado con materia orgánica, estiércol y lodo residual en distintas proporciones obteniéndose así cuatro tratamientos diversos. Ella pudo concluir a partir de esto una reducción altamente significativa en coliformes fecales y huevos de helminto viables, sin existir significancia al variar las proporciones de los materiales con los cuales el sistema de vermiestabilización fue alimentado. La calidad microbiológica del humus es de un biosólido de tipo A según la US-EPA CFR 40, parte 503, para uso no restringido en aplicaciones agrícolas. [44]

En el proyecto basado en la producción de humus a través del tratamiento de biosólidos con vermicompostaje, desarrollado por Montoya y Buitrago en 2008 se concluyó que el vermicompostaje es una de las mejores alternativas y herramientas para el tratamiento de biosólidos a partir de una serie de fases que permite el aprovechamiento de esto. [3]

5 METODOLOGÍA

La siguiente ilustración muestra el proceso que se siguió para llevar a cabo la evaluación de la eficiencia en el sistema de lombricultura para estabilización de lodos residuales de la PTAR Salitre.

Tabla 5-1. Planteamiento de la metodología



Fuente: Autores

En la ilustración número 5-1 se observan las fases planteadas a partir de los objetivos del proyecto, desglosando cada una en las actividades que permitieron cumplirlas.

El procedimiento que se llevó a cabo fue comparativo, determinando la efectividad de la especie de lombriz *Eisenia foetida* o Lombriz roja californiana durante la estabilización de los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre a partir de análisis iniciales y finales del lodo.

Fase 1. Desarrollar una metodología de bioensayo para determinar la eficiencia de la lombriz *Eisenia foetida* para la estabilización de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre.

ACTIVIDADES:

✓ **Recolección de lodos**

La recolección de lodos se realizó en dos recipientes, cada uno con capacidad de 20 litros, un recipiente con lodo fresco y el segundo con lodo seco; estos se recogieron directamente en la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre. Esta actividad se llevó a cabo con el acompañamiento de un técnico de la planta que a la vez dirigió un pequeño recorrido por la PTAR con una breve explicación de los procesos, sin olvidar durante este proceso tener en cuenta el uso de elementos de protección personal, con parámetros básicos de seguridad.

Posteriormente se trasladaron al laboratorio de microbiología de la Universidad Santo Tomas, elegido como el lugar de montaje experimental, un espacio que no presenta condiciones ambientales extremas, que permitió el fácil ajuste de los parámetros de pH, temperatura y humedad, garantizando el desarrollo adecuado del proceso de estabilización.

✓ **Caracterización de lodos**

La Planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre facilita por medio de su página web, en los informes mensuales y técnicos la caracterización de los biosólidos resultantes del proceso, los cuales fueron los seleccionados para realizar el proceso de estabilización con lombriz.

✓ **Montaje experimental**

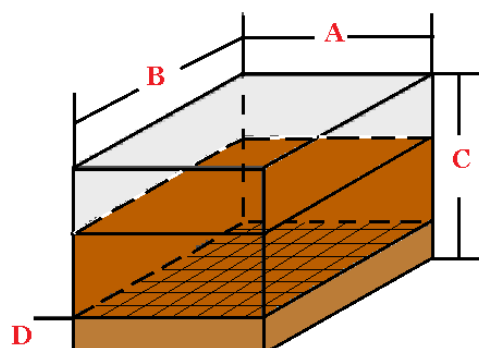
Se instalaron 6 lechos, en bidones de plástico cortados a la mitad, a cada uno se le adecuo una rejilla en la parte inferior la cual facilito la recolección de los lixiviados, esto permitió que el agua no se empozara y produjera malos olores.

Las dimensiones de estos contenedores donde se instalaron los respectivos tratamientos para llevar a cabo el montaje experimental se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5-2: Dimensiones de los recipientes

DIMENSIONES DE LOS RECIPIENTES		
A	Ancho (cm)	29
B	Largo (cm)	40
C	Alto (cm)	13
D	Altura de rejilla (cm)	3
	Volumen (ml)	100

Fuente: Autores

Ilustración 5-1: Diagrama de los contenedores de los tratamientos**Fuente:** Autores

Para el montaje experimental se plantearon 6 tratamientos. Cada montaje contenía diferentes porcentajes de lodo residual generado por la PTAR Salitre y estiércol para garantizar la sobrevivencia de la lombriz; a cada uno se le agrego 500 gr de *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana). Los porcentajes se presentan a continuación.

Tabla 5-3. Porcentajes del montaje experimental

MONTAJE	COMPOSICIÓN		+ 500 g	%	MANOS		PESO (gr)
1	lodo seco		lombriz + tierra	50-50	5	5	1000
2	lodo seco	estiércol	lombriz + tierra	50-50	7	7	1900
3	lodo seco	estiércol	lombriz + tierra	60-40	6	4	1500
4	lodo seco	estiércol	lombriz + tierra	70-30	14	6	3500
5	lodo seco	estiércol	lombriz + tierra	80-20	16	4	3500
6	lodo seco	estiércol	lombriz + tierra	50-50	10	10	3500

Fuente: Autores**Ilustración 5-2: Montajes de vermiestabilización de Biosólidos****Fuente:** Autores

Se plantearon estos tratamientos para conocer cuál de ellos es el más eficiente donde las lombrices se desarrollan y además de esto asegurar la supervivencia de la población de lombrices con la variación de los porcentajes de lodo y estiércol. Adicionalmente para incorporar la cantidad de lombrices se tuvo en cuenta que para un metro cuadrado de lodo se requieren dos kilogramos (kg) de lombriz.

Para la población de lombrices, se compraron tres (3) kilogramos de lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*). La ubicación del sitio de compra es en el Barrio Viscaya en el noroccidente de Bogotá; una casa común donde se produce lombricompost de manera artesanal.

La materia orgánica que se incluyó en los tratamientos fue estiércol de bovino (bovinaza), obtenido de un lote cerca a la calle 80 y de la PTAR el Salitre.

Fase 2. Realizar monitoreo y seguimiento a las condiciones del proceso de estabilización del lodo residual.

ACTIVIDADES

✓ Monitoreo constante de parámetros

Se realizó un seguimiento durante 10 semanas de los parámetros pH, humedad y temperatura, evaluando el buen funcionamiento del proceso de vermiestabilización. Adicionalmente, se determinaron durante estas visitas los cambios cualitativos de las lombrices y el lodo; color, tamaño, cantidad y color, olor y textura respectivamente. Los datos se anexan al presente documento.

Para el seguimiento del parámetro de pH se utilizó un multiparámetro y la ayuda de papel indicador de pH también llamado papel tornasol.

Ilustración 5-3: Monitoreo de pH



Fuente: Autores

La variable de temperatura se monitoreo con un termómetro-higrómetro digital; el cual permitía además de obtener el dato de temperatura, un registro de la humedad relativa del lugar.

Para determinar la humedad inicial y final de cada tratamiento y conocer si el riego manual se estaba realizando correctamente se realizó la prueba de puño, las consideraciones para esta prueba se especifican a continuación:

Tabla 5-4. Consideraciones para la prueba de puño

Indicador	Humedad	Acción
La masa apretada no toma la forma del puño y no gotea.	<70%	Es necesario regar
La masa apretada toma la forma del puño y no gotea.	(70-80)%	No regar
La masa apretada toma la forma del puño y gotea menos de 10 gotas en un minuto	(. 85-90)%	No regar, peligro para las lombrices
La masa apretada toma la forma del puño y gotea más de 10 gotas en un minuto	>90%	No regar, peligro para las lombrices

Fuente: [43]

En cuanto a las características organolépticas del lodo y la lombriz se plantearon unas escalas con unidades arbitrarias, para facilitar el análisis de los datos. Estas escalas se basaron en los cambios que se observaron durante el proceso de estabilización. En las características cualitativas del lodo se podía observar como a medida que avanzaba el proceso cambiaba su apariencia y el seguimiento a las características de las lombrices permitía observar si se estaban adaptando al medio y seguían reproduciéndose.

Tabla 5-5. Rangos de las características organolépticas del biosólido y de la lombriz durante el proceso de estabilización

Rango	Apariciencia del lodo				Apariencia de lombriz		
	Color	Olor	Textura		Color	Tamaño (cm)	Cantidad
3	Negro	Fuerte olor a azufre y amonio			Roja	7	10 a 15
2	Intermedio	Medio	arcilloso		Rosada	4	5 a 10
1	Café	Sin olor	granulado		Gris	2	1 a 5

Fuente: Autores

Los datos de tamaño y cantidad de la lombriz ilustración 5-5, se obtuvieron a partir de muestreo simple. El procedimiento se basó en tomar una muestra de lodo con la mano aleatoriamente en cada tratamiento y contar la cantidad y tamaño de las lombrices; se realizaban 3 repeticiones para sacar un promedio de cada montaje. Esto permitió a su vez ir observando el aumento de las crías y determinar si la lombriz efectivamente se estaba reproduciendo.

✓ Ajuste de parámetros

Este ajuste de parámetros se desarrolló en paralelo con las demás acciones de monitoreo del lodo, a medida que se iban recolectando datos se realizaban cambios en las condiciones, esto con el fin de que los parámetros se mantuvieran en el rango que según la literatura es el ideal para el metabolismo de la lombriz, de esta forma asegurar la supervivencia de la población.

Para mantener la humedad del lodo lo más constante posible, se le aplico agua en cada día de seguimiento, de esta manera garantizar que durante los otros días la perdida de humedad no fuera mayor y el lodo mantuviera su humedad en el rango que tolera la *Eisenia foetida*. Con esta actividad se realizaba una aireación sencilla al lodo, permitiendo así que el proceso de estabilización fuera más efectivo.

Ilustración 5-4: Ajuste de humedad y aireación durante el proceso de vermiestabilización**Fuente:** Autores

Fase 3: Evaluar las características finales del humus.

✓ **Muestra final y análisis**

Al término de la fase experimental, se tomaron las muestras del lodo final (humus), con el objetivo de realizar los respectivos análisis, para definir si la estabilización tuvo efectividad y se obtuvieron cambios entre el lodo inicial y el final y poder establecer si los tratamientos mostraron diferencias entre sí. Para las muestras de cada tratamiento, se homogenizo lo más posible cada lecho y se tomaron pequeñas sub-muestras al azar, luego se mezclaron obteniendo una muestra final llevada a laboratorio. Se realizaron análisis de cada parámetro obtenido durante la experimentación, para observar el cambio de las variables de pH, temperatura y humedad y las características cualitativas del lodo y la lombriz durante el proceso de estabilización.

A partir de las variables medidas durante el experimento, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para determinar si las variables correlacionadas determinan la estabilización del lodo y poder analizar cuál de los tratamientos fue más efectivo. Se utilizaron varios factores de agrupación, para las características de las lombrices y del biosólido y fue calculada la media aritmética ya que es menos sensible que la medida aritmética a los valores extremos y porque estas variables no deben ser promediadas aritméticamente pues las unidades son arbitrarias.

Para los análisis de laboratorio se realizaron pruebas a las muestras finales pertenecientes a los 6 tratamientos propuestos para estabilizar los biosólidos de la PTAR el Salitre, se determinó nitrógeno amoniacal, nitritos, fosfatos y sulfatos siguiendo el procedimiento estipulado en el manual del laboratorio portátil para suelo SMART 3 Soil; para lo cual inicialmente se realiza una filtración en base sólida, el cual es un producto utilizado para ensayos de suelo, este analiza instantáneamente las reacciones de color desarrolladas en las pruebas de nutrientes.(el procedimiento llevado a cabo para el desarrollo de las muestras se anexa al final de este documento Anexo C).

Se realizó el método de siembra en superficie, un método muy sensible para determinar la presencia de coliformes fecales y bacterias UFC y que permitiera identificar la disminución en estas poblaciones de patógenos (Anexo D). Para la siembra en superficie se realizaron 5 diluciones para cada muestra y por cada una se realizaron dos repeticiones de siembra en superficie en 36 cajas de Petri con medios EMB previamente preparados y solidificados, se incubaron durante 24 horas para después de este tiempo contar las colonias.

Cabe anotar que estos análisis se realizaron teniendo en cuenta la capacidad del laboratorio y los equipos allí presentes. Finalmente, los resultados obtenidos en laboratorio fueron comparados con la norma que establece el uso de productos para la industria agrícola, determinando así la eficiencia de la estabilización con lombriz. En paralelo al análisis de laboratorio se realizaron pruebas con ayuda de una plataforma arduino y un sensor que obtiene datos de temperatura y humedad para lograr facilitar el seguimiento a estos dos parámetros y lograr una optimización durante el proceso de estabilización.

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 Análisis inicial de los biosólidos

La PTAR El Salitre realiza un monitoreo mensual para analizar el comportamiento y características físicas, químicas y microbiológicas de los biosólidos que generan, donde obtienen resultados de metales pesados: Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio y Zinc. Adicionalmente, parámetros físico químicos y microbiológicos como nitrógeno total, Nitrógeno amoniacal, Nitritos, Nitratos, Fósforo total, pH, Sólidos totales y Sólidos volátiles, Coliformes fecales y Salmonella (indicador de bacterias), Fagos somáticos (indicador de virus) y Huevos de helminto viables (indicador de parásitos).

Por lo tanto estos resultados fueron tomados como composición inicial del biosólido suministrado y adicional se obtuvieron datos de pH con un valor de 7.6 considerado como levemente alcalino, una humedad de 70% aproximadamente y una temperatura de 20 °C.

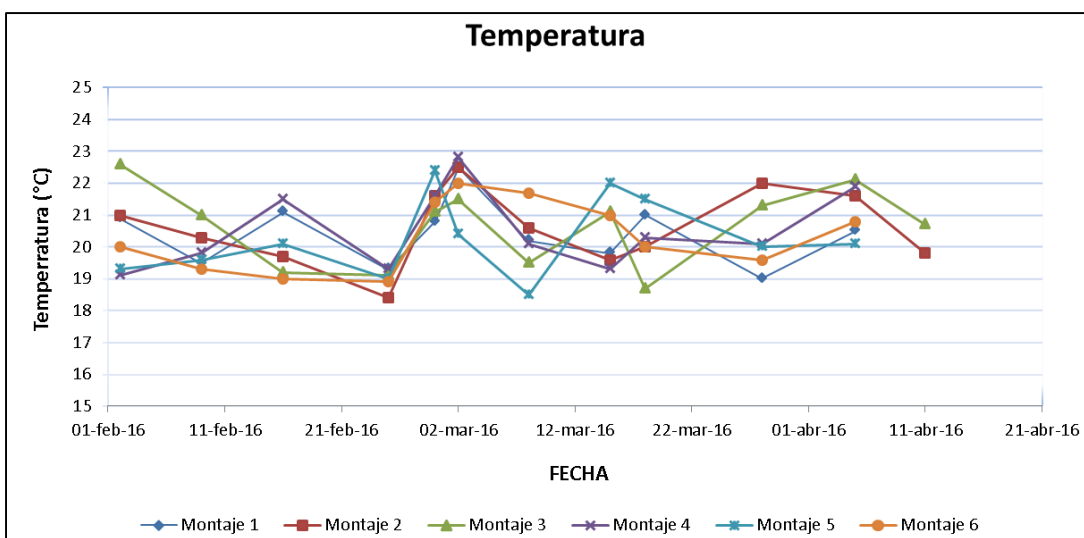
La presencia de nutrientes y de materia orgánica y la baja concentración de metales pesados en el biosólido, hacen que la opción de aprovechamiento agrícola y pecuario sea una alternativa viable, por lo cual la PTAR diseñó un Plan de Investigación que presenta como línea de investigación principal el uso de biosólidos en la agricultura. [21]

6.2 Análisis variables de temperatura, pH y Humedad

✓ Temperatura

En la gráfica 6-1 se muestran las temperaturas registradas para un total de 12 datos, tomados aproximadamente 2 días por semana con muestras aleatorias dentro del lecho.

Gráfica 6-1: Variación de temperatura



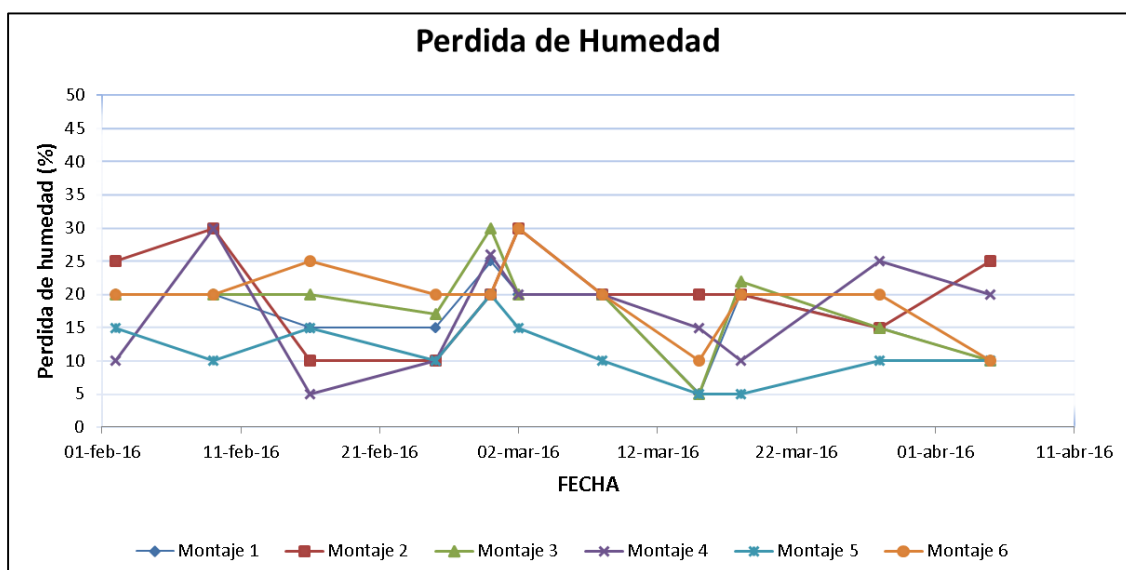
Fuente: Autores

En términos generales, la información recopilada en los trabajos de grado realizados por Echeverry y Chávez Porras, y Castillo Taco [46] [47] sugiere que aunque depende de las características de los tratamientos aplicados y el lugar, las temperaturas demasiado altas o bajas, afectan el desempeño de las lombrices dentro del sustrato. Cuando la temperatura del sustrato desciende a 10 °C, las lombrices, siguen reproduciéndose, pero la eclosión de cocones sufre moras significativas y se reduce la actividad alimentaria, un valor por debajo de los 4°C conduce a que la actividad reproductiva y el desarrollo de nuevas lombrices sean nulos. Por otra parte, temperaturas superiores a 30°C maximizan la actividad de los microorganismos presentes en el material de degradación, agotando el oxígeno disponible para la supervivencia de las lombrices y si sobrepasa los 40 °C las lombrices tienden a fugarse de la cama y prácticamente no comen, por lo tanto la producción de lombricompost disminuye. [46] [47]

Se puede observar claramente que la temperatura en todos los tratamientos se mantuvo en un rango de 18,4 a 22,8 durante toda la prueba. Estos resultados se deben a que esta temperatura está sujeta a la temperatura ambiente y por el lugar donde se encontraban ubicados los montajes no había más condiciones que pudieran afectar este factor o que causaran cambios drásticos para el proceso de vermiestabilización. Adicionalmente, el lugar donde se encontraban los montajes tenía buena ventilación y no llegaba el sol directamente, por este motivo la temperatura se mantuvo relativamente constante. Este rango de temperatura durante el montaje experimental se mantuvo dentro de los rangos reportados por la literatura para la sobrevivencia de la lombriz *Eisenia foetida*, la temperatura se mantuvo de igual forma dentro de los rangos que establece Alastre en 1995 de 15,7 °C y 28,2 °C para quien las temperaturas letales son 0° C y 34 °C. También dentro de los rangos que Martínez en 1999 considera óptimos; 18 °C y 29 °C. [45]

✓ Pérdida de Humedad

Gráfica 6-2: Variación pérdida de humedad



Fuente: Autores

A partir de la prueba de puño, se determinó la humedad de cada lecho al inicio y al final luego de aplicar agua durante el tiempo de experimentación. Con estos datos se halló la pérdida de humedad (la cual es la resta de la humedad con la que quedaba el biosólido y la humedad con la que se encontrada al siguiente día de seguimiento). Esta pérdida de humedad permitió conocer que tan rápido se secaban los lechos dependiendo de su composición.

La pérdida de humedad se mantuvo en términos generales en un rango de 5% a 30%, lo que quiere decir que la humedad se mantuvo en un rango de 55% a 90%

siendo el primero el valor más bajo que presentaron durante la experimentación. Cada día, al final de monitoreo se dejaba la humedad de cada lecho sobre el 70%; previniendo que durante los días que no se realizaba el seguimiento los lechos no perdieran tanta humedad y que la lombriz estuviera en condiciones desfavorables y segundo para que se mantuviera en una humedad óptima.

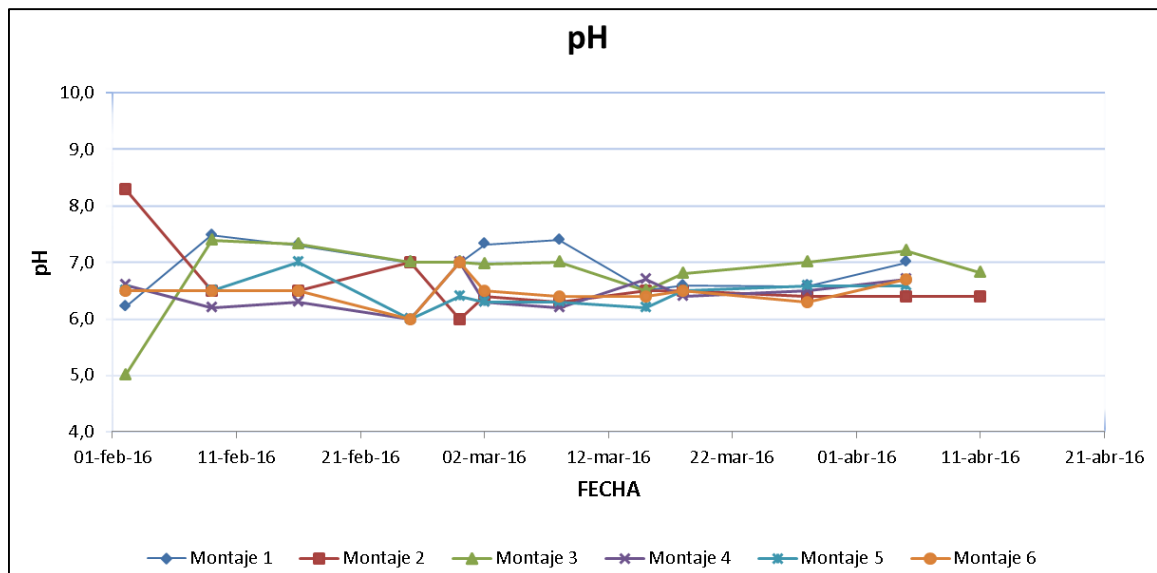
José Barbado, 2003 sostiene que para facilitar la gestión de alimentos y el deslizamiento de la lombriz en el lecho es necesario garantizar un porcentaje de humedad del 70% evitando con esto la muerte la lombriz, además de esto que es importante en el sistema locomotor de la lombriz debido a que permite su respiración y movimiento. [44]

La humedad es de los factores más importantes para la sobrevivencia de las lombrices, debido a que estas no cuentan con un mecanismo de conservación de agua adecuado, por lo que requieren humedad en su pared corporal para realizar su respiración. A partir de la investigación realizada por Almany Arbeláez en 2010, se considera que una humedad óptima para *Eisenia foetida* del 70-80%. Se debe tener en cuenta que si el sustrato tiene una humedad mayor al 85% la oxigenación es insuficiente, por ende la falta de aireación causa que el consumo de alimento se reduzca y no se produce el humus y las lombrices tienden a migrar o a morir. Niveles de humedad menores a 55% o mayores a 95% resultan mortales para las lombrices. [45]

Cabe anotar, que los días en que no se realizó el seguimiento los lechos perdían humedad, pero no lo suficiente para que la población de lombrices muriera, por el contrario durante todo el experimento las lombrices se encontraron en condiciones favorables de humedad la mayor parte del tiempo.

Debido a que las condiciones de humedad y temperatura requieren ser controladas para el correcto desarrollo de la lombriz, se articuló un sistema de seguimiento de estas dos variables electrónicamente. Con apoyo del profesor Javier González perteneciente a la facultad de Ingeniería electrónica, se instaló una plataforma de prototipos electrónica (arduino) y un sensor de temperatura y humedad (DHT11) a uno de los tratamientos propuestos en este proyecto (ANEXO E), lo cual tiene como finalidad optimizar el proceso de vermiestabilización, obteniendo ventajas como realizar el seguimiento de manera virtual, desde cualquier lugar y sin importar la hora, agilizando así los tiempos de monitoreo además de obtener datos con mayor exactitud y con mayor frecuencia.

✓ Variación de pH

Gráfica 6-3: Variación de pH**Fuente:** Autores

Como se puede observar, el pH de los sustratos utilizados es diferente en el comienzo del ensayo. Inicialmente (primera medición) el pH oscila entre 5.0 a 8.3. Es sabido que las lombrices funcionan mejor 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.

Aunque el pH del sustrato no es un principal indicador de la madurez o estabilidad de un lombricompost, si es un factor determinante para el normal desarrollo de las lombrices dentro del sustrato.

Durante esta prueba Grafica 6-3, el pH en los tratamiento 2, 4 y 6 tuvo un ligero descenso las primeras semanas, según Blandon 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 amoníaco que ayudan a elevar el pH. Blandon et al (1999), citado por Castillo Taco (2010). [47]

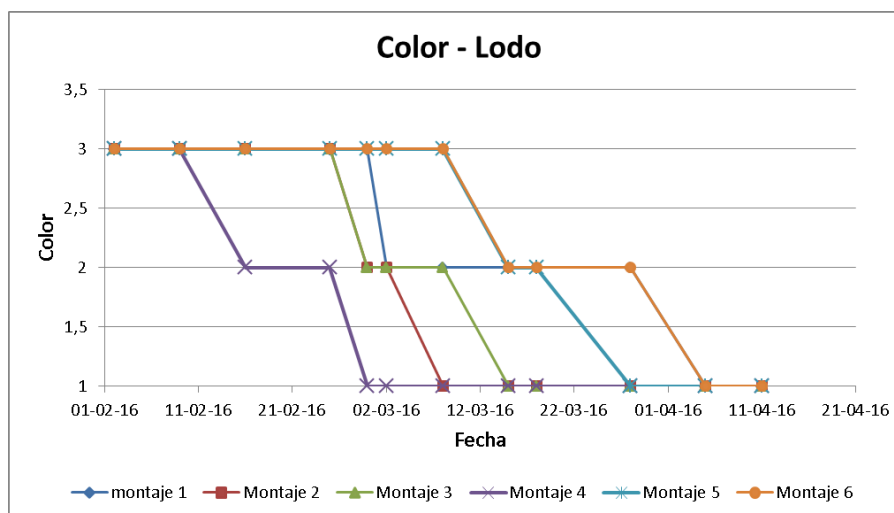
Los tratamientos 4, 5, 6 son aparentemente los que mantuvieron el pH más estable durante la prueba. En general el pH en todos los tratamientos se estabilizó al pasar las semanas, desde la semana 6 todas las pruebas varían en un rango de 6.2 a 7.4, esto se debe al cambio que realizan las lombrices durante su acción. Algunas fuentes sostienen que los sustratos deben ser compostados antes de agregar los lombrices para que su adaptación al medio sea más rápida y efectiva, la variación que se observa en la gráfica del pH se puede deber también al hecho de que el estiércol agregado a los lechos no fue compostado previamente, por lo tanto el proceso de descomposición y estabilización se fue dando durante el desarrollo del experimento.

6.3 Análisis de variables cualitativas

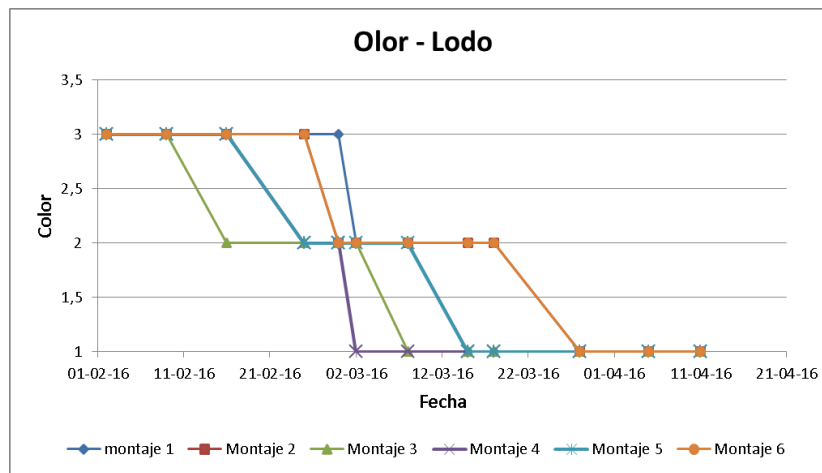
A partir de los rangos propuestos y estipulados en la metodología de este documento (tabla 5-5), se obtuvieron las gráficas de la variación de las características cualitativas del biosólidos y de la lombriz durante el proceso de estabilización. Los cuales se presentan a continuación. Los datos obtenidos se presentan en los anexos.

- ✓ Variables del lodo durante la estabilización

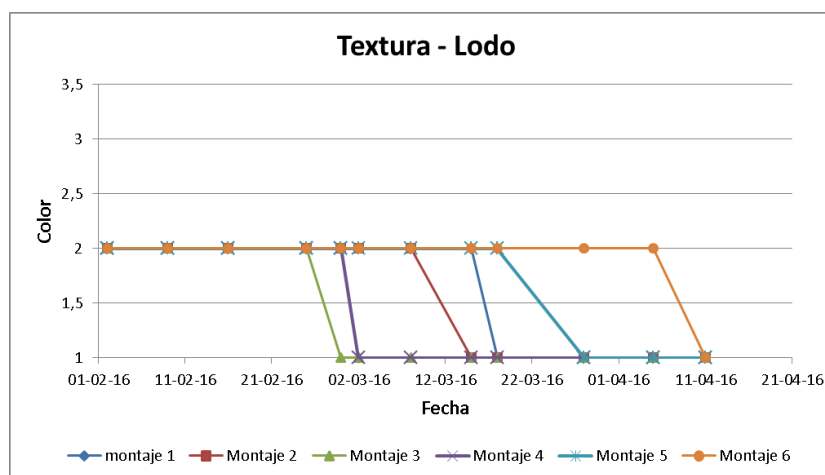
Gráfica 6-4: Variación del Color del Biosólido



Fuente: Autores

Gráfica 6-5: Variación en el olor del Biosólido

Fuente: Autores

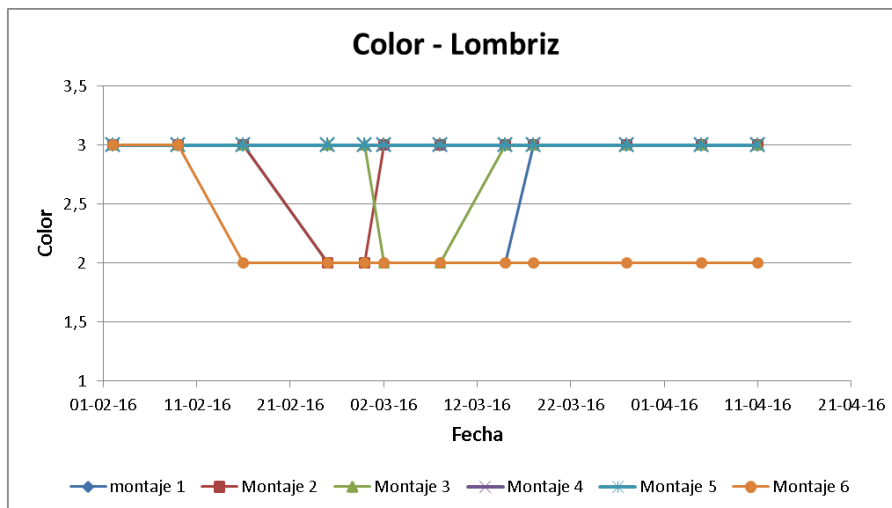
Gráfica 6-6: Variación en la textura del Biosólido

Fuente: Autores

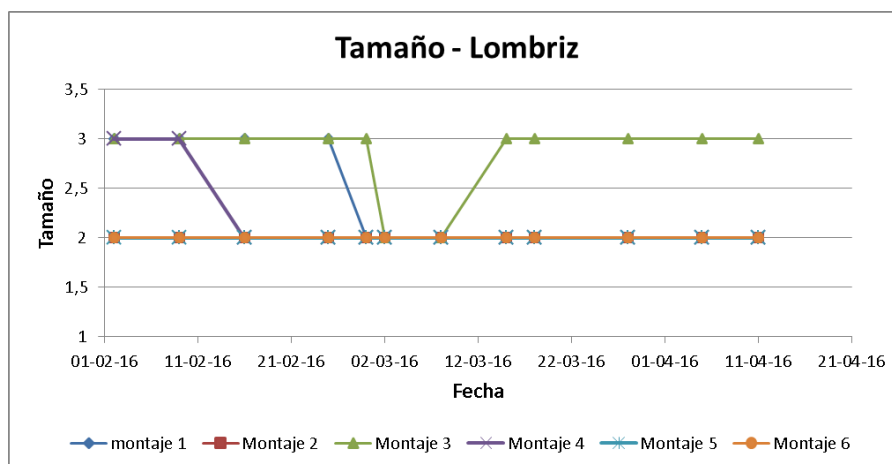
Durante el proceso de estabilización las características del lodo cambiaron considerablemente en términos generales para todos los montajes. Lo que se puede observar a partir de las gráficas es que algunos montajes mejoraron sus características en un menor tiempo respecto a los otros.

Los montajes 3 y 4, los cuales se componían del 60% y 70% de lodo residual respectivamente fueron los que mejoraron más rápido sus características de olor, color y textura. Siguiendo a estos se encuentran los montajes 1 y 2 que estaban compuestos por 50% de biosólido y 50 % de estiércol pero con una diferencia de cantidad de ambos sustratos. Los lechos 5 y 6 cambiaron sus características de últimas, esto se sustenta en que estos montajes tenían el doble de cantidad respecto a los primeros 3.

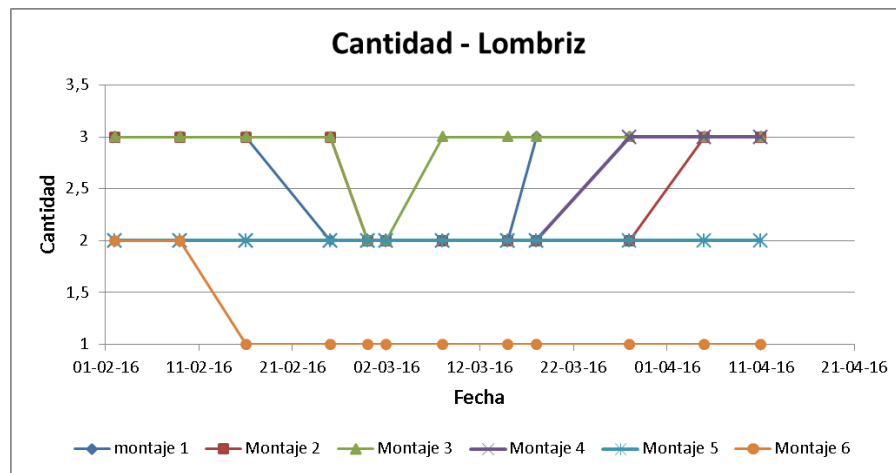
✓ Variación de las características de la lombriz durante la estabilización

Gráfica 6-7: Variación del color de la lombriz

Fuente: Autores

Gráfica 6-8: Variación en el tamaño de la lombriz

Fuente: Autores

Gráfica 6-9: Variación en la cantidad de lombriz**Fuente:** Autores

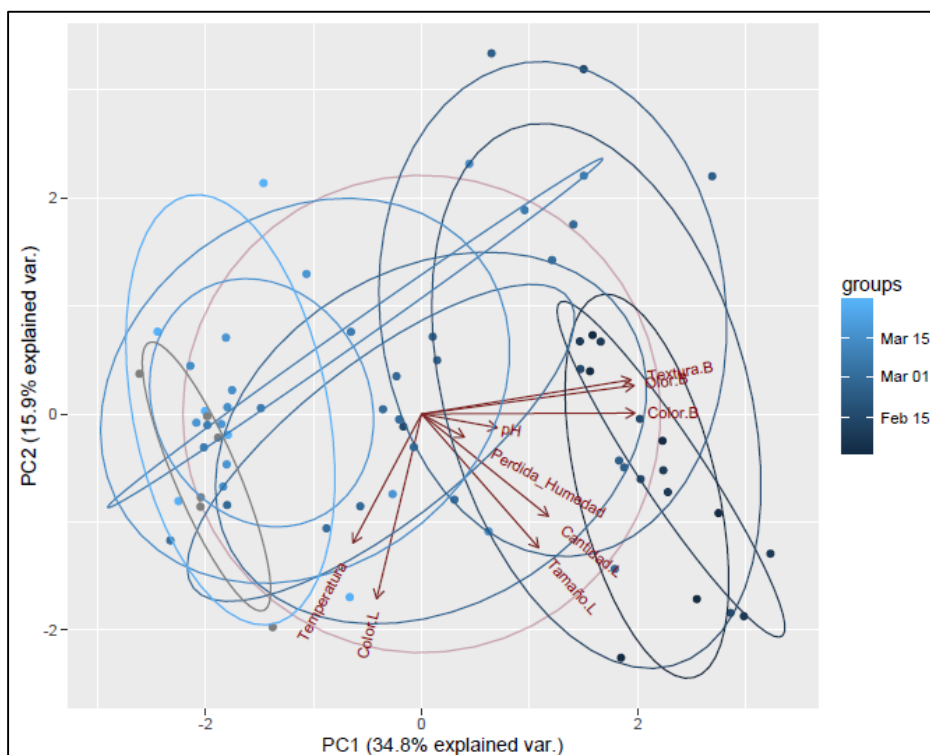
Las características de color y tamaño de la lombriz no tuvieron resultados desfavorables (valores=1) durante el proceso de estabilización, lo que sí se observa es que durante las primeras semanas estas características disminuyeron respecto a la calidad. Esto debido a que las lombrices fueron incorporadas directamente al lecho con el biosólido y el estiércol sin compostar, por lo tanto durante estas semanas de descenso se produjo su adaptación al medio y a medida que se estabilizó el lodo sus características nuevamente mejoraron.

Aunque la cantidad de lombrices tuvo un comportamiento igual con respecto al color y el tamaño durante la estabilización. Se observa que los tratamientos 5 y 6 tuvieron los más bajos rangos, esto se puede deber a que estos montajes son los que estaban compuestos con mayor cantidad de lodo y estiércol.

6.4 Análisis de componentes principales (PCA)

En el PCA la dirección de los vectores indica un incremento en los valores, mientras que su extensión está relacionada con el rango de variación de los mismos. Se puede observar en la gráfica 6-10 que las características del biosólido cambiaron de condiciones muy malas a condiciones buenas a medida que avanzaban las semanas, siguiendo el gradiente de color de los grupos de oscuro a claro. Los vectores paralelos representan variables que pueden estar correlacionadas directa o inversamente dependiendo de la dirección, mientras que los vectores perpendiculares indican poca correlación. Es así como textura, color y olor, las variables correspondientes al lodo presentaron una correlación más elevada con pH, pérdida de humedad, cantidad de lombrices y tamaño de las lombrices.

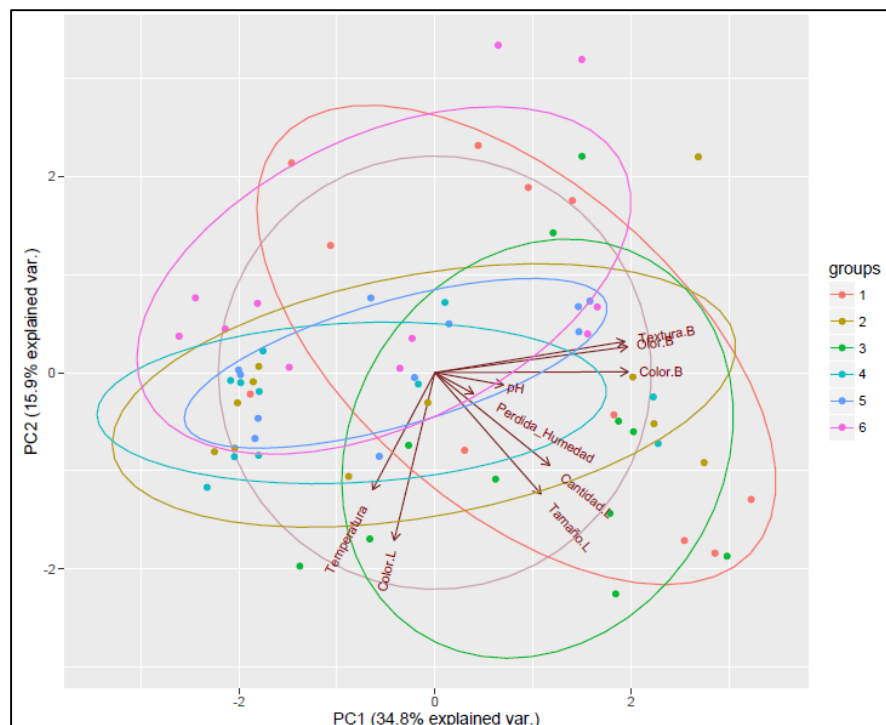
Gráfica 6-10. PCA Para las variables medidas y controladas presentando los grupos por fecha de muestreo



Fuente: Autores

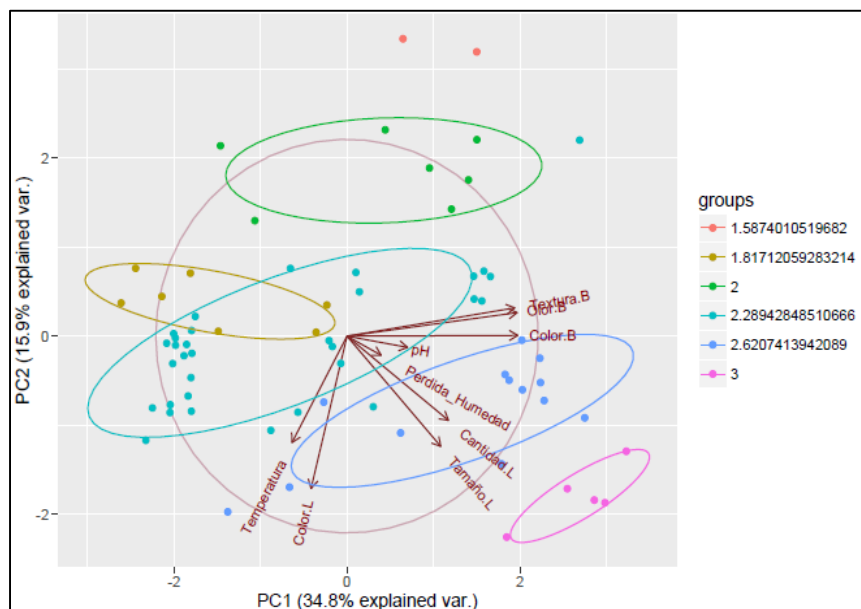
El factor de agrupación que se llamó tratamientos (Gráfica 6-11) no es el que mejor explica la eficiencia de la vermiestabilización. Los grupos aparecen centrados lo que indica que los tratamientos no explican la relación entre las variables.

Gráfica 6-11. PCA de las variables medidas y controladas presentando los grupos por tratamiento



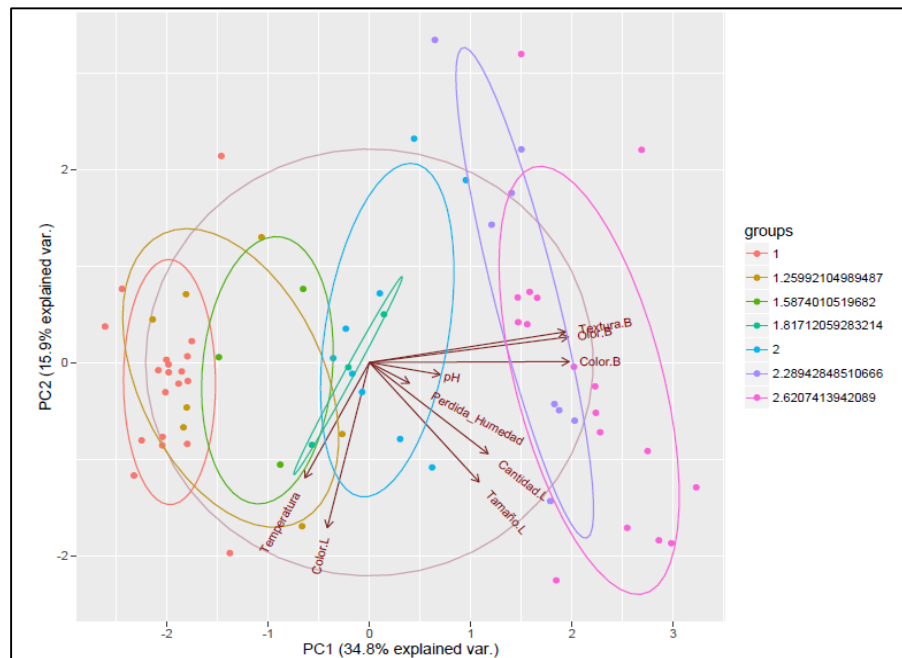
Fuente: Autores

En la gráfica 6-12 se observa que la calidad de las lombrices se encontró relacionada con temperatura y humedad. Inicialmente las lombrices estaban en condiciones buenas, a medida que aumentaba el proceso las condiciones disminuyeron en calidad debido a su proceso de adaptación; finalmente las condiciones fueron mejorando y en las últimas semanas los diferentes parámetros se ajustaron dentro del rango óptimo. Las características de las lombrices que se agrupan en el color dorado fueron las que presentaron peores condiciones. La media geométrica de las características de la lombriz permite explicar la distribución de los datos en función del pH y la pérdida de humedad.

Gráfica 6-12. PCA de las variables medidas y controladas presentando los grupos por media geométrica de las características de la Lombriz**Fuente:** Autores

En la gráfica 6-13 se puede observar que la variable de pH se encuentra relacionada con las características del suelo (color, olor y textura). Adicionalmente la relación de pH, humedad y temperatura intervienen en la mejora de la calidad.

Gráfica 6-13. PCA de las variables medidas y controladas presentando los grupos por media geométrica de las características del biosólido



Fuente: Autores

El análisis de componentes principales solo permitió explicar el modelo en un 50,7% por lo tanto se determina que las variables seleccionadas no son las que permiten detectar los cambios en el proceso de vermiestabilización.

Por otro lado observando la gráfica de fechas y calidad de las lombrices se observa que la variación del tiempo no avanza en el sentido del crecimiento de las lombrices por lo tanto no es el tiempo el que determina el crecimiento y calidad de las lombrices, hay otra variable que las altera, por lo tanto no se puede decir que hay una correlación entre las variables ya que existe una variable que las altera.

6.5 Análisis de laboratorio

En la tabla 6-1 se observan las características iniciales del lodo crudo y los análisis realizados en laboratorio a cada uno de los montajes experimentales para cada tratamiento propuesto a los biosólidos.

Tabla 6-1. Resultado final a cada tratamiento y comparación con el biosólido inicial

PARAMETRO	Nitrógeno amoniaco(mg/ Kg seco)	Nitritos (mg/Kg seco)	fosfato (mg/Kg seco)	Sulfatos (mg/Kg seco)	pH	Coliformes fecales (UFC/g Base S.)	Bacterias (UFC/g Base S.)
LODO CRUDO	4457,7	2,6			7,7	6,88E+05	
MONTAJE 1	4,40	0,00	9,68	26	6	0,00E+00	2,48E+07
MONTAJE 2	12,96	0,00	6,76	234	7	0,00E+00	4,23E+07
MONTAJE 3	1,00	0,00	0,52	424	7	0,00E+00	2,48E+07
MONTAJE 4	14,16	0,04	1,20	446	7	0,00E+00	3,15E+07
MONTAJE 5	1,86	0,00	6,26	184	6	0,00E+00	1,53E+07
MONTAJE 6	0,00	0,00	4,06	236	6	0,00E+00	5,45E+07

Fuente: Autores

Varios autores demostraron en sus investigaciones que a partir de la vermicompostación se determina una notable reducción en los valores de patógenos como coliformes fecales, Salmonella sp., Virus entérico y helmintos en biosólidos, además de reducir los niveles de olores de putrefacción y asegurar la estabilización acelerada de los lodos. Edwards y Bohlen 1996, concluyen con que esta reducción y/o eliminación de estas poblaciones de bacterias entéricas al final de los procesos de vermicompostación se correlacionan con los hallazgos de que la dieta de lombrices de tierra incluye microorganismos y adicionalmente la capacidad que tienen estos invertebrados para digerirlos de una manera selectiva. [48]

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación (tabla 6-1) se puede observar que en todos los tratamientos se produjo la eliminación de coliformes fecales en comparación con el lodo crudo (biosólido inicial), lo cual concuerda con Masciandaro en el año 2000 donde afirma que la biocompostación de los desechos provoca la transformación biológica y la estabilización de la materia orgánica y reduce eficazmente los riesgos potenciales de patógenos.

Estos resultados también se apoyan en las investigaciones preliminares realizadas en la segunda edición del libro “Earthworm Ecology” de Edwards 1994, donde a partir de las pruebas realizadas en el laboratorio de ecología del suelo de la Universidad Estatal de Ohio demostraron que luego de 60 días del proceso de vermicomposting las cantidades de bacterias coliformes fecales en los biosólidos disminuyeron de 39.000 NPM/ g a 0 MPN / g y las cantidades de Salmonella sp. Pasó de <3 MPN / g a <1 MPN / g. Eastman en 1999 obtuvo resultados similares para coliformes fecales y Salmonella sp. y para el virus entérico y los óvulos de helmintos. [49]

6.6 Comparación con la norma

Se realizó la comparación de los datos obtenidos con las normas que se aplican para la clasificación de los productos con propósito de abono orgánico, lo que observa en la siguiente tabla.

Tabla 6-2. Comparación de los análisis de laboratorio con la norma Colombiana

NORMA			
NTC 5167		DECRETO 1287 DE 2014	Y USEPA 1993
REQUISITO	CUMPLE	REQUISITO	CUMPLE
Enterobacterias <1000 UFC/g	SI	Clase A <1000	SI
		Clase B < 2000000	SI

Fuente: Autores

La NTC 5167 constituye productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas desuelo. Determina la clasificación del producto a partir de sus componentes, entre los cuales se escogió la clasificación de abono orgánico mineral solido (Producto sólido obtenido por mezcla o combinación de abonos minerales y orgánicos de origen animal, vegetal, pedogenético (geológico) o provenientes de lodos de tratamiento de aguas residuales, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y de los parámetros que se indican).

Esta norma señala que el contenido de humedad máximo debe ser de 15%, un pH de >4 y <9 y una cantidad de enterobacterias menor de 1000 UFC/g de producto final.

Adicionalmente, se compararon los resultados con los parámetros del Decreto 1287 de 2014, por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y la US-EPA CFR 40 PARTE 503 2003. En este decreto establecen dos niveles de calidad de los lodos de depuradora con respecto a las concentraciones de metales pesados. Las concentraciones de contaminantes; y dos niveles de calidad con respecto a patógenos- Clase A y Clase B. Para pertenecer a la primera clase (A) el producto debe tener una densidad de coliformes fecales menor a 1000 Número Más Probable (MPN) por gramo de sólidos secos totales (1000 NMP / g TS) y para la Clase B una cantidad <2000000 NMP/g TS). Por lo tanto se determino que el resultado de este bioensayo esta categorizado en Clase A para coliformes fecales y a partir de la bibliografía se esperaría que los huevos de helminto también hayan disminuido.

7 Aplicación

Se planteo una propuesta para la aplicación de la técnica de estabilización con lombriz para la PTAR el Salitre, basada en la compra de un lote fuera de la ciudad para ubicar 100 camas de lombricompost y poder lograr tratar 1000 ton de biosólido al mes pero como se puede observar en la tabla 7-1 la inversión inicial para las camas de lombrices y el mantenimiento del lugar de tratamiento, teniendo en cuenta el transporte de los biosólidos, su distribución y el personal encargado suman costos excesivos y no razonables para la cantidad de lodo a tratar, ya que 1000 toneladas no serian significativas. Adicionalmente la ganancia recibida por la venta del humus obtenido sería muy pequeña y no sería viable teniendo en cuenta los gastos.

Tabla 7-1. Viabilidad económica para la aplicación de la vermiestabilización en la PTAR El Salitre



INVERSIÓN INICIAL PTAR	
Lote	\$ 1.000.000.000
Estructura	\$ 127.025.600
Lombriz	\$ 72.000.000
TOTAL	\$ 1.199.025.600

MANTENIMIENTO	VALOR UNIT	CANTIDAD	TOTAL
Transporte	\$ 300.000	30	\$ 9.000.000
Personal	\$ 800.000	10	\$ 8.000.000
Transp. Distribución Humus	\$ 300.000	17	\$ 5.100.000
TOTAL			\$ 22.100.000
GANANCIA			\$ 300.000

Fuente: Autores

Debido a lo anterior se optó por plantear una alternativa para una empresa que genera menor cantidad de biosólidos al mes, se escogió Transmasivo S.A. una empresa de transporte masivo de la ciudad de Bogotá la cual generó en el año 2016; 11.371 kg de biosólidos y por cada kg pagó \$1.000 para su disposición.

Tabla 7-2. Costos actuales de manejo de biosólidos en la empresa Transmasivo S.A.



Empresa Gesmatin S.A.S
encargada de llevarse el
lodo cobra \$1000 por kg

COSTOS ACTUALES TRANSMASIVO S.A.				
2016	LODOS KG	EMBALAJE	ENTREGA DISP.	TOTAL
ENERO	863	\$ 41.918	\$ 863.000	\$ 904.918
FEBRERO	1584	\$ 43.520	\$ 1.584.000	\$ 1.627.520
MARZO	701	\$ 41.558	\$ 701.000	\$ 742.558
ABRIL	648	\$ 41.440	\$ 648.000	\$ 689.440
MAYO	831	\$ 41.847	\$ 831.000	\$ 872.847
JUNIO	274	\$ 40.609	\$ 274.000	\$ 314.609
JULIO	0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
AGOSTO	1925	\$ 44.278	\$ 1.925.000	\$ 1.969.278
SEPTIEMBRE	236	\$ 40.524	\$ 236.000	\$ 276.524
OCTUBRE	1055	\$ 42.344	\$ 1.055.000	\$ 1.097.344
NOVIEMBRE	2519	\$ 45.598	\$ 2.519.000	\$ 2.564.598
DICIEMBRE	735	\$ 41.633	\$ 735.000	\$ 776.633
TOTAL	11371	\$ 465.269	\$ 11.371.000	\$ 11.836.269
*Embalaje pago al colaborador e implementos (lonas y pala) + EPP				
*Entrega a la empresa que realiza la disposición cada kg a \$1.000				

Fuente: Autores

Para esta propuesta se planteo una infraestructura que estaría ubicada al lado de la planta de tratamientos de la empresa, compuesta por 3 camas de lombriz cada una con capacidad de tratar 1 ton de biosólidos al mes, de esta manera ir rotando las camas para tratar todo el biosólido al año. Para el mantenimiento de los lombricompost se tuvo en cuenta el pago a la persona encargada del mantenimiento y seguimiento y el pago para el embalaje y distribución del humus obtenido lo que se observa en la tabla 7-3.

Tabla 7-3. Aplicación de la técnica de vermiestabilización para la empresa Transmasivo S.A.

INVERSIÓN INICIAL					COSTOS
ITEM	VALOR UNIT	CANTIDAD	UND	TOTAL	
Ladrillos	\$ 1.500	168	unidad	\$ 252.000	
Cemento x 50 kg	\$ 23.000	10	bulto	\$ 230.000	
Vigas x 6 m	\$ 150.000	4	unidad	\$ 600.000	
Tanque almacenamiento de agua	\$ 170.000	1	unidad	\$ 170.000	
Tubo PVC 1/2 PULGADA	\$ 5.000	25	unidad	\$ 125.000	
T PVC	\$ 2.000	2	unidad	\$ 4.000	
Codos PVC	\$ 7.000	4	unidad	\$ 28.000	
Llave de paso	\$ 20.000	1	unidad	\$ 20.000	
Tejas eternit	\$ 43.400	4	unidad	\$ 173.600	
Sensores DHT11	\$ 45.000	3	Unidad	\$ 135.000	
Lombriz Eisenia Foetida	\$ 4.000	540	Kg	\$ 2.160.000	
Mano de obra construcción				\$ 200.000	
TOTAL				\$ 4.097.600	
Cada cama 180 kg de lombriz					

GASTO DE VERMICOMPOSTAJE						
MES	LODOS KG	CARACTERIZACIÓN F.	SEGUIMIENTO	EMBALAJE	DISTRIBUCIÓN	TOTAL
ENERO	863	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 60.000	\$ 100.000	\$ 703.000
FEBRERO	1584	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 90.000	\$ 100.000	\$ 733.000
MARZO	701	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 60.000	\$ 100.000	\$ 703.000
ABRIL	648	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 60.000	\$ 100.000	\$ 703.000
MAYO	831	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 60.000	\$ 100.000	\$ 703.000
JUNIO	274	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 30.000	\$ 100.000	\$ 673.000
JULIO	0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
AGOSTO	1925	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 120.000	\$ 100.000	\$ 763.000
SEPTIEMBRE	236	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 30.000	\$ 100.000	\$ 673.000
OCTUBRE	1055	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 90.000	\$ 100.000	\$ 733.000
NOVIEMBRE	2519	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 150.000	\$ 100.000	\$ 793.000
DICIEMBRE	735	\$ 463.000	\$ 80.000	\$ 60.000	\$ 100.000	\$ 703.000
TOTAL	11371	\$ 5.093.000	\$ 880.000	\$ 810.000	\$ 1.100.000	\$ 7.883.000
Caracterización final parámetro a 40.000						
Mano de obra seguimiento sueldo del trabajador al mes						
Embalaje días de trabajo de empaque a 3000/día						
Transporte y venta del humus al mes						

Fuente: Autores

Tabla 7-4. Ahorro potencial para la empresa Transmasivo S.A. con la técnica de vermiestabilización

AHORRO				
2016	TOTAL ACTUAL	LOMBRICULTURA	INGRESOS	AHORRO
ENERO	\$ 904.918	\$ 703.000	\$ 258.900	\$ 460.818
FEBRERO	\$ 1.627.520	\$ 733.000	\$ 475.200	\$ 1.369.720
MARZO	\$ 742.558	\$ 703.000	\$ 210.300	\$ 249.858
ABRIL	\$ 689.440	\$ 703.000	\$ 194.400	\$ 180.840
MAYO	\$ 872.847	\$ 703.000	\$ 249.300	\$ 419.147
JUNIO	\$ 314.609	\$ 673.000	\$ 82.200	-\$ 276.191
JULIO	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
AGOSTO	\$ 1.969.278	\$ 763.000	\$ 577.500	\$ 1.783.778
SEPTIEMBRE	\$ 276.524	\$ 673.000	\$ 70.800	-\$ 325.676
OCTUBRE	\$ 1.097.344	\$ 733.000	\$ 316.500	\$ 680.844
NOVIEMBRE	\$ 2.564.598	\$ 793.000	\$ 755.700	\$ 2.527.298
DICIEMBRE	\$ 776.633	\$ 703.000	\$ 220.500	\$ 294.133
TOTAL	\$ 11.836.269	\$ 7.883.000	\$ 3.411.300	\$ 7.364.569
Ingresos	Venta del humus			

Fuente: Autores

Finalmente comparando los costos actuales de la empresa Transmasivo S.A. y los costos que se requerirían para el proceso de vermiestabilización se obtuvo que la empresa obtuviera un ahorro de \$ 7'354.565 en la disposición de los biosólidos que generan. Por ende se puede analizar que la este tratamiento si es viable para empresas que generen menos cantidad de biosolidos, que adicional a tener un ahorro la imagen de la empresa mejora en cuanto a su compromiso con el ambiente.

8 Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

- ❖ A nivel general, en todos los tratamientos el proceso demostró que la lombricultura resulta ser una técnica viable con aplicación sencilla y de resultados positivos en cuanto a la transformación de los biosólidos provenientes de la PTAR el Salitre de la ciudad de Bogotá.
- ❖ A partir de la comparación con la norma de los resultados obtenidos, el producto final después del proceso de vermiestabilización presento características favorables para su uso en el sector agrícola y se clasifica en la Clase A para coliformes fecales y considerando que los huevos de helminto también disminuyeron durante el proceso de vermiestabilización, este sustrato puede ser utilizado en la industria agrícola.
- ❖ Después de realizar el análisis, se concluye que los diferentes tratamientos propuestos para la lombricultura variando las tasas de sustrato (estiércol y lodo residual) no difieren en la estabilización reduciendo coliformes fecales y aunque las características cualitativas y cuantitativas recolectadas durante el proceso varían en tiempo mas no en resultados; se determina que sin importar la cantidad de sustrato la estabilización es efectiva para estos biosólidos. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede concluir que el tratamiento con la proporción 80-20% de biosólido y estiércol respectivamente es el más efectivo puesto que significaría menor gasto en su aplicación.
- ❖ Con la prueba de siembra en superficie se pudo determinar que la lombricultura es un tratamiento eficiente en la estabilización de los lodos residuales reduciendo patógenos (coliformes fecales), permitiendo validar que esta técnica es viable en el tratamiento de estos residuos de la PTAR
- ❖ Finalmente se puede analizar que el proyecto no es viable para la PTAR Salitre debido a la gran cantidad de biosólidos que genera, pero a partir de los resultados se podría aplicar a otros sectores productivos.

8.2 Recomendaciones

- ❖ Se recomienda para próximas investigaciones realizar repeticiones a cada tratamiento puesto que en este caso, no se realizó la variación en su composición por analizar el comportamiento a medida del cambio de sustratos, sino por asegurar la sobrevivencia de la lombriz basados en los experimentos anteriores en la PTAR. Adicional a las réplicas realizar un análisis estadístico más complejo que permita determinar si existe o no diferencia entre los diferentes tratamientos aplicados y la certeza del proceso aumente
- ❖ La temperatura y la humedad son variables que se comportan de manera independiente, y que son susceptibles a los cambios del medio por lo tanto es fundamental generar las condiciones necesarias para mantenerlas controladas. Por este motivo se recomienda agregar la sistematización al proceso ya sea con la propuesta del presente proyecto o con otra metodología que facilite la obtención de los datos.
- ❖ Durante esta investigación no se realizaron análisis de metales pesados debido a que el enfoque de este estudio era identificar si la estabilización con lombriz era una técnica viable para los lodos que genera la PTAR Salitre actualmente. Teniendo en cuenta que estos metales contienen riesgos tóxicos es recomendable que para un próximo análisis se tengan en cuenta estos y los demás parámetros que establece el decreto 1287 de 2014 para el uso de biosólidos generados por las PTAR, así determinar si los resultados en este proyecto son verídicos y efectivos y si estos biosólidos pueden ser aplicados a suelos con fines agrícola sin restricciones.
- ❖ Se recomienda seguir con el estudio de factibilidad aplicado a otras empresas de la ciudad, para determinar si la técnica de vermiestabilización es efectiva y viable económicamente, debido a que en la PTAR El Salitre aunque el proceso de vermiestabilización funcione en cuanto a la mejora de las características de los biosólidos no es posible aplicar esta técnica por las excesivas cantidades que se generan. Si esta u otras empresas se apropiaran de esta técnica pueden involucrar agricultores o personas de la zona para que hagan acompañamiento al proceso de vermiestabilización y donde ambas partes obtengan beneficios, de esta manera los resultados de esta actividad tendrían un impacto positivo en el componente social.

Bibliografía

- [1] Ana Margarita Vera, Enrique Sánchez Salinas, Laura Ortiz , and Justina Peña , "ESTABILIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES MUNICIPALES POR MEDIO DE LA TÉCNICA DE LOMBRICOMPOSTAJE," Cuernavaca, Morelos, México, Artículo 2005.
- [2] Gian Paolo Daguer, "GESTIÓN DE BIOSÓLIDOS EN COLOMBIA," Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Salitre Fase I, Bogotá, Artículo 2005.
- [3] Giset Natalia Montoya Moreno and John Alexander Buitrago, "PRODUCCIÓN DE HUMUS A TRAVÉS DEL TRATAMIENTO DE BIOSÓLIDOS CON VERMICOMPOSTAJE, UNA MIRADA AL FUTURO," Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, artículo 2008.
- [4] Ministerio de Ambiente, "Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales," Bogotá, Guía 2002.
- [5] Programa de ONU. (2010) La calidad del agua y el saneamiento. [Online]. http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/swm_cities_zaragoza_2010/pdf/01_water_quality_and_sanitation_spa.pdf
- [6] LOMBRICULTURA PACHAMAMA S.A. (2004) LOMBRICULTURA PACHAMAMA S.A. [Online]. <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/humus/HUMUS%20DE%20LOMBRIZ%20Y%20SU%20APLICACION.pdf>
- [7] Pavel Chaveli Chavéz, Lisbet Font Vila, Bernardo J. Calero Martín, Marialina Valenciano Abreu, and Ignacio Corrales Garriga, "Evaluación de la calidad y estabilidad de abonos órgano-minerales," *CENTRO AGRÍCOLA*, vol. 36, no. 3, pp. 63-69, Septiembre 2009.
- [8] Juan Labrador Moreno, Antonio Guiberteau Cabanillas, Luis Lopez Benites, and Jose Luis Reyes Pablos, "LA MATERIA ORGANICA EN LOS SISTEMAS AGRICOLAS. MANEJO Y UTILIZACION, Hojas divulgadoras, No.3, Ministerio de la," Madrid, 1993.
- [9] Piao Wenhua , Kim Yejin, Kim Hyosoo, and Kim Minsoo, "Life cycle assessment and economic efficiency analysis of integrated management of wastewater treatment plants," *Journal of Cleaner Production/ El Sevier*, vol. 113, pp. 325–337, Noviembre 2015.

- [10] Kelly Reynolds, "Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica," Universidad Arizona, Arizona, 2002.
- [11] Google Earth. (2015, Junio) Ubicacion PTAR Salitre.
- [12] Acueducto, Agua, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, "Descripción de la Ptar Salitre y recopilación de los principales aspectos operativos," Bogotá,.
- [13] Acueducto, agua, alantarillado y aseo de Bogotá, Plegable técnico de la PTAR, http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/Plegable_tecnico.pdf.
- [14] CAR. (2011) Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental Río Bogotá. [Online].
https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fwww.car.gov.co%2Frecursos_ser%2FProyectos%2520Especiales%2FRIO%2520BOGOTA%2FEvaluacion%2520Ambiental%2520Volumen%2520II.pdf&h=ZAQGkd-B6
- [15] Daniela Russi Pinzón, "PROCESO DE GERMINACIÓN CON BIOSÓLIDOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) TRATADOS CON VERMICOMPOSTAJE, CASO PAÍSES TRÓPICO DE CAPRICORNIO (SUDAMÉRICA Y OCEANÍA).," UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, Bogotá, Tesis 2015.
- [16] Juan Gualberto Límon Macías, "LOS LODOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ¿PROBLEMA O RECURSO?," Guadalajara, Jalisco, 2013.
- [17] Carolina Guzmán and Claudia Campos, "INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL EN BIOSÓLIDOS APLICADOS EN AGRICULTURA," *Universitas Scientiarum*, vol. 9, no. 1, p. 9, Junio 2004.
- [18] Diana Marcela Fuquene yate. (2013) Conceptos básicos de lodos residuales UNAD. [Online].
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales_Contenido_en_linea/contenido_didctico.html
- [19] Norma Oropeza García, "Lodos residuales: estabilización y manejo," Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, México, 2006.
- [20] Acueducto, agua y alcantarillado de Bogotá. (2016, Octubre) Informe Mensual de Actividades Septiembre. [Online].

http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/PTAR/INFORME_PTA_R_SEPTIEMBRE_2016.pdf

- [21] Acueducto, agua, alcantarillado y aseo de bogota. Acueducto, agua, alcantarillado y aseo de bogota.
- [22] Perla Alejandra Blanco Jara, "APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PARA CERRAR EL CICLO URBANO DEL AGUA, MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y REDUCIR LOS GEI: CASO DE LA PITAR NUEVO LAREDO," Universidad Nacional Autónoma de México, Monterrey, Nuevo León; México, Proyecto de grado 2014.
- [23] UNITED STATES ENVIRONMENTALPROTECTION AGENCY, "A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, 40 CFR Part 503," UNITED STATES ENVIRONMENTALPROTECTION AGENCY, Washington, Guia 1994.
- [24] United Stated Environmental Protection Agency, "Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage," United Stated Environmental Protection Agency, Washington, DC, Manual 1995.
- [25] Robert Brobst, "BIOSOLIDS MANAGEMENT HANDBOOK," U.S. Environmental Protection Agency, Denver, Manual 1999.
- [26] Rodríguez Olán, Evia Castillo, Menes Montejo, and M de la Cruz-Mondragón, R García-Hernández, "LA DIVERSIDAD DE LOMBRICES DE TIERRA (ANNELIDA, OLIGOCHAETA) EN EL ESTADO DE TABASCO, MÉXICO," El Colegio de la Frontera Sur Unidad Villahermosa., Villahermosa, Tabasco, México, 2005.
- [27] SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACION, "Lombricultura," SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACION, México,.
- [28] Dominguez J y Pérez D, "Gestión de residuos Orgánicos de uso agrícola/Desarrollo y nuevas perspectivas del vermicompostaje," Santiago de Compostela España, 2011.
- [29] La Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales. Las lombrices. [Online].
http://www.actaf.co.cu/index.php?option=com_mtree&task=att_download&link_id=89&cf_id=24

- [30] SECRETARIA DE AGRICULTURA, "Lombricultura," Mexico,.
- [31] Carlos Flores Hernández, "La Lombricultura en la Producción Agrícola Utilizando la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*)," Universidad Autónoma Agraria, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Proyecto de grado 2010.
- [32] Jose Luis Barbado, *Cria de Lombrices*. Mar de Plata, Argentina: Albatros, 2003.
- [33] Felipe Aburto. LA LOMBRIZ ROJA, su actividad en el suelo y posibles uso en suelos con cero labranza. Laboratorio de Suelo, agua y planta Chile. [Online]. <http://www.sap.uchile.cl/descargas/agronomia/lombrices.pdf>
- [34] Red Permacultura. (2008, Abril) Red Permacultura. [Online]. <http://www.redpermacultura.org/articulos/14-agricultura-ecologica/212-la-lombriz-roja-californiana.html>
- [35] Munroe Glenn, "Manual of On-Farm Vermicomposting and Vermiculture," Organic Agriculture Centre of Canada, Canada, Manual.
- [36] Environmental Engineering and Management Programme, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur, Kanpur 208 016, India, "Vermistabilization of primary sewage sludge," *Bioresource Technology*, no. 102, pp. 2812–2820, October 2011.
- [37] Surindra Suthar, "Vermistabilization of municipal sewage sludge amended with sugarcane trash using epigeic *Eisenia fetida* (*Oligochaeta*)," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 163, pp. 199-206, April 2009.
- [38] John Fredy Arango Suarez and Derly Marieth Diaz Salazar, "EVALUACION DE LA REPRODUCCION Y DESARROLLO DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida*) Y COMPONENTES FISICO-QUIMICOS DEL LOMBRICOMPOST CON LA UTILIZACION DE TRES (3) TIPOS DE SUSTRATOS," INSTITUTO TÉCNICO AGRÍCOLA, Guadalajara de Buga, Trabajo de Grado 2010. [Online]. <http://www.gipag.org/archivos/sustralombriz.pdf>
- [39] P. M. Ndegwa, S. A. Thompson, and K. C. Das, "Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids," *Bioresource Technology*, vol. 71, pp. 5-12, abril 1999.
- [40] Renuka Gupta and V K Garg, "Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 153, pp. 1023-1030, Septiembre 2007.

- [41] Hait Subrata and Tare Vinot, "Optimizing vermistabilization of waste activated sludge using vermicompost as bulking material," *Waste Management*, vol. 31, pp. 502-511, Diciembre 2010.
- [42] Suthar Surindra and Singh Sushma, "Feasibility of vermicomposting in biostabilization of sludge from a distillery industry," *Science of the total environment*, vol. 394, pp. 237-243, marzo 2008.
- [43] Mariana Trejos Vélez and Nathalia Agudelo Cardona, "PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA "COMESTIBLES LA ROSA" COMO ALTERNATIVA PARA LA GENERACIÓN DE BIOSÓLIDOS," Universidad tecnológica de pereira, Pereira, Tesis 2012.
- [44] Estefania Caridad Avilés Sacoto, "Determinación de la efectividad del proceso de Lombricultura como tratamiento para la estabilización de lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de aguas," Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Tesis Julio 2011.
- [45] Stefanía Almany Arbelaéz, "Transformación de sólidos provenientes de lodos generados en el sistema de alcantarillados de Bogotá mediante lombriz roja californiana (*Esenia Foetida*)," Universidad el Bosque, Bogotá, Tesis julio 2010.
- [46] Álvaro Chavéz Porras and Ximena Loaiza Echeverry, "ESTUDIO DE LA MOVILIDAD DE NPK EN LOS BIOSÓLIDOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR SALITRE, TRATADOS CON VERMICOMPOSTAJE," *Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales*, abril 2014. [Online].
<http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12031>
- [47] Juan Carlos Castillo Taco. (2010) ANALISIS DE LOMBRICOMPUESTOS A PARTIR DE DIFERENTES SUSTRATOS. [Online].
<http://www.bdigital.unal.edu.co/2730/1/juancarloscastillotaco.2010.pdf>
- [48] Ketheem Kiyasudeen S, Mahamad Hakimi Ibrahim, Shlrene Quaik, and Sultan Ahmed Ismail, *Prospects of organic waste management and the significance of earthworms*, 1st ed. London, New York: Springer, 2016.
- [49] Edwards Clive A. , *Earthworm Ecology*, Segunda edición ed., Clive A. Edwards, Ed. Boca Raton, Florida: CRC pres, 1994.
- [50] Silvana Miranda and Sara Reyes, "Análisis Comparativo del Uso de Lodos provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas en la aplicación

benefica al suelo," Universidad de Santiago de Chile, Santiago de Chile, Tesis 2005.

- [51] Arturo Pérez Vázquez and Cesáreo Landeros Sánchez, "Agricultura y deterioro Ambiental," *Ciencia y Cultura Elementos* , vol. 16, no. 73, p. 19, Marzo 2009.
- [52] Edwin Beltrán Villegas and Jonathan Andres Ruiz Ruiz , "DETERMINACIÓN DEL ROL DE LAS INSTITUCIONES DE APOYO EN LA GESTIÓN DE AGRICULTURA Y GANADERIA DE CONSERVACION EN CUNDINAMARCA," Universidad de la Salle, Bogotá, Trabajo de grado 2001. [Online].
http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_2.html
- [53] Stepanov A.L, "EFFECT OF VARIOUS FORMS OF NITROGEN FERTILIZERS ON NITRIFICATION AND DENITRIFICATION ACTIVITY IN A SODDY-PODZOLIC SOIL," *Engineering Village*, vol. 39, no. 2, pp. 38-40, Febrero 1984.
- [54] Benicio de Barros Neto, Ieda Spacino Scarminio, and Roy Edward Bruns, "Como Fazer Experimentos. Pesquisa e desenvolvimineto na ciencia e na industria," Campinas, 2001.
- [55] Norma Tecnica Colombiana NTC 5167, "Productos para la industria agricola. Materiales orgánicos usados como fertilizante y acondicionadores de suelo," Bogotá, 2003.
- [56] Piao Wenhua , Kim Yejin, Kim Hyosoo, and Kim Minsoo, "Life cycle assessment and economic efficiency analysis of integrated management of wastewater treatment plants," *Journal of Cleaner Production/ El Sevier*, p. 13, Noviembre 2015.
- [57] Gisela Natalia Montoya Moreno and John Alexander Buitrago, "PRODUCCIÓN DE HUMUS A TRAVÉS DEL TRATAMIENTO DE BIOSÓLIDOS CON VERMICOMPOSTAJE, UNA MIRADA AL FUTURO," Universidad Militar Nueva Granada, 2008.
- [58] Ana Margarita Vera, Enrique Sánchez Salinas, Laura Ortiz Hernández, Justina Leticia Peña Camacho, and Magdalena Ortega Silva, "ESTABILIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES MUNICIPALES POR MEDIO DE LA TÉCNICA DE LOMBRICOMPOSTAJE," Centro de Investigación en Biotecnología, Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México,.

-
- [59] LOMBRICULTURA PACHAMAMA S.A., "Humus de lombriz y su aplicación," Viña del mar - chile,.
- [60] Giset Natalia Montoya Moreno and John Alexander Buitrago, "PRODUCCIÓN DE HUMUS A TRAVÉS DEL TRATAMIENTO DE BIOSÓLIDOS CON VERMICOMPOSTAJE, UNA MIRADA AL FUTURO," Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Artículo.

A. Anexo: Datos cuantitativos recolectados durante el proceso

MONTAJE		pH	% Humedad		Temperatura	Perdida de Humedad
Nº	Fecha		Inicial	Final		
1	02-feb-16	6,2	65	80	20,9	20
1	09-feb-16	7,5	60	75	19,5	20
1	16-feb-16	7,3	55	80	21,1	15
1	25-feb-16	7,0	65	75	19,3	15
1	29-feb-16	7,0	60	80	20,8	25
1	02-mar-16	7,3	55	80	22,5	20
1	08-mar-16	7,4	60	80	20,2	20
1	15-mar-16	6,5	60	80	19,8	5
1	18-mar-16	6,6	75	80	21,0	20
1	28-mar-16	6,6	60	70	19,0	15
1	05-abr-16	7,0	55	70	20,5	10
1	11-abr-16	7,1	60	70	20,0	
2	02-feb-16	8,3	60	80	21	25
2	09-feb-16	6,5	55	80	20,3	30
2	16-feb-16	6,5	50	75	19,7	10
2	25-feb-16	7,0	65	70	18,4	10
2	29-feb-16	6,0	60	70	21,6	20
2	02-mar-16	6,4	50	80	22,5	30
2	08-mar-16	6,3	50	80	20,6	20
2	15-mar-16	6,5	60	80	19,6	20
2	18-mar-16	6,5	60	70	20	20
2	28-mar-16	6,4	50	75	22	15
2	05-abr-16	6,4	60	80	21,6	25
2	11-abr-16	6,4	55	80	19,8	
3	02-feb-16	5,0	60	80	22,6	20
3	09-feb-16	7,4	60	75	21	20
3	16-feb-16	7,3	55	80	19,2	20
3	25-feb-16	7,0	60	75	19,1	17
3	29-feb-16	7,0	58	80	21,1	30
3	02-mar-16	7,0	50	80	21,5	20
3	08-mar-16	7,0	60	80	19,5	20
3	15-mar-16	6,5	60	80	21,1	5
3	18-mar-16	6,8	75	80	18,7	22
3	28-mar-16	7,0	58	70	21,3	15
3	05-abr-16	7,2	55	70	22,1	10
3	11-abr-16	6,8	60	70	20,7	

4	02-feb-16	6,6	80	80	19,1	10
4	09-feb-16	6,2	70	90	19,8	30
4	16-feb-16	6,3	60	70	21,5	5
4	25-feb-16	6,0	65	70	19,3	10
4	29-feb-16	7,0	60	80	21,6	26
4	02-mar-16	6,3	54	80	22,8	20
4	08-mar-16	6,2	60	80	20,1	20
4	15-mar-16	6,7	60	85	19,3	15
4	18-mar-16	6,4	70	80	20,3	10
4	28-mar-16	6,5	70	75	20,1	25
4	05-abr-16	6,7	50	80	21,9	20
4	11-abr-16	6,5	60	80	19	
5	02-feb-16		80	80	19,3	15
5	09-feb-16	6,5	65	70	19,6	10
5	16-feb-16	6,5	60	80	20,1	15
5	25-feb-16	7,0	65	70	19	10
5	29-feb-16	6,0	60	90	22,4	20
5	02-mar-16	6,4	70	80	20,4	15
5	08-mar-16	6,3	65	80	18,5	10
5	15-mar-16	6,3	70	80	22	5
5	18-mar-16	6,2	75	75	21,5	5
5	28-mar-16	6,5	70	80	20	10
5	05-abr-16	6,6	70	90	20,1	10
5	11-abr-16	6,6	80	80	19	
6	02-feb-16	6,5	80	80	20	20
6	09-feb-16	6,5	60	80	19,3	20
6	16-feb-16	6,5	60	90	19	25
6	25-feb-16	6,0	65	80	18,9	20
6	29-feb-16	7,0	60	70	21,4	20
6	02-mar-16	6,5	50	80	22	30
6	08-mar-16	6,4	50	80	21,7	20
6	15-mar-16	6,4	60	70	21	10
6	18-mar-16	6,5	60	80	20	20
6	28-mar-16	6,3	60	75	19,6	20
6	05-abr-16	6,7	55	80	20,8	10
6	11-abr-16	6,5	70	80	21,1	

B. Anexo: Datos cualitativos recolectados durante el proceso

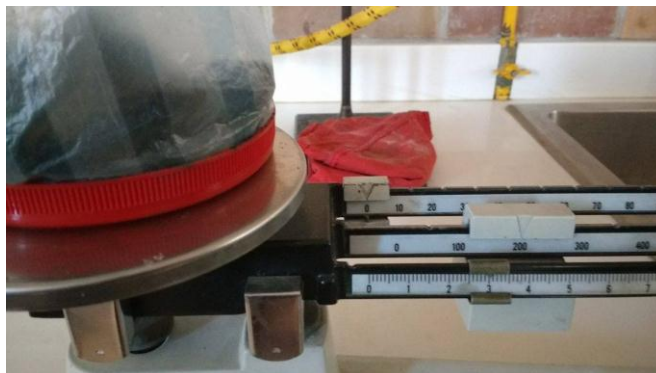
MONTAJE		apariciencia del lodo			apariciencia de lombriz		
N°	Fecha	Color	Olor	Textura	Color	Tamaño	Cantidad
1	02-feb-16	3	3	2	3	3	3
1	09-feb-16	3	3	2	3	3	3
1	16-feb-16	3	3	2	3	3	3
1	25-feb-16	2	3	2	3	3	2
1	29-feb-16	2	3	2	2	2	2
1	02-mar-16	2	2	2	3	2	2
1	08-mar-16	2	2	2	2	2	2
1	15-mar-16	2	2	2	2	2	2
1	18-mar-16	2	1	1	2	2	2
1	28-mar-16	1	1	1	2	2	2
1	05-abr-16	1	1	1	3	2	2
1	11-abr-16	1	1	1	3	2	2
2	02-feb-16	3	3	2	3	2	3
2	09-feb-16	3	3	2	3	2	3
2	16-feb-16	3	3	2	3	2	3
2	25-feb-16	3	3	2	2	2	3
2	29-feb-16	2	2	2	3	2	2
2	02-mar-16	2	2	1	3	2	2
2	08-mar-16	1	1	1	3	2	2
2	15-mar-16	1	1	1	3	2	2
2	18-mar-16	1	1	1	3	2	2
2	28-mar-16	1	1	1	3	2	2
2	05-abr-16	1	1	1	3	2	2
2	11-abr-16	1	1	1	3	2	2
3	02-feb-16	3	3	2	3	3	3
3	09-feb-16	3	3	2	3	3	3
3	16-feb-16	3	2	2	3	3	2
3	25-feb-16	3	2	2	3	3	2
3	29-feb-16	3	2	2	3	3	2
3	02-mar-16	3	2	2	2	2	2
3	08-mar-16	3	2	2	2	2	2
3	15-mar-16	2	2	2	3	3	2
3	18-mar-16	2	1	1	3	3	2
3	28-mar-16	2	1	1	3	3	2
3	05-abr-16	1	1	1	3	3	2
3	11-abr-16	1	1	1	3	3	2

4	02-feb-16	3	3	2	3	3	2
4	09-feb-16	3	3	2	3	3	2
4	16-feb-16	2	2	2	3	2	2
4	25-feb-16	2	2	2	3	2	2
4	29-feb-16	1	1	1	3	2	2
4	02-mar-16	1	1	1	3	2	2
4	08-mar-16	1	1	1	3	2	2
4	15-mar-16	1	1	1	3	2	2
4	18-mar-16	1	1	1	3	2	2
4	28-mar-16	1	1	1	3	2	2
4	05-abr-16	1	1	1	3	2	2
4	11-abr-16	1	1	1	3	2	2
5	02-feb-16	3	3	2	3	2	2
5	09-feb-16	3	3	2	3	2	2
5	16-feb-16	3	3	2	3	2	2
5	25-feb-16	3	2	1	3	2	2
5	29-feb-16	3	2	1	3	2	2
5	02-mar-16	3	2	1	3	2	2
5	08-mar-16	2	2	1	3	2	2
5	15-mar-16	2	1	1	3	2	2
5	18-mar-16	2	1	1	3	2	2
5	28-mar-16	1	1	1	3	2	2
5	05-abr-16	1	1	1	3	2	2
5	11-abr-16	1	1	1	3	2	2
6	02-feb-16	3	3	2	3	2	2
6	09-feb-16	3	3	2	3	2	2
6	16-feb-16	3	3	2	2	2	1
6	25-feb-16	2	3	2	2	2	1
6	29-feb-16	2	2	2	3	2	1
6	02-mar-16	2	2	2	3	2	1
6	08-mar-16	2	2	1	3	2	1
6	15-mar-16	1	2	1	3	2	1
6	18-mar-16	1	2	1	3	2	1
6	28-mar-16	1	1	1	3	2	1
6	05-abr-16	1	1	1	3	2	1
6	11-abr-16	1	1	1	2	2	1

C. Anexo: Procedimiento SMART 3 SOIL

Inicialmente se realizó una filtración en base sólida con 1 gr de cada muestra de cada tratamiento y con ayuda de una bomba de vacío, para finalmente obtener una muestra líquida a la cual se le realizaron los análisis según el manual.

Tabla 8-1. Proceso de filtración de suelo



Fuente: Autores

AMMONIA NITROGEN - HIGH RANGE**NESSLERIZATION METHOD • CODE 3642-SC**

QUANTITY	CONTENTS	CODE
30 mL	Ammonia Nitrogen Reagent #1	V-4797-G
2 x 30 mL	*Ammonia Nitrogen Reagent #2	*V-4798-G
1	Pipet, 1 mL, plastic	0354

***WARNING:** Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax.

A fertile soil may be expected to give a low ammonia nitrogen test reading, unless there has been a recent application of nitrogenous fertilizer in forms other than the nitrate. The rapid disappearance of ammonia after fertilizer application indicates the desired transformation of the ammonia to the more available nitrate compounds. In forest soils, ammonia is the most abundant available form of nitrogen. If there is a satisfactory rate of nitrogen transformation, the humus layers of a forest soil will produce very high concentrations of ammonia nitrogen.

RANGE:	0.00-200.00 lb/acre Ammonia-Nitrogen
METHOD:	Ammonia forms a colored complex with Nessler's Reagent in proportion to the amount of ammonia present in the sample. Rochelle salt is added to prevent precipitation of calcium or magnesium in undistilled samples.
INTERFERENCES:	Sample turbidity and color may interfere. Turbidity may be removed by filtration procedure. Color interferences may be eliminated by blanking the instrument with a sample blank.

Test Procedures

PROCEDURE

1. Press and hold  until colorimeter turns on.
2. Press  to select **TESTING MENU**.
3. Scroll to and select **ALL TESTS** (or another sequence containing 005 Ammonia-N HR) from **TESTING MENU**.
4. Scroll to and select **005 Ammonia-N HR** from menu.
5. Use the 1 mL pipet (0354) to transfer 2 mL of soil extract into a clean tube (0290). Dilute to the 10 mL line with deionized water. Mix and neutralize according to the procedure on page 56.
6. Insert tube into chamber, close lid and select **SCAN BLANK**. (See Note)
7. Remove tube from colorimeter. Add 12 drops of Ammonia Nitrogen Reagent #1 (V-4797). Cap and mix. Wait 1 minute.
8. Use the 1.0 mL pipet (0354) to add 1.0 mL of *Ammonia Nitrogen Reagent #2 (V-4798). Cap and mix. Allow 5 minutes for maximum color development.
9. At end of the 5 minute waiting period, immediately mix, insert tube into chamber, close lid and select **SCAN SAMPLE**. Multiply the result by 50 to determine the ammonia-nitrogen concentration in lb/acre.
10. Press  to turn the colorimeter off or press the  exit to a previous menu or make another menu selection.

NOTE: It is strongly suggested that a reagent blank be determined to account for any contribution to the test result by the reagent system. To determine the reagent blank, follow the above test procedure to scan a distilled or deionized water blank. Then follow the above procedure to perform the test on a distilled or deionized water sample. This test result is the reagent blank. Subtract the reagent blank from all subsequent test results of unknown samples. It is necessary to determine the reagent blank only when a new lot number of reagents is obtained.

AMMONIA NITROGEN CONCENTRATION CHART

POUNDS PER ACRE	RANGE
0-24 lb/acre	Low
25-68 lb/acre	Medium
Over 71 lb/acre	High

NITRITE-NITROGEN

DIAZOTIZATION METHOD • CODE 3650-SC

QUANTITY	CONTENTS	CODE
2 x 60 mL	*Mixed Acid Reagent	*V-6278-H
5 g	*Color Developing Reagent	*V-6281-C
1	Spoon, 0.1 g, plastic	0699
1	Dispenser Cap	0692

***WARNING:** Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax.

Nitrites are formed as an intermediate step in the production of nitrate. Soils that are well drained and aerated contain only small amounts of nitrite nitrogen. Excessive nitrites, which are toxic to plants, may result from soil conditions unfavorable to the formation of nitrate, such as inadequate aeration. High nitrite readings may also be encountered in soils with large amounts of nitrates, where a portion of the nitrate nitrogen decomposes to form nitrites.

APPLICATION:	0.00-40.00 lb/acre Nitrate-Nitrogen
METHOD:	The diazonium compound formed by diazotization of sulfanilamide by nitrite in water under acid conditions is coupled with N-(1-naphthyl)-ethylenediamine to produce a reddish-purple color which is read colorimetrically.
INTERFERENCES:	There are few known interferences of substances at concentrations less than 1000 times that of nitrite; however, the presence of strong oxidants or reductants may readily affect the nitrite concentrations. High alkalinity (above 600 mg/L) will give low results due to a shift in pH.

Test Procedures

PROCEDURE

NOTE: Place Dispenser Cap (0692) on *Mixed Acid Reagent (V-6278). Save this cap for refill reagents.

1. Press and hold  until colorimeter turns on.
2. Press  to select TESTING MENU.
3. Select ALL TESTS (or another sequence containing 067 Nitrite-N LR) from TESTING MENU.
4. Scroll to and select 067 Nitrite-N LR from menu.
5. Use the 1 mL pipet (0354) to add 2 mL of soil extract to a clean tube (0290) and dilute to the line with deionized water. Cap tube and mix.
6. Insert tube into chamber, close lid and select SCAN BLANK.
7. Remove tube from colorimeter and pour off 5 mL into a graduated cylinder or similar. Discard the remaining diluted extract.
8. Pour the 5 mL diluted extract from the graduated cylinder or similar into the colorimeter tube. Use graduated cylinder or similar to measure 5 mL of *Mixed Acid Reagent (V-6278) and add to tube. Cap and mix.
9. Use the 0.1 g spoon (0699) to add two measures of *Color Developing Reagent (V-6281). Cap and mix by gently inverting for 1 minute. Wait 5 minutes for maximum color development.
10. At the end of the 5 minute waiting period, mix, insert tube into chamber, close lid and select SCAN SAMPLE. Multiply the result by 50 to determine the nitrite-nitrogen concentration in lb/acre.
11. Press  to turn colorimeter off or press  button to exit to a previous menu or make another menu selection.

NOTE: To convert nitrite-nitrogen (NO₂-N) results to ppm nitrite (NO₂), multiply results by 3.3.

NITRITE-NITROGEN CONCENTRATION CHART

POUNDS PER ACRE	RANGE
0.0-2.0 lb/acre	Low
2.5-4.0 lb/acre	Medium
4.5-10.0 lb/acre	Medium High
Over 10 lb/acre	High

Test Procedures

PHOSPHATE**ASCORBIC ACID REDUCTION METHOD • CODE 3653-SC**

QUANTITY	CONTENTS	CODE
60 mL	*Phosphate Acid Reagent	*V-6282-H
5 g	*Phosphate Reducing Reagent	*V-6283-C
1	Pipet, 1 mL, plastic	0354
1	Spoon, 0.1 g, plastic	0699

***WARNING:** Reagents marked with an * are considered to be potential health hazards. To view or print a Material Safety Data Sheet (MSDS) for these reagents go to www.lamotte.com. To obtain a printed copy, contact LaMotte by e-mail, phone or fax.

Phosphorus is necessary for the hardy growth of the plant and activity of the cells. It encourages root development, and by hastening the maturity of the plant, it increases the ratio of grain to straw, as well as the total yield. It plays an important part in increasing the palatability of plants and simulates the formation of fats, convertible starches and healthy seed. By stimulating rapid cell development in the plant, phosphorus naturally increases the resistance to disease. An excess of phosphorus does not cause the harmful effect of excessive nitrogen and has an important balancing effect upon the plant.

APPLICATION: 0.00-99.00 lb/acre Phosphorus

METHOD: The diazonium compound formed by diazotization of sulfanilamide by nitrite in water under acid conditions is coupled with N-(1-naphthyl)-ethylenediamine to produce a reddish-purple color which is read Ammonium molybdate and antimony potassium tartrate react in a filtered acid medium with dilute solution of PO_4^{3-} to form an antimony-phosphomolybdate complex. This complex is reduced to an intense blue colored complex by ascorbic acid. The color is proportionate to the amount of phosphate present. (Only orthophosphate forms a blue color in this test.) Polyphosphates (and some organic phosphorus compounds) may be converted to the orthophosphate form by sulfuric acid digestion. Organic phosphorus compounds may be converted to the orthophosphate form by persulfate digestion.

INTERFERENCES: High iron concentrations can cause precipitation of and subsequent loss of phosphorus.

PROCEDURE

1. Press and hold  until colorimeter turns on.
2. Press  to select TESTING MENU.
3. Select ALL TESTS (or another sequence containing 078 Phosphate ppb) from TESTING MENU.
4. Scroll to and select 078 Phosphate ppb from menu.
5. Use the 1 mL pipet (0354) to add 1 mL of the soil extract to a clean tube (0290) and dilute to the 10 mL line with deionized water.
6. Insert tube into chamber, close lid and select SCAN BLANK.
7. Remove tube from colorimeter. Use 1.0 mL pipet (0354) to add 1.0 mL of *Phosphate Acid Reagent (V-6282). Cap and mix.
8. Use the 0.1 g spoon (0699) to add one measure of *Phosphate Reducing Reagent (V-6283). Cap and shake until powder dissolves. Wait 5 minutes for full color development. Solution will turn blue if phosphorus is present.
9. At end of 5 minute waiting period, mix, insert tube into chamber, close lid and select SCAN SAMPLE. Multiply the result by 32 to determine the phosphorus concentration in lb/acre.
10. Press  to turn colorimeter off or press  to exit to a previous menu or make another menu selection.

PHOSPHORUS IN ALKALINE SOILS

A special extraction procedure is used for determining the available phosphorus content of Western U.S. alkaline soils where the pH value is above 7.0.

EXTRACTION PROCEDURE

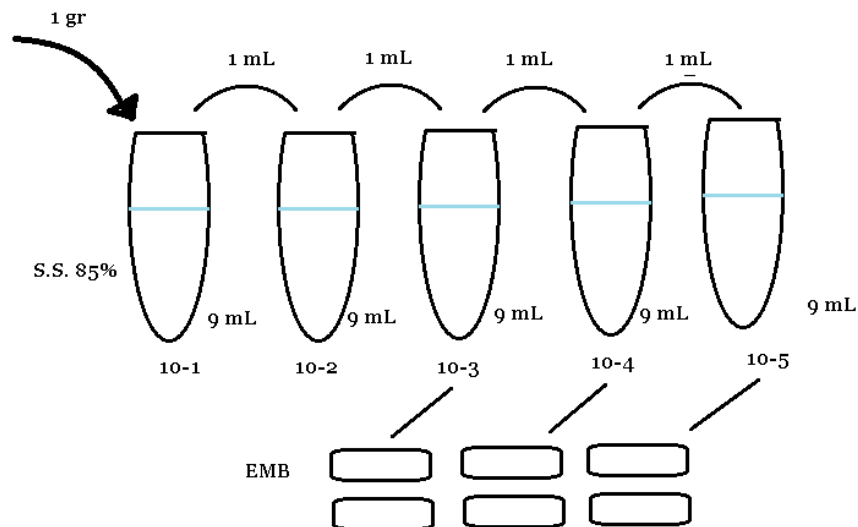
1. Use the 1 mL pipet (0354) to add 1 mL of the *Special NF Extracting Solution (6362) to the test tube (0701) then add deionized water to the graduation.
2. Add 3 one gram measures of soil using the 1 g spoon (0697) to the extracting solution in the vial.
3. Cap the vial and shake for a period of 5 minutes.
4. Filter using the funnel (0459) and filter paper (0463). Collect all of the filtrate.
5. Perform the Phosphorus test according to the Phosphorus procedure given above.

Test Procedures

Test Procedures

D. Anexo: Procedimiento Siembra en superficie

Ilustración 8-1. Procedimiento diluciones para siembra en superficie



- ❖ 6 muestras
- ❖ 30 tubos
- ❖ 36 cajas con medio EMB

$$30 T \times 9 mL = \frac{270 mL \times 0,85 g NaCl}{100 mL} = 2,30 NaCl$$

$$EMB = \frac{120 mL \times 37,5 g}{1000 mL} = 4,5 g$$

El medio utilizado EMB se obtiene en un Erlenmeyer y se pone a fuego lento cuidando que no llegue a su punto de ebullición, posteriormente se sirve en las cajas de Petri previamente esterilizadas para que estén libres de microorganismos y se sirve el medio que se desea utilizar para el conteo.

Después de que el EMB se encuentra solidificado en las cajas de Petri se prosigue a realizar la siembra con el siguiente procedimiento:

Siempre que se utilicen instrumentos de siembra de platino o nicrón, deben ser calentados en la llama del mechero hasta el rojo vivo, antes y después de realizar la siembra, con el objetivo de destruir a los microorganismos contaminantes de la superficie del instrumento.

Con independencia del tipo de medio y el método de siembra a emplear ésta debe realizarse en las proximidades de la llama del mechero y a que el calor emanado reduce el número de microorganismos presentes en sus inmediaciones, lo cual es utilizado como un recurso a favor del proceder aséptico. Este método de siembra se realiza sobre la superficie de los medios de cultivo sólidos distribuidos en placas de "Pettry" o en tubos de ensayo solidificados en forma de cuña.

Coger el asa por el cabo, en forma similar, a cuando tomamos el lápiz para escribir.

Introduzca el asa de alambre de platino o nicrón directamente en la zona de color azul de la llama del mechero, hasta que se ponga al rojo vivo. Seguidamente, proceda a introducir lentamente el resto del alambre para lograr el mismo efecto. Retire el instrumento de la llama y espere de 4 a 5 segundos con el objetivo de que el asa se enfríe.

Con el asa estéril y fría tome el volumen o fragmento de la muestra que será sembrado y trasládalo de inmediato para el medio del cultivo seleccionado.

Si la siembra se fuera a realizar en la superficie de un medio solidificado en placa de Petry, proceda de la siguiente manera:

Con la mano opuesta a la que sujeta el asa de platino, tome la placa de Petry, de manera que la tapa quede hacia arriba. Con ayuda del dedo pulgar abra parcialmente la placa.

Introduzca el asa con la muestra y proceda a deslizarla suavemente en forma de zigzag, desde la pared, hasta cubrir aproximadamente un tercio de toda la superficie.

Cierre la placa y gírela varios cm, en contra de las manecillas del reloj, procediendo a abrirla nuevamente por igual procedimiento.

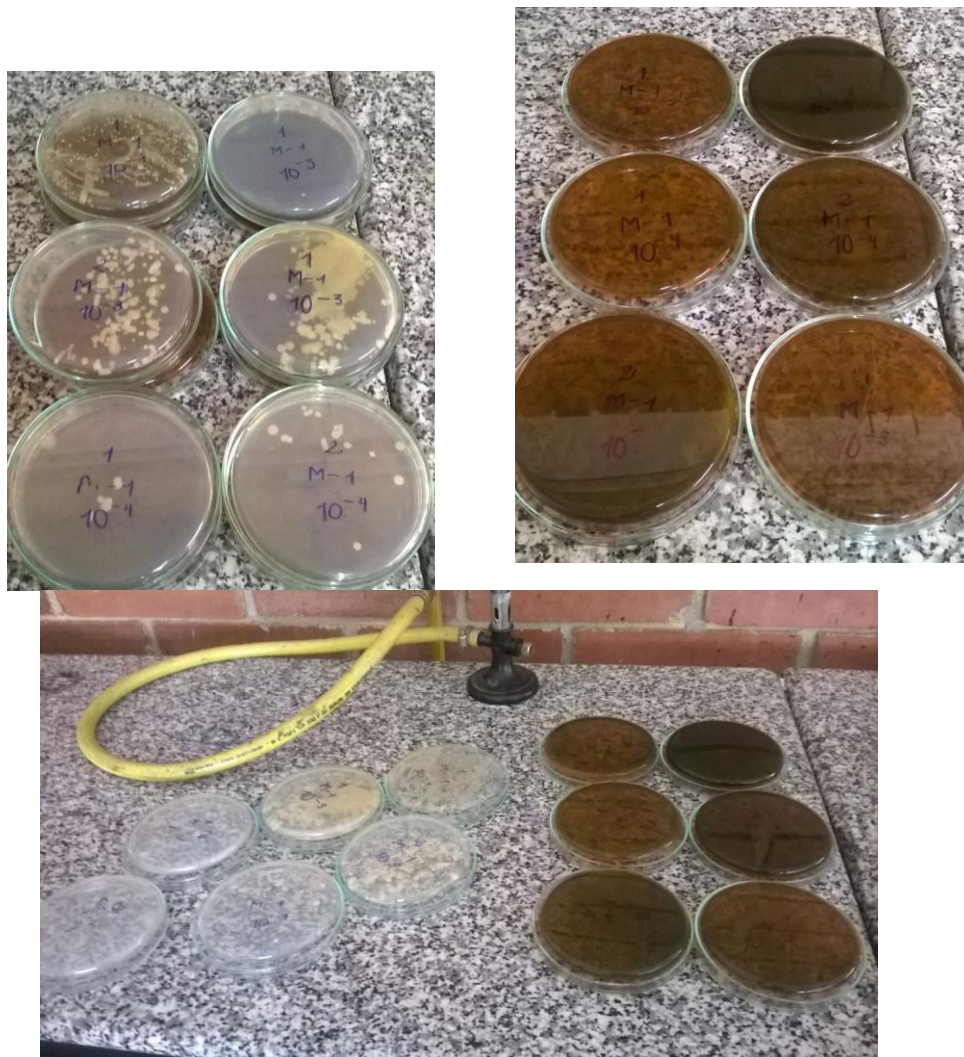
Introduzca nuevamente el asa y haga un segmento similar al anterior, de manera que las bacterias sembradas en el primer segmento sean removidas para el segundo.

Finalmente cierre la placa y colóquela sobre la mesa de trabajo boca abajo.

Esterilice el asa de platino a la llama del mechero, en la forma explicada antes de dejarla en el puesto de trabajo

Luego de este procedimiento se guardan los medios durante 24 horas para que las colonias crezcan y se pueda realizar el conteo:

Ilustración 8-2. Resultados Siembra en superficie



Fuente: Autores

Finalmente se realiza el cálculo del número de unidades formadoras de colonias:

$$\# \frac{UFC}{g} = \frac{\# \frac{UFC}{caja} \times \left(\frac{1}{\# \text{ dilución}} \right)}{0,1 \text{ mL}} \times 9 \text{ mL}$$

Para cada muestra se realizaron dos repeticiones de cada dilución. En los resultados obtenidos se obtuvo E.Coli en la segunda repetición de la muestra dos, pero este resultado se pudo deber a errores en el procedimiento o por los limitantes de laboratorio en cuanto a instrumentos.

Tabla 8-2. Resultados siembra en superficie para Coliformes Fecales

MONTAJE	DILUSIÓN	# COLONIAS		OBSERVACIONES	BACTERIAS	COLIFORMES FECALES
		REPETICIÓN 1	REPETICIÓN 2			
1	0,0001	30	25		2,48E+07	0,00E+00
2	0,0001	33	61	D. 10X-5. REP 2 CON E.COLI, REP 1 NINGUNA	4,23E+07	0,00E+00
3	0,0001	25	30		2,48E+07	0,00E+00
4	0,00001	5	2	10X-4 INCONTABLES	3,15E+07	0,00E+00
5	0,00001	INCONTABLE	13	10X-4 INCONTABLES	1,17E+08	0,00E+00
6	0,0001	51	70	10X-5 NADA	5,45E+07	0,00E+00

Fuente: Autores

E. Anexo: Proceso de optimización

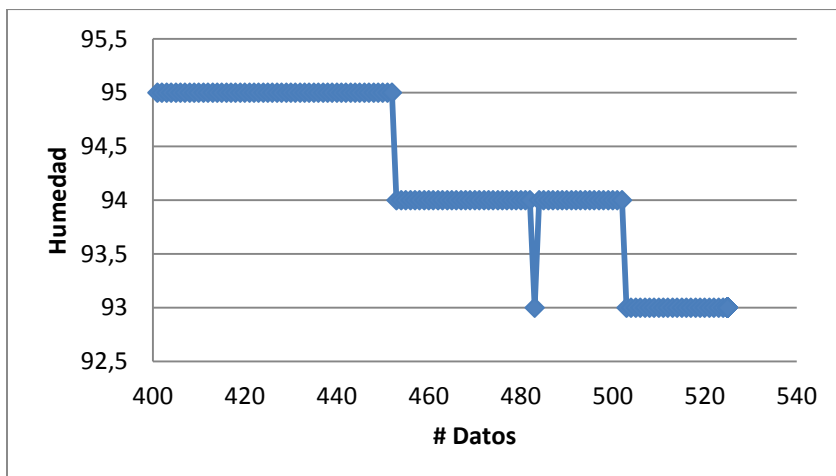
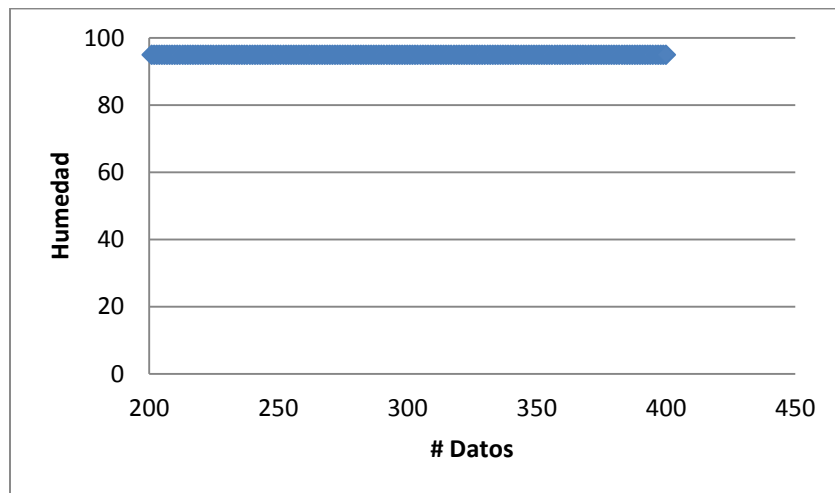
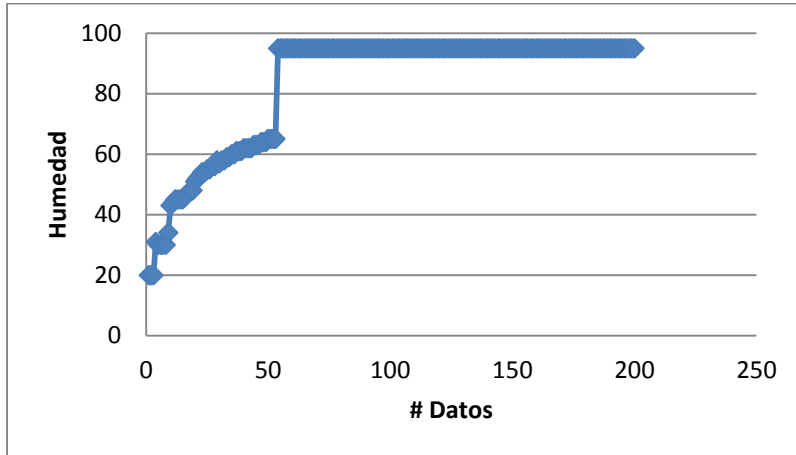
El proceso de optimización se basa en el objetivo de facilitar el seguimiento al proceso de vermiestabilización por lo tanto se planeó utilizar un software que permita a partir de sensores monitorear el cambio de las variables en el tiempo sin la necesidad de estar presentes en el lugar, por el contrario que por medio de una plataforma en línea se obtengan los datos con intervalos deseados y se puedan descargar directamente para su posterior análisis.

Para estos ensayos se utilizó:

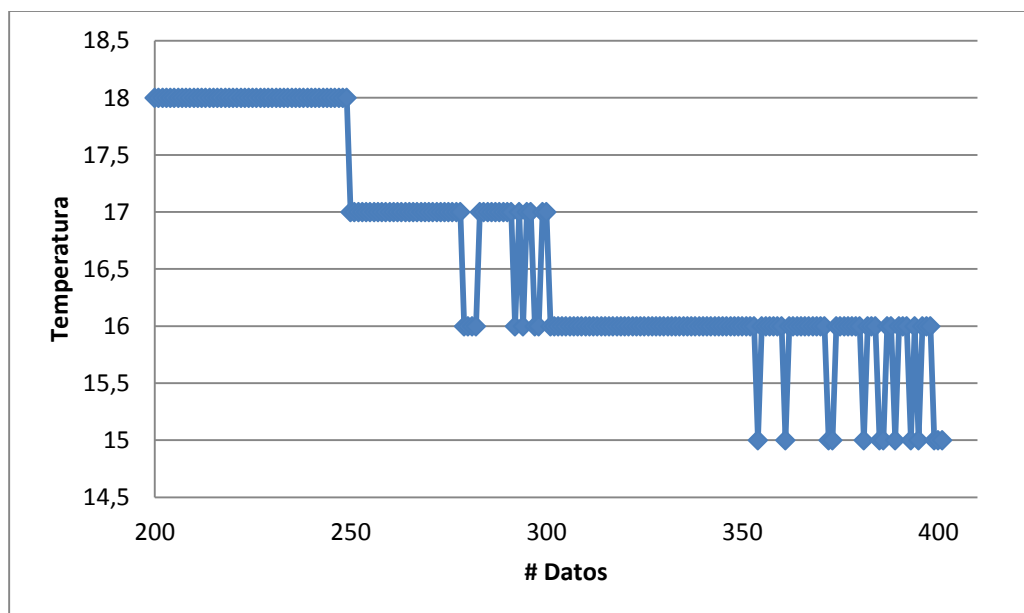
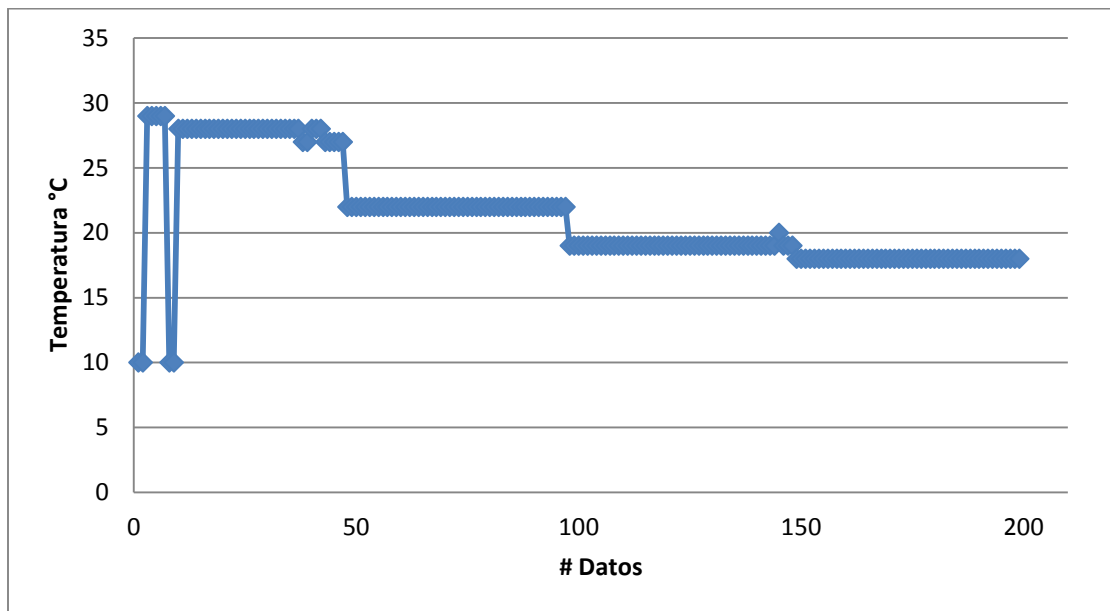
- ❖ Una plataforma llamada “ThingSpeak”, que es la primera solución abierta para los productos y servicios del Internet de las Cosas. Permite a la gente crear blogs fácilmente, ThingSpeak permite a los desarrolladores interactuar con los dispositivos utilizando tecnologías Web estándar. ThingSpeak puede funcionar, bien a través de un servicio gratuito de host, o bien, en servidores personales.
- ❖ Una tarjeta con arduino, el cual es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar.
- ❖ Un sensor DHT11, que se caracteriza por tener la señal digital calibrada por lo que asegura una alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo, ya que contiene un microcontrolador de 8 bits integrado. Está constituido por dos sensores resistivos de temperatura y humedad.

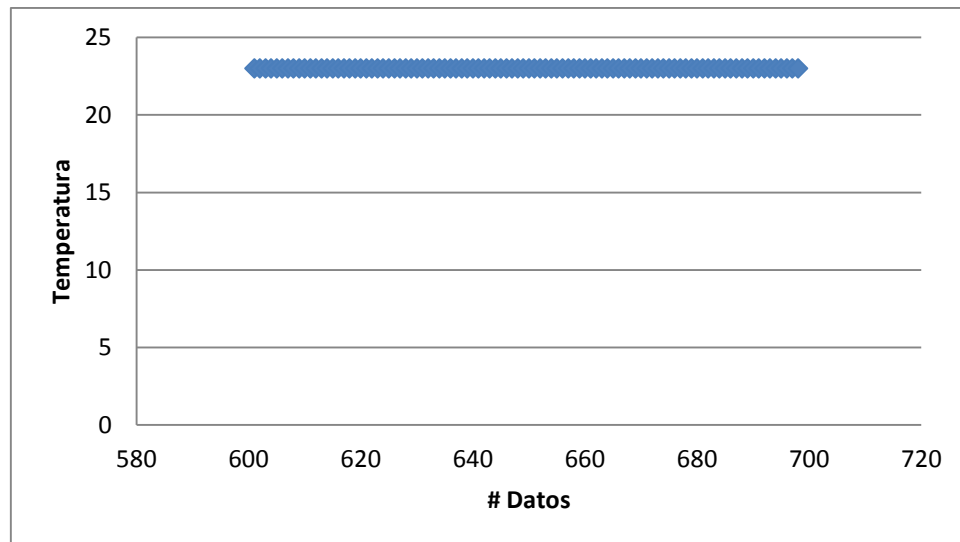
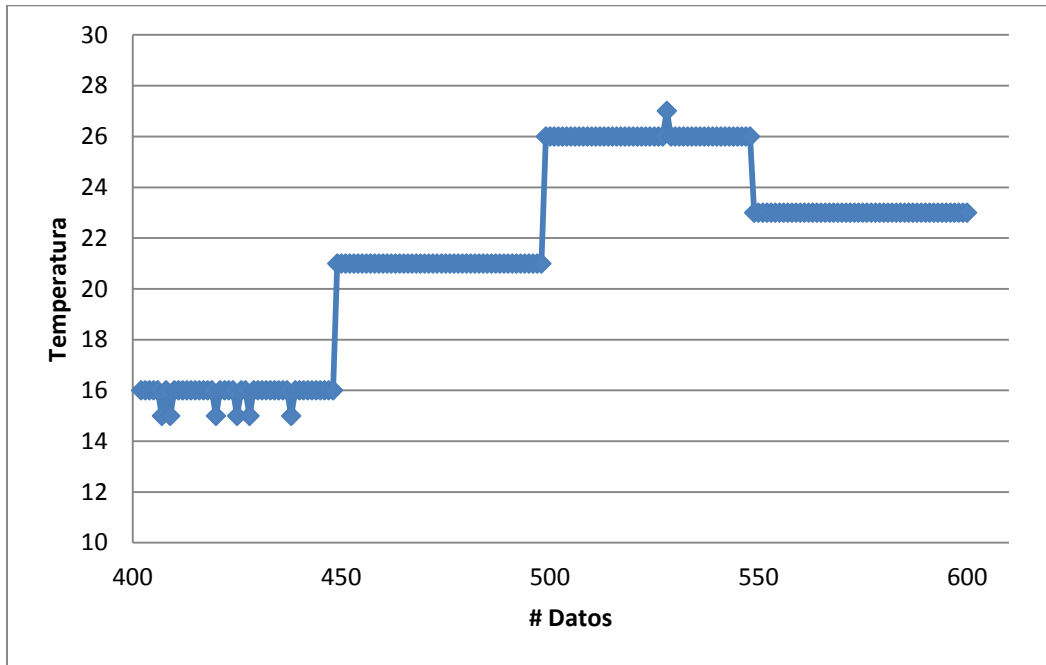
Se instaló el arduino y el sensor en el laboratorio de microbiología y se preparó un usuario que permitiera descargar los datos en cualquier momento del día y a cualquier hora, los resultados se muestran a continuación (las gráficas se realizaron con los datos descargados, pero en la plataforma se pueden ver las gráficas del comportamiento de los datos donde relaciona la humedad y la hora exacta en que tomó el dato el sensor).

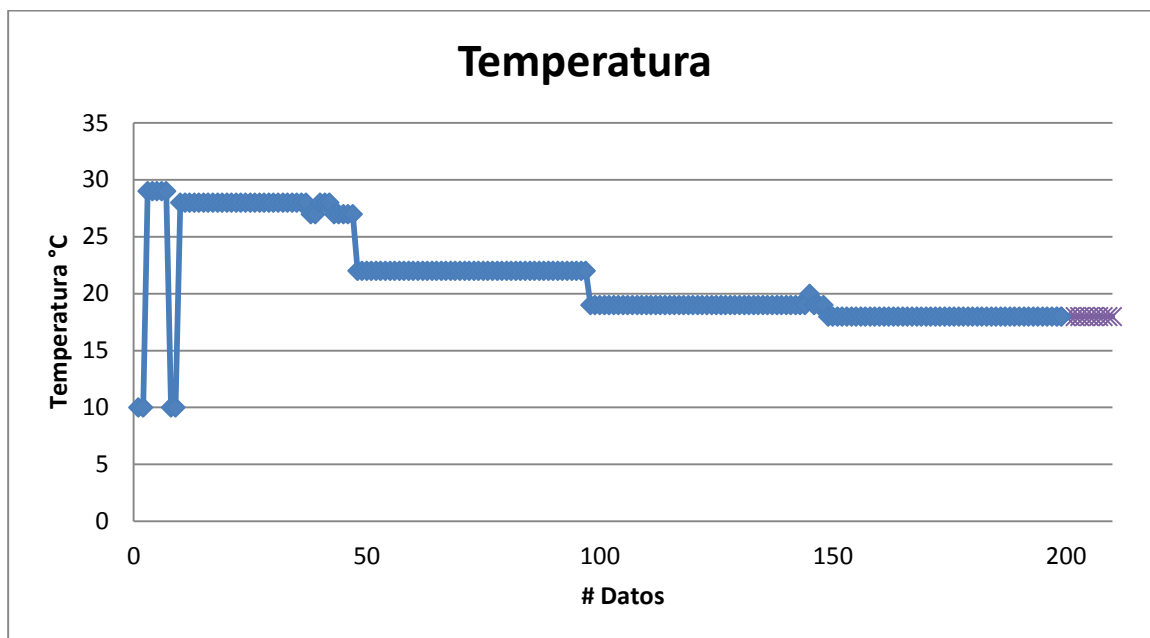
Esta investigación sigue en proceso debido a que se realizó un cambio en el sensor DHT11 por motivos de funcionamiento y en el momento se encuentra aplazada por remodelación del laboratorio. No obstante se presentan las gráficas obtenidas de los datos descargados por medio de la plataforma (thingspeak).

Gráfica 8-1. Variación en la Humedad

Gráfica 8-2. Variación de temperatura





Gráfica 8-3. Comportamiento de la temperatura durante la experimentación**Gráfica 8-4. Comportamiento de la Humedad durante la experimentación**