

**ESTUDIO COMPARATIVO PARA EL MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE
LOS LODOS PROVENIENTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PRESENTE EN LA AVÍCOLA EL MADROÑO**

ANDRÉS ALEJANDRO SARQUEZ CRUZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PIEDECUESTA

2013

**ESTUDIO COMPARATIVO PARA EL MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE
LOS LODOS PROVENIENTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PRESENTE EN LA AVÍCOLA EL MADROÑO**

ANDRÉS ALEJANDRO SARQUEZ CRUZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Ambiental**

Directora MARÍA KOPYTKO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PIEDRECUESTA

2013

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Piedecuesta, 15 de Octubre de 2013

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo y la confianza que depositaron en mí.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sinceros agradecimientos a:

- A mi madre por su apoyo incondicional y el amor que me ha transmitido durante toda mi vida.
- María Kopytko, Directora del proyecto, por su inestimable ayuda al momento de realizar este trabajo, así como por su constante apoyo y dedicación.
- A Silvia Suárez por su respaldado y apoyo durante todo este proceso, así como también por estar siempre dispuesta a arreglarlo todo y a ayudar en ese preciso instante.
- A mi compañera Cristina Bravo y los demás trabajadores del área ambiental de la Avícola El Madroño por su ayuda durante el tiempo que se llevó a cabo el proyecto.
- A todos los docentes que conocí durante la carrera, por todas sus enseñanzas.
- A Carlos Mariño por su ayuda y apoyo desinteresado.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo General.....	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3. MARCO TEÓRICO	14
3.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	14
3.1.1 Tratamientos preliminares	15
3.1.2 Tratamiento primario.....	16
3.1.3 Tratamiento Secundario.....	17
3.2 LODOS RESIDUALES	18
3.2.1 Características físicas	19
3.2.2 Características químicas.....	21
3.2.3 Características microbiológicas	28
3.3 MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE LODOS	31
3.3.1 Compostaje.....	31
3.3.2 Lombricultura	37
3.4 MARCO LEGAL	41
4. METODOLOGÍA	46

4.1 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LOS LODOS, PROVENIENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE INTERÉS, PARA SU POSIBLE USO EN LOMBRICULTURA Y COMPOSTAJE.	46
4.2 EVALUACIÓN DE LOS ABONOS RESULTANTES, SIGUIENDO LOS PARÁMETROS DEL ICA.	49
4.2.1 Tratamiento de la muestra control	50
4.2.2 Tratamiento del lodo residual mediante el método de compostaje	51
4.2.3 Tratamiento del lodo residual mediante el método de Lombricultura.....	52
4.3 COMPARACIÓN DE LAS DOS APLICACIONES DE USO DEL LODO, DESDE EL PUNTO DE VISTA TÉCNICO Y ECONÓMICO, COMO ALTERNATIVAS PARA SU APROVECHAMIENTO.	56
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	58
5.1 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LOS LODOS, PROVENIENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE INTERÉS, PARA SU POSIBLE USO EN LOMBRICULTURA O COMPOSTAJE.	58
5.2 EVALUACIÓN DE LOS ABONOS RESULTANTES, SIGUIENDO LOS PARÁMETROS DEL ICA.	61
5.2.1 Aprovechamiento del lodo residual aplicándolo en el proceso de compostaje	62
5.2.2 Aprovechamiento del lodo residual aplicándolo en el proceso de lombricultura.	66

5.2.3 Comparación de análisis fisicoquímicos finales entre los materiales procesados	70
5.3 COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LOS MÉTODOS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA.....	74
5.3.1 Método del compostaje.....	74
5.3.2 Método de lombricultura	76
6. CONCLUSIONES.....	80
7. RECOMENDACIONES.....	82
8. BIBLIOGRAFÍA.....	83
LISTA DE TABLAS.....	86
LISTA DE GRÁFICAS.....	88
LISTA DE FIGURAS.....	89
LISTA DE ANEXOS.....	90

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ESTUDIO COMPARATIVO PARA EL MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS PROVENIENTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PRESENTE EN LA AVÍCOLA EL MADROÑO

AUTOR(ES): Andrés Alejandro Sarquez Cruz

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): María Irena Kopytko

RESUMEN

El proyecto de estudio comparativo para el manejo y aprovechamiento de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales presente en la Avícola El Madroño, busca establecer alternativas para dar un manejo adecuado a los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales, logrando de esta forma mitigar el impacto ambiental negativo que estos ocasionan al área donde son dispuestos, al ambiente y a la población de la zona aledaña a la empresa. En primera instancia se realizó un estudio en laboratorio de los lodos residuales, con el fin de conocer sus características y su calidad para poder ser aprovechados. Posteriormente se establecieron los métodos de compostaje y lombricultura como alternativas para el tratamiento y manejo de los lodos y se realizó el montaje de estos procesos a lo largo de 3 meses. A continuación se analizaron en un laboratorio los abonos resultantes de estos 2 ensayos y se compararon con los parámetros establecidos por el Instituto Colombiano Agrario, para su posible comercialización como fertilizantes o remediadores de suelos, dando como mejor abono el resultante del método de compostaje. Como última fase se llevó a cabo un análisis de relación Beneficio/Costo (B/C) que dio como resultado que el método de compostaje daba económicamente viable a los 3 meses. Finalmente el proyecto arrojó resultados positivos en cuanto a que el proceso de compostaje surge como la alternativa más adecuada para el tratamiento de estos lodos, ya que es un proceso que presenta rápidos resultados y que además no requiere de una disponibilidad total de tiempo, aspecto que beneficiaría enormemente a la empresa, ya que la generación de lodos residuales en esta es muy alta y se hace necesaria la implementación de un manejo rápido y efectivo de los lodos.

PALABRAS CLAVES: Lodo, Compostaje, Lombricultura, Abonos, Fertilizantes, Residuales.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: THE COMPARATIVE STUDY PROJECT FOR THE HANDLING AND AVAILMENT OF THE SLUDGE COMING FROM WASTEWATER TREATMENT PRESENT AT THE POULTRY “EL MADROÑO”.

AUTHOR(S): Andrés Alejandro Sarquez Cruz

FACULTY: Environmental Engineering Faculty

DIRECTOR: María Irena Kopytko

ABSTRACT

The comparative study project for the handling and availment of the sludge coming from wastewater treatment present at the poultry “El Madroño”, seeks to establish alternatives to give adequate management to residual sludge generated at the wastewater treatment plant, thereby achieving mitigating the negative environmental impact that these cause to the area where they are disposed, to the environment and to the population of the area surrounding the company. At first instance, a study in laboratory of the residual sludge was conducted for the purpose of knowing its features and quality in order to be availed. Afterwards, the composting and vermiculture methods were established as alternatives for the treatment and handling of the biosolids, and the assembly of these processes was performed over a period of three months. Subsequently, the resulting composts from these two tests were analyzed and compared with the parameters established by the Colombian Agrarian Institute, for their possible commercialization as fertilizers or soil remediators, giving the best compost the resulting from the composting method. As the final phase, a cost/benefit relation was carried out which resulted in composting method being economically feasible at 3 months. Finally, the Project yielded positive results in that the composting process emerges as the most suitable alternative for the treatment of biosolids, since it’s a process that provides quick results and doesn’t require a total availability of time, something that would greatly benefit the company since its residual sludge generation is very high and it becomes necessary to implement a fast and effective handling of the sludge.

KEYWORDS: Sludge, Wastewater, Composting, Vermiculture, Compost, Fertilizers

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la necesidad de minimizar los residuos sólidos generados en una empresa, así como su disposición segura y adecuada, son acciones realmente necesarias y de suma importancia. Esto ha llevado a que se establezcan medidas, alternativas y políticas de manejo de los residuos sólidos, para efectuar una correcta disposición y aprovechamiento de estos.

En la actualidad la Avícola El Madroño cuenta con dos plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales generan lodos remanentes en grandes cantidades, correspondientes entre 4 a 5 toneladas mensuales y dispuestos o amontonados al aire libre. Esta disposición proporciona múltiples problemas sanitarios, paisajísticos, sociales y sobretodo ambientales. Los montos de lodos dispuestos en el suelo sin control, generan un mal aspecto visual dentro de la empresa y producen olores ofensivos al secarse, atrayendo los vectores y plagas. Además conllevan a problemas sociales por el riesgo sanitario, al cual está expuesta la población cercana y un deterioro de gran área del suelo, donde se ubican estos lodos.

Por todo lo anterior se hace necesario desarrollar un adecuado manejo de este residuo sólido, buscando su aprovechamiento como la mejor opción. Una de las soluciones sería la generación de un compostaje y la otra producción de lombrinaza, como alternativas de un abono orgánico, el cual puede responder a las necesidades de la región agrícola cercana. Un beneficio adicional para la empresa podría ser el estímulo económico logrado por la venta de este producto, el cual tiene gran demanda en la región por el deterioro del suelo causado por los monocultivos.

El proyecto presentado a continuación pretende realizar el estudio comparativo para el manejo y aprovechamiento de los lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales que se realiza en la Avícola el Madroño ubicada en el casco urbano de Lebrija-Santander.

Este proyecto consistió de varias fases; la primera era realizar un análisis de los lodos resultantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), con el fin de conocer sus características físicas, químicas y biológicas y para darle un adecuado manejo. Posteriormente se compararon los métodos de compostaje y lombricultura como alternativas para el manejo de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Avícola El Madroño. Finalmente se realizó una evaluación de los abonos como un producto resultante del tratamiento de los lodos en el campo, por medio de un estudio en laboratorio de las propiedades fisicoquímicas y biológicas exigidas por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Realizar el estudio para el manejo y aprovechamiento de los lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Avícola El Madroño.

2.2 Objetivos Específicos

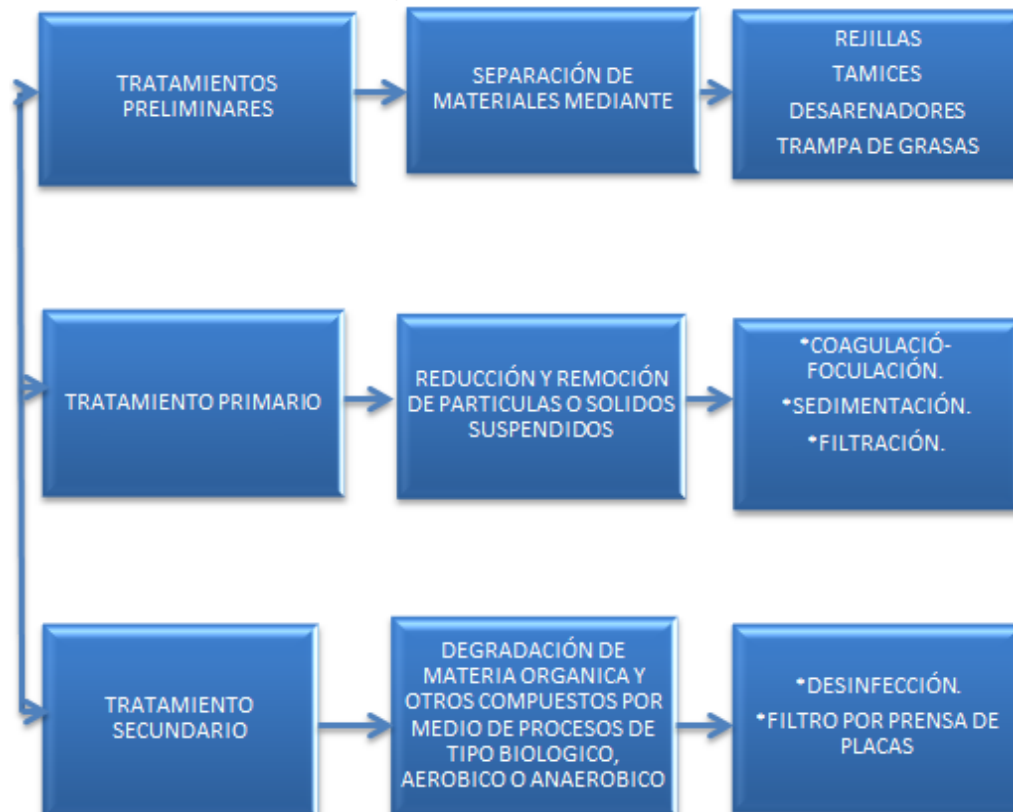
- Evaluar el potencial de los lodos, provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la empresa de interés, para su posible uso en lombricultura o compostaje.
- Evaluar los abonos resultantes siguiendo los parámetros estipulados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Comparar las dos aplicaciones de uso del lodo, desde el punto de vista técnico y económico, como alternativas para su aprovechamiento.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Dar un adecuado tratamiento a las aguas residuales se convirtió en una prioridad mundial, debido a que este es un recurso no renovable e indispensable para la vida de la humanidad, es por eso que al realizar el uso de este recurso, ya sea con fines industriales o domésticos, se deben llevar a cabo tratamientos de descontaminación, que permitan un reúso de estas aguas y que además no afecte al ecosistema donde éstas sean dispuestas. Para esto se hace necesario realizar tratamientos que mejoren la calidad y disminuyan el efecto negativo de las aguas contaminadas al ecosistema. Dichos tratamientos se resumen en 3 pasos:

Gráfica 1. Tratamiento de aguas residuales presente en la empresa



Fuente: Avícola El Madroño

3.1.1 Tratamientos preliminares

Los tratamientos preliminares se realizan previos a los tratamientos primarios. En estos se realiza la separación de grandes materiales que pueda llevar el agua residual, con el fin de que no afecten los tratamientos posteriores.

Para realizar un tratamiento preliminar adecuado se pueden usar las siguientes unidades:

- Rejillas: Tienen aproximadamente 6 mm de grosor y son dispuestas verticalmente. “Son uno de los métodos más elementales para remover material contaminante grueso de las aguas residuales” ¹ como basuras, que lleguen a afectar los tratamientos posteriores.
- Tamices: Son unos filtros más pequeños utilizados con el fin de separar un porcentaje más alto de sólidos tanto grandes como pequeños entre los 0.5 y 1.5mm que hayan superado a las rejillas.
- Desarenadores: Son estructuras hidráulicas utilizadas con el fin de retener las arenas y gravas que vienen por arrastre en las aguas residuales y cuya acumulación en las tuberías podría generar problemas es los tratamientos posteriores.

¹ (Alvaro Orozco Jaramillo, Alvaro Salazar Arias, Tratamiento biológico de las aguas residuales: Medellín, 1985. p 89).

- Trampa de grasas: Su objetivo es separar las grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes cuya densidad es menor que la del agua y que pueden llegar a taponar los filtros más pequeños y a dificultar la aireación en la depuración de los fangos.

3.1.2 Tratamiento primario

El tratamiento primario se hace con el fin de reducir y remover las partículas o sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales por medio de tratamientos físico-químicos

En esta parte del proceso, el agua se mantiene en tanques, donde se le aplican sustancias químicas que mejoran la sedimentación de los lodos que éstas presentan. Los métodos principales que se pueden incluir en el tratamiento primario son:

- Coagulación-Floculación: La coagulación-floculación son procesos químicos que buscan que las partículas en suspensión que presenta el agua, se aglomeren en forma de flocs con el fin de que su peso específico supere al peso del agua y estos puedan precipitarse al fondo del tanque. La función de la coagulación es neutralizar y desestabilizar las cargas eléctricas que presentan las partículas coloidales. Es así que las fuerzas repulsoras entre las partículas dejan de actuar y estas empiezan a atraerse unas con otras. Este proceso se da al agregar un coagulante al agua y se da en cuestión de segundos. Por otra parte, la floculación es un proceso en el que partículas coloidales desestabilizadas actúan en el agua formando pequeños flóculos que empiezan a atraerse conformándose flocs de mayor tamaño que terminan en el fondo de los tanques por sedimentación.
- Sedimentación: Es de los principales tratamientos a los que se somete al agua residual. “Se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para

separar sólidos en suspensión de las mismas por medio de la sedimentación de los sólidos presentes en el agua, basada en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran”². Dicha agua se mantiene durante 1 a 3 horas en un tanque adecuado, tiempo suficiente para que los sólidos se posen en el fondo del tanque, lográndose una eliminación de alrededor de un 60% de los sólidos en suspensión y cerca de un 30% de materia orgánica, los cuales serán retirados por medio de colectores mecánicos.

- Filtración: En esta parte del proceso, el agua se pasa a través de un medio poroso con el fin de retener la mayor cantidad de sólidos coloidales y suspendidos presentes en el agua. Regularmente para estos medios porosos el material utilizado es arena.

3.1.3 Tratamiento Secundario

“Básicamente el tratamiento secundario de las aguas residuales, son los procesos de tipo biológico tanto aeróbicos como anaeróbicos a los que se somete el agua, en los cuales se usan microorganismos, en muchos casos bacterias, con el fin de degradar la materia orgánica presente en el agua y también compuestos presentes en el agua que contienen nutrientes como nitrógeno y fósforo”³.

² (R. S. Ramalho, Tratamiento de aguas residuales. 2 ed. Barcelona: Editorial Reverté, S.A., 1996. p 92; ISBN 84-291-7975-5).

³ (Jairo Alberto Romero Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y principios de diseño, 1999 1 y 2 ed). (R. S. Ramalho, Tratamiento de aguas residuales. 2 ed. Barcelona 1996).

- Desinfección: Es un proceso químico mediante el cual se eliminan agentes patógenos (virus, bacterias y protozoos) que son riesgosos para la salud, con el fin de prevenir enfermedades. Aunque hay varios agentes desinfectantes, como el bromo, yodo, ozono o los rayos UV, la desinfección con Cloro es la más realizada a las aguas residuales gracias a su bajo costo y gran eficiencia.
- Filtro por prensa de placas: “Se utilizan cuando se necesita un contenido de sólidos en la torta superior al 35%. Son costosos y requieren lodo bien acondicionado o materiales de recubrimiento. En este método, los sólidos son bombeados al filtro, a presiones entre 700 y 2100 kPa, forzando el líquido a través de un medio filtrante y dejando una torta de sólidos atrapada entre las telas de filtración que cubren las placas huecas”⁴. Para este proceso, es necesario asegurar una buena dosificación de coagulante o polímero y una limpieza constante del lecho filtrante con agua a presión.

3.2 LODOS RESIDUALES

Son subproductos que se generan como consecuencia del tratamiento de las aguas residuales y cuyo manejo y disposición implica un costo adicional por su condición de residuo sólido. En la tabla 1 se exponen el aprovechamiento de los lodos según su tipo excelente o bueno, en cuanto a contenido de metales y en cuanto a su clase a, b y c, en función de su contenido de patógenos y parásitos.

⁴ Jairo Alberto Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. 1 ed. Santafé de Bogotá: Centro Editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999. p 829; ISBN 958-8060-13-3).

Tabla 1. Aprovechamiento de biosólidos

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	<ul style="list-style-type: none">• Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación.• Los establecidos para clase B y C.
Excelente o bueno	B	<ul style="list-style-type: none">• Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación.• Los establecidos para clase C
Excelente o bueno	C	<ul style="list-style-type: none">• Usos forestales• Mejoramiento de suelos• Usos agrícolas

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

3.2.1 Características físicas

3.2.1.1 pH: Es un indicador de la acidez que presentan los lodos resultantes del sistema de tratamiento de aguas residuales. Conocer sus valores es indispensable para el manejo de los lodos residuales, ya que es un factor que condiciona la vida de los microorganismos en los lodos. Sus rangos apropiados son los neutrales, es decir entre 6.5 y 7.5; ya que estos permiten un ambiente óptimo para los microorganismos y sus funciones.

3.2.1.2 Temperatura: Esta característica es indispensable en los biosólidos, ya que es un medidor del tipo de vida que presentan los lodos. A ciertos rangos de temperatura actúan diferentes tipos de microorganismos. La medición de la temperatura es importante ya que la mayoría de los métodos de manejo y tratamiento de los sólidos residuales requieren procesos biológicos que dependen de ésta. Además, también según su rango, se conocerán los diferentes procesos que pueden estar presentándose en los lodos residuales.

3.2.1.3 Contenido de agua: Es la cantidad de agua que contienen los materiales, en este caso los lodos residuales. Es indispensable para el crecimiento de plantas y para la vida y los procesos biológicos que se llevan a cabo en el suelo ya que inhibe los cambios bruscos de pH, además que ayuda a la estabilización estructural del suelo. Su contenido se define matemáticamente por dos métodos, volumétrico y gravimétrico:

- Contenido Volumétrico de agua o θ

$$\theta = \frac{V_w}{V_T}$$

Donde V_w = Volumen de agua y V_T = Volumen Total ($V_{\text{suelo}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{espacios vacíos}}$)

- Contenido Gravimétrico de agua o u

$$u = \frac{m_w}{m_b}$$

m_w = Masa de agua y m_b = Masa del suelo seco

3.2.1.4 Contenido de cenizas: Es la medida para la cantidad de minerales y nutrientes contenidos en la muestra de abono. Esta medida se toma a partir de un análisis en laboratorio, donde la muestra es incinerada en un horno o mufla y el residuo inorgánico que queda luego de la incineración de la materia orgánica es pesado y dicha cantidad es conocida como el contenido de cenizas.

3.2.1.5 Capacidad de campo o retención de agua: Es la cantidad de agua que puede ser retenida por el suelo a un ritmo adecuado. Esta característica del suelo

es influenciada por la porosidad que mide el volumen de espacios o huecos presentes en el suelo y que es donde finalmente queda atrapada el agua; también la permeabilidad juega un papel importante ya que es la que mide la rapidez con que el agua atraviesa el suelo. Si el suelo es bastante permeable el agua lo penetrará fácilmente, si por el contrario la permeabilidad del suelo es baja, el agua tenderá a empozarse.

3.2.2 Características químicas

3.2.2.1 Materia orgánica: El contenido de materia orgánica es una característica indispensable en todo abono o biosólido. Ésta es la fuente de alimento de muchos de los microorganismos que actúan en los procesos de humificación de los residuos sólidos orgánicos. Además es benéfica para el suelo, ya que ayuda en la compactación de este, con el fin de evitar que se erosione, aumentando la capacidad de retención de agua y mejorando su permeabilidad. Es una fuente rica en nutrientes (S, P, N,) y absorbe otros como (NH₄, K, Mg, Mn, Ca) indispensables en el crecimiento de las plantas.

3.2.2.2 Contenido de carbono orgánico: Es el principal componente de la materia orgánica del suelo y es muy importante en los procesos que ocurren en este ya que afecta principalmente a las propiedades del suelo vinculadas al crecimiento y formación de las plantas. Durante el compostaje el contenido de carbono orgánico presenta variaciones al momento de llegar a la madurez del proceso, llegando a disminuir debido a la mineralización que ocurre durante el tratamiento y una pequeña parte es acumulada como humus estable.

3.2.2.3 Relación C/N: La relación entre el carbono y el nitrógeno es muy útil, ya que permite conocer si la materia prima escogida para realizar el proceso de compostaje es adecuada y también ayuda a identificar si la maduración de la composta lleva un proceso adecuado, ya que según su relación el compost puede presentar altas temperaturas o putrefacción. “Una relación óptima de C/N está comprendida en valores entre 17 y 23”⁵. Si la relación es muy baja se presentan pérdidas de nitrógeno, resultando una disminución de nutrientes y la expulsión malos olores por el amoniaco. Mientras que si la relación es muy alta, el material orgánico se descompone lentamente y el nitrógeno disponible es bajo, afectando la actividad en el compost.

3.2.2.4 Capacidad de intercambio catiónico: Es la cantidad de iones positivos que pueden ser absorbidos o retenidos por el suelo; además permite medir la fertilidad y calidad del suelo debido a que al presentar mayor CIC tiende a ser más fértil que uno que presente CIC baja. Está ligado directamente a la cantidad de arcillas (cargadas negativamente) y materia orgánica que presente el suelo, dado que a mayor cantidad de estos, mayor capacidad de intercambio catiónico tendrá el suelo.

⁵(Lenin Mendoza Gómez, Manual de Lombricultura. Estado de Chiapas, México:2008).

3.2.2.5 Contenido de metales pesados: Los metales pesados son elementos que forman parte del suelo y son fundamentales en los procesos que en este ocurren. Sin embargo debido a algunas actividades del hombre, se presenta un aumento en la cantidad de estos que los lleva a ser tóxicos tanto para el hombre como para plantas y animales. Dichos metales son:

- Níquel: Es un metal con alta presencia en la corteza terrestre que puede ser liberado en ciertas actividades humanas, como en las chimeneas de las plantas de energía o por medio de la quema de basuras y residuos. Las altas concentraciones de este metal en el suelo, pueden llegar a afectar el crecimiento de plantas y aunque no se conoce que este metal se bioacumule en plantas o animales, el consumo de altas concentraciones de níquel puede generar problemas en la salud de los seres vivos. Entre los principales riesgos se encuentran: cáncer de pulmón, nariz y próstata; Asma y bronquitis; daños en la piel y enfermedades cardiovasculares.
- Plomo: Aunque es un metal que se presenta naturalmente en rocas y suelos, las concentraciones que se hallan en el ambiente resultan de actividades humanas. Es un elemento que puede llegar a acumularse tanto en seres acuáticos como terrestres afectando la cadena alimenticia. Determinar la cantidad presente de este metal en el suelo es primordial, ya que es fácilmente absorbido por las plantas, llegando a sus frutos, que al ser consumidos ya sea por humanos o animales pueden llegar a presentar serios problemas en su salud, “principalmente a nivel del sistema nervioso, anemia, cáncer de riñón, problemas en el desarrollo intelectual de los niños e hipertensión”⁶.

⁶ (Eva Röben, Manual de Compostaje para Municipios.. Municipalidad de Loja: Loja Ecuador, 2002).

- Cadmio: El cadmio es uno de los metales más tóxicos que puede ser absorbido por los seres vivos por medio de ingestión o inhalación. Ciertos tipos de plantas pueden llegar a acumular niveles de cadmio, que para los humanos terminan siendo tóxicos. Además ciertas actividades humanas generan este tipo de metal en grandes cantidades, que llegan al agua y al suelo afectando negativamente a los organismos que los habitan. Las principales afectaciones que causa el cadmio en la salud son: “Afectaciones a nivel del riñón, hipertensión, afecciones de tipo vascular, cáncer de próstata, infertilidad o bronquitis”⁷.
- Cromo: Muchas de las actividades industriales humanas generan la producción de cromo, lo cual aumenta la cantidad de este metal en el agua y con su tratamiento pasa gran cantidad a los lodos y abonos respectivamente. Aunque los cultivos presentan sistemas que regulan la absorción de este metal, el aumento en la concentración de este en el suelo también pasa a las plantas y el consumo de estas, por parte de seres vivos, conlleva a efectos negativos sobre su salud. Entre los principales efectos del cromo sobre la salud se encuentran: “Cáncer, infecciones en la sangre o leucemia”⁸.

⁷ (Eva Röben, Manual de Compostaje para Municipios.. Municipalidad de Loja: Loja Ecuador, 2002).

⁸ Ibid

- Mercurio: Se encuentra principalmente como el Cinabrio (HgS) y su concentración en el medio ambiente aumenta cada vez más debido a las actividades del hombre. Puede llegar al suelo por medio de pesticidas o por vertido del tratamiento de aguas residuales. Las plantas pueden llegar a absorber este metal del suelo presentando daños en sus hojas y tallos y afectando a los seres que se alimentan de ellas. “Entre los principales daños del mercurio a la salud se encuentran: afecta el sistema nervioso y las funciones del cerebro, es especialmente peligroso para los niños”⁹.
- Arsénico: Puede ser absorbido desde el suelo por los cultivos, y aunque no es común que las plantas acumulen altos niveles de arsénico, esto puede ocurrir y afectar negativamente a los seres que se alimentan de éstas; ya que el alto consumo de arsénico ocasiona alteraciones y lesiones en la piel, también produce enfermedades respiratorias, neurológicas, cardíacas y en peores casos cáncer de vejiga, piel, pulmón, entre otros.

En la tabla 2 se expone la cantidad máxima de metales que permite el Instituto Colombiano Agropecuario para los abonos que van a ser aplicados al suelo.

Tabla 2. Estándares para aplicación de abonos sobre el suelo en Colombia

Tipo de Metal	Límites máximos permitidos de metales en abonos mg/Kg
Arsénico	41
Cadmio	39
Cromo	200
Mercurio	17
Plomo	300
Níquel	420

Fuente: Parámetros establecidos por el ICA para los abonos orgánicos, tomado de la NTC 5167

⁹ (Eva Röben, Manual de Compostaje para Municipios.. Municipalidad de Loja: Loja Ecuador, 2002).

3.2.2.6 Nutrientes: La presencia de nutrientes en los abonos o suelos es indispensable, ya que estos elementos son los que caracterizan los abonos, diferenciándolos de otros y haciéndolos más o menos sobresalientes o con mejores o peores características, es decir, que un abono que presente más tipos de nutrientes y mayores cantidades de estos, es mejor que uno con menos nutrientes y va a ayudar mejor al crecimiento y formación de las plantas ya que estas los absorben como su principal fuente de alimento. Para la elaboración de un abono y su comercialización es indispensable conocer los nutrientes que este posee y entre los más importantes se encuentran: N, P, K, Mg, Ca, Na.

- Nitrógeno: Es de los principales nutrientes del suelo ya que es el alimento más importante para las plantas, debido a que es utilizado por estas para la síntesis de proteínas y para la formación de clorofila. Este tipo de elemento aunque es abundante en la atmósfera como N_2 , es de difícil asimilación por parte de plantas y animales, que solo pueden absorberlo por medio de compuestos como amonio (NH_4) o nitrato (NO_3). Hay cierto tipo de bacterias de tipo Rhizobium presentes en algunas algas y legumbres que son capaces de fijar el nitrógeno presente en la atmósfera al suelo. La presencia de nitrógeno va ligada a la cantidad de materia orgánica de tipo vegetal que presente el suelo (desechos de plantas, estiércol), ya que por medio de la descomposición de esta se genera abundante nitrógeno.
- Fósforo: Es un elemento primordial en la vida de todo ser vivo, presente en residuos de origen vegetal y animal, pero su abundancia en el suelo es poca, además, las formas en que se presenta en el suelo son de difícil asimilación por parte de las plantas; es en este aspecto donde entran los fertilizantes orgánicos o abonos, ya que estos al presentarse los procesos de humificación y degradación de la materia orgánica generan iones ortofosfatos (HPO_4^{2-} o $H_2PO_4^-$) que son de fácil absorción por parte de las plantas, indispensables en el crecimiento de estas.

- Potasio: Aunque no se presenta en el suelo en grandes cantidades, su disponibilidad en este es aceptable y el que más facilidades tiene para la absorción por parte de las plantas que lo necesitan en grandes cantidades para la síntesis de proteínas, los procesos fotosintéticos y además le provee resistencia a situaciones medioambientales críticas como largas sequías o enfermedades. La presencia de potasio en los abonos aumenta los niveles de este en el suelo, facilitando su asimilación por parte de las plantas que son capaces de absorberlo en su forma de ion principal K^+ .
- Magnesio: Es indispensable para las plantas, ya que forma parte importante del proceso fotosintético y de la molécula de clorofila. Es un elemento de fácil disposición para las plantas, absorbido por estas en su forma de ion Mg^{+2} ; además es un elemento necesario para el crecimiento de las plantas, debido a que está vinculado al transporte de carbohidratos; además es fundamental en la síntesis de proteínas y la actividad enzimática dentro de la planta.
- Calcio: Se presenta en gran cantidad en la capa terrestre. Es un nutriente primordial para las plantas y sus funciones; por eso la importancia de su presencia en los abonos orgánicos. Su absorción por parte de la planta es fácil, principalmente en su forma de ion Ca^{2+} . Es importante en los procesos metabólicos, enzimáticos y hormonales de las plantas, además ayuda en la conformación del sistema radicular y la calidad y cantidad de sus frutos. Su presencia en la estructura del suelo ayuda a la aireación de este facilitando la vida de los microorganismos aerobios del suelo.
- Azufre: La presencia de azufre es abundante sobre la tierra y se determina principalmente por el clima de la zona. Es más factible que se presenten mayores concentraciones de este elemento en climas húmedos o zonas donde la humedad es grande. Este elemento está presente en el suelo especialmente en forma de proteínas y polipéptidos y es absorbido por las

plantas en forma de sulfato (SO_4^{-2}). La aparición de este elemento en el suelo está condicionada al pH, la salinidad y la materia orgánica presente en este. Su importancia para las plantas radica en que actúa en la formación de los frutos, ayuda en la conformación de las raíces y el crecimiento de las plantas ya que se encuentra vinculado a la síntesis de proteínas.

3.2.3 Características microbiológicas

Los lodos residuales presentan numerosos tipos de microorganismos, provenientes del sistema de tratamiento de aguas residuales, que aunque en sus procesos presentan métodos de desinfección de las aguas, donde se busca eliminar estos organismos, en ocasiones estos métodos no son capaces de eliminarlos del todo resultado con su presencia en los lodos residuales. Los principales microorganismos que afectan al hombre son:

3.2.3.1 Virus: Son agentes infecciosos patógenos muy peligrosos y abundantes en el medio ambiente, que constituyen un importante riesgo para la salud. Entran al proceso de tratamiento de aguas por medio de las heces fecales, orina y sangre de animales y humanos. Al ser tan pequeños, tanto que se consideran submicroscópicos, son capaces de atravesar los filtros de las plantas de tratamiento de aguas residual, de ahí la dificultad para ser eliminados. Son organismos resistentes a la desinfección con ozono o cloro y los principales transmisores de enfermedades como “Varicela, viruela, diarreas, herpes, sarampión, rubeola, entre otras”¹⁰.

¹⁰ (Michael J. Pelczar, Roger D. Reid, E.C.S. Chan, Microbiología, 4 ed. México: McGraw-Hill de México, S.A., 1997. p 335; ISBN 968-6046-65-8)

3.2.3.2 Bacterias: “Son organismos microscópicos unicelulares de diferentes formas, esféricas (cocos), barras (bacilos), espirales (espiroquetas) y filamentosas. Constituyen el grupo de microorganismos más importante para el tratamiento de aguas y lodos residuales, ya que son de naturaleza ubicua y se encuentran en muchos de sus tratamientos tanto aerobios como anaerobios.”¹¹ Aunque algunas benefician estos tratamientos degradando la materia orgánica, otras como la *Salmonella spp* o la *Escherichia Coli* y *Aerobacter aerogenes*, producen numerosas enfermedades como fiebre paratifoidea y tifoidea o gastroenteritis, que afectan a animales y humanos, produciendo muerte en los menores. En la tabla 3 se aprecia el tipo de bacteria que se presenta en el lodo, según el rango de temperatura.

Tabla 3. Rangos típicos de temperatura para las bacterias

Tipo de bacteria	Rango de temperatura (°C)	
	General	Óptimo
Crioófilicas	2 – 20	12 – 18
Mesofílicas	20 – 45	25 – 40
Termofílicas	45 – 75	55 – 65

Fuente: Tratamiento biológico de las aguas residuales, Álvaro Orozco Jaramillo, Álvaro Salazar.

¹¹ (George Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel Vigil, Gestión integral de residuos sólidos, Vol 2. 1 ed. Madrid (Esp):McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A., 1998. p 759; ISBN 84-481-1765-4).

3.2.3.3 Hongos: “Son considerados microorganismos multicelulares y heterótrofos en su gran mayoría estrictamente aerobios” ¹² .Son saprófitos, ya que se alimentan de materia muerta en descomposición y con las bacterias son los principales responsables de descomponer el carbono. “Son capaces de tolerar ambientes bajos de pH 2 y máximos de 9 y su valor óptimo de pH es 5.6” ¹³. Son organismos importantes en procesos como el compostaje, debido a que su requerimiento de nitrógeno es muy bajo y resisten ambientes con baja humedad.

3.2.3.4 Parásitos: Entre los parásitos presentes, se destacan los helmintos, ya que causan infecciones a nivel del sistema muscular, respiratorio y óseo, generando tos irritativa, fiebre, broncoespasmos, neumonitis, alteraciones nutricionales, dolor epigástrico, entre otros. Se presentan en las aguas residuales por medio de las heces fecales. Sus huevos son perjudiciales y además resistentes a cambios ambientales y a los procesos de desinfección del agua. El consumo de los huevos de helminto es nocivo para la salud, ya que es en esta etapa donde son más contagiosos. Por ello la importancia que se le da al recuento de estos huevos, tanto en aguas residuales, como en los biosólidos resultantes de este tratamiento.

¹² (Alvaro Orozco Jaramillo, Alvaro Salazar Arias, Tratamiento biológico de las aguas residuales: Medellín, 1985. p 186).

¹³ Ibid

En la tabla 4 se muestran las cantidades mínimas permitidas de presencia de patógenos en lodos, clasificándolos en a, b o c en función de su contenido.

Tabla 4. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2000000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

3.3 MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE LODOS

Los lodos residuales son biosólidos resultantes del tratamiento de las aguas residuales y como residuo también se les debe realizar un manejo adecuado para poder utilizarlos posteriormente según se requiera. Existen 2 métodos económicos y sencillos, como lo son el compostaje y la lombricultura, que permiten tratar estos biosólidos y además darle un aprovechamiento como abonos o restauradores de suelo; dichos tratamientos se referencian a continuación:

3.3.1 Compostaje

Es una técnica de tratamiento y estabilización en la cual la materia orgánica es transformada en compost. Esta transformación se lleva a cabo en un compostador o pila donde son dispuestos los lodos residuales que contienen materia orgánica y microorganismos que se encargarán de consumir el material orgánico presente;

como resultado de este proceso se genera compost que puede ser utilizado como abono para la agricultura o para reducir la erosión de los suelos.

3.3.1.1 Materiales para el compostaje:

Para realizar el compostaje son utilizados necesariamente materiales orgánicos, es decir que contengan en ellos materia orgánica. Se pueden utilizar materiales vegetales como:

- “Plantas del huerto o jardín, hojas caídas de árboles y arbustos
- Mondas y restos de frutas y hortalizas, cáscaras de frutos secos
- Material orgánico como estiércol de animales herbívoros y camas de corral
- Servilletas y pañuelos de papel (no impresos ni coloreados)
- Cortes de pelo (no teñido), lana en bruto o de viejos colchones
- Virutas de madera, papel y cartón (sin impresión de tintas en colores).
- Cáscaras de huevo (trituradas)
- Plantas marinas y algas
- Lodos o biosólidos provenientes del tratamiento de aguas residuales
- Conchas de mariscos caparzones y restos óseos”¹⁴

¹⁴ (Roman, Pilar. Taller-Técnicas de compostaje: En: CONGRESO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Y SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (2012: Paraguay) 2012. p 25).

3.3.1.2 Factores que condicionan el proceso de compostaje:

El proceso de compostaje está basado en la acción de microorganismos que actúan sobre la materia orgánica bajo el control de ciertas condiciones que aseguren un adecuado ambiente de crecimiento bacteriano que da como consecuencia una buena mineralización de la materia orgánica.

Los principales factores que afectan el proceso de compostaje son:

- pH: Uno de los factores más importantes en la actividad microbiana es el pH. Para el método de compostaje es indispensable que el pH se encuentre en valores neutros, es decir entre 6.5-8.0, debido a que los organismos responsables de la degradación de la materia orgánica, no toleran valores menores de 6 (ácidos) o mayores de 8 (alcalinos). Si esta neutralidad del pH no llega a darse, el proceso de humificación se detendrá o ralentizará considerablemente, mientras que si el pH se mantiene neutro es síntoma de una buena descomposición.
- Temperatura: Es una variable fundamental al momento de controlar el compostaje ya que el aumento de esta indica un crecimiento tanto de la población microbiana como de su actividad en el proceso. Este factor se considera el más claro síntoma de la actividad microbiana y de la evolución del proceso de compostaje, ya que mínimas variaciones de ésta afectan en mayor parte la actividad microbiana, al contrario de la humedad, relación C/N ó pH.

Durante el proceso de la descomposición de la materia orgánica se establecen 4 etapas que se evalúan según la temperatura que presenten los lodos: la primera es la etapa mesófila en la cual “la temperatura oscila entre 20°C y 40°C y el pH es menor de 6,0. La segunda es una fase termófila en la que la temperatura es superior a 32°C y alcanza valores de 70°C; a su vez el pH puede ser superior a 7,0. En la tercera etapa o etapa de enfriamiento, la temperatura desciende a aproximadamente 20°C y

finalizando, en la última etapa, o fase de maduración, la temperatura se estabiliza alrededor de los 20°C”¹⁵.

- Microbiota: Los microorganismos fundamentales al momento de realizar el proceso de compostaje son las bacterias, hongos y actinomicetes. Ellos son los encargados de la degradación de la materia orgánica. Por un lado, las bacterias se encargan de descomponer los carbohidratos y las proteínas (proceso mesófilo), mientras que los hongos y actinomicetes actúan sobre la lignina y la celulosa (proceso termófilo).
- Humedad: El agua es fundamental para las necesidades fisiológicas de los microorganismos que actúan en el proceso de compostaje. Sin embargo hay ciertos niveles de humedad óptimos y que al ser sobrepasados afectan negativamente la labor de los microorganismos ya que cuanto más agua tengan los lodos menos aire podrán recibir los microorganismos, lo que inhibiría la actividad microbiana. Por otra parte, cuando la humedad es muy baja, el tratamiento también se verá perjudicado por la disminución de la labor de las bacterias, limitando la degradación de la materia orgánica, tornándose esta muy lenta. “En general, se recomiendan humedades de 50% a 60% para soportar una actividad biológica apropiada, puesto que valores de humedad inferiores al 50% retardan la descomposición, al tiempo que valores de humedad superiores a 60% producen lixiviados, deterioran la calidad del compost tamizado y aumentan la cantidad másica de material que se va a manejar”¹⁶.

¹⁵ (Jairo Alberto Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. 1 ed. Santafé de Bogotá: Centro Editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999. p 840; ISBN 958-8060-13-3).

¹⁶ Ibid

- Aireación: El oxígeno es necesario para el correcto funcionamiento del proceso de compostaje, debido a que los microorganismos que en el intervienen son aerobios. La escasa aireación permite la disminución de organismos aerobios y la aparición de organismos anaerobios, que conllevan a una deficiente descomposición y la generación de malos olores. Un exceso de aireación produce un enfriamiento y desecación del lodo, que conlleva a una reducción en la actividad microbiana.

3.3.1.3 Etapas metabólicas del compostaje:

“La primera etapa, o etapa de síntesis, convierte la materia orgánica en biomasa celular, mientras que la segunda etapa, o de respiración endógena, obliga a los microorganismos a metabolizar su propio protoplasma sin reposición del mismo, que lleva al agotamiento exhaustivo de las reservas energéticas de los microorganismos, lo cual conduce a la formación de compuestos inorgánicos simples y estables, considerados el producto final del composteo o compost”¹⁷.

3.3.1.4 Tipos de compostaje aerobio:

- Compostaje en pila estática aireada: Este proceso se realiza cubriendo con compost tamizado el material a fermentar; además se instalan bajo la pila varias líneas de aire, con el fin de controlar tanto la temperatura como la cantidad de oxígeno al interior de la pila. Estas líneas de aire se encuentran bajo materiales muy permeables como grava, viruta de madera o arena y su empleo garantiza formar pilas de composteo de hasta 6 metros de altura.

¹⁷ (Jairo Alberto Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. 1 ed. Santafé de Bogotá: Centro Editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999. p 837; ISBN 958-8060-13-3).

- Compostaje en hileras: Es el método más empleado y consta de disponer el material a fermentar en hileras. Las pilas deben ser de gran tamaño con el fin de mantener las temperaturas óptimas del compostaje y que estas compensen las pérdidas de calor al realizarse los volteos debido a la baja relación de volumen-superficie. Como aspecto positivo, “este método presenta costos de inversión y operacionales bajos; por el contrario, sus necesidades de terreno son muy altas, se requiere de constantes volteos y es muy sensible a los cambios meteorológicos” ¹⁸.
- Compostaje en biorreactor: Este método se realiza en un reactor cerrado, en el cual, uno de sus extremos presenta cilindros de alimentación, que es por donde se ingresan los materiales que serán fermentados. Estos a su vez, caen a una placa móvil con agitación dinámica, donde se les inyecta aire realizándose en ella el proceso de compostaje. Por último, la placa móvil se lleva hasta el otro extremo del reactor donde el material fermentado es retirado. “Sus costos de inversión son altos, pero sus costos operacionales son muy bajo, además el control sobre los olores es potencialmente bueno” ¹⁹.

¹⁸ (George Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel Vigil, Gestión integral de residuos sólidos, Vol 2. 1 ed. Madrid (Esp):McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A., 1998. p 770; ISBN 84-481-1765-4).

¹⁹ Ibid

3.3.2 Lombricultura

La lombricultura es un método de aprovechamiento y tratamiento de los residuos orgánicos, muy similar al compostaje, por el cual se realiza la degradación de la materia orgánica por parte de lombrices; teniendo como resultado un abono orgánico de gran calidad denominado humus o lombricompuesto. Para realizar este método es necesario tener claros ciertos criterios que permitirán lograr un buen resultado del tratamiento:

3.3.2.1 El sustrato y manejo del sustrato:

El sustrato es indispensable al momento de realizar el proceso de Lombricultura. “El tipo de sustrato a ofrecer, la calidad, el pre-composteo y algunos factores ambientales como temperatura, humedad y pH, son básicos para poder mantener un pie de cría de lombriz roja californiana y obtener un buen material resultante de alta calidad llamado abono orgánico o bioabono”²⁰.

Entre los diferentes tipos de sustrato, se encuentran el estiércol de animales herbívoros (conejos, vacas, caballos) y otros como la porcinoza y gallinaza, ya que son materiales ricos en nitrógeno y se consideran el tipo de sustrato más adecuado para el proceso de lombricultura; como segunda opción se encuentran los restos vegetales como cáscaras de frutas y verduras, pastos y restos de poda, aserrín, viruta, ramas, hojas secas, entre otros, los cuales son presentados compuestos ricos en carbono como la celulosa y la lignina.

²⁰ (José Arnold Pineda, Lombricultura, Instituto Hondureño del Café. 1 ed. Tegucigalpa: Litografía López., 2006. p 20; ISBN 99926-37-50-1).

La preparación del sustrato es un factor de gran importancia dentro del cultivo de la lombriz; este debe presentar cierto grado de maduración y descomposición apto para el consumo de las lombrices, teniendo en cuenta 3 factores:

- 1) pH, donde el sustrato se preparará por medio de una fermentación aeróbica sin llegar a compostarse del todo, alcanzando como máximo valores de pH entre 7,5 y 8,0.
- 2) La temperatura también influye en la preparación del sustrato; esta debe presentar valores de óptimos entre 20°C a 25°C con el fin de conseguir el máximo rendimiento de las lombrices, ya que si esta es muy baja, las lombrices entran en un estado de latencia y los huevos no eclosionan.
- 3) Como último factor determinante en el manejo del sustrato se encuentra la humedad; las lombrices necesitan un ambiente húmedo, pero no demasiado húmedo para evitar que se ahoguen. La humedad es un factor determinante al momento de la reproducción de las lombrices y del lombricompost, si esta no se encuentra en niveles entre 70% a 80%, éstas entran en un periodo de adormecimiento afectando el proceso.

3.3.2.2 Condiciones ambientales ideales:

- Humedad: Debe estar en valores entre el 70% y 80%, que permitan la fácil digestión del alimento y el deslizamiento a través del material. Si no es la adecuada, se puede dar la muerte de las lombrices.
- Temperatura: Las temperaturas óptimas para el crecimiento de las lombrices se encuentran en valores de 12°C a 25° C; y para la formación y germinación de los huevos entre 12°C y 15° C.
- pH: El pH óptimo es 7, pero se aceptan valores entre 6,5 y 7,4.

- Riego: El riego debe realizarse continuamente, manteniendo los niveles adecuados de humedad. Debe evitarse llegar al encharcamiento del sustrato ya que el exceso de agua impide la entrada de aire dándose una fermentación anaerobia y la muerte de lombrices por falta de oxígeno.
- Aireación: Es fundamental para permitir la respiración y desarrollo de las lombrices. Si no es la adecuada puede llegar a presentarse una reducción de alimento, además del apareamiento y la reproducción, ya que la lombriz entra en un estado de latencia.

3.3.2.3 Características del humus de lombriz:

Los mayores beneficios del humus hacia las plantas, es que “se trata de un humus neutro, o próximo a la neutralidad (pH 6,8-7,4), con marcado efecto buffer, con una carga de elementos fito-estimulantes (auxinas, giberelinas, citoquininas) y de bacterias útiles a nivel de los pelos radicales de las plantas. Atempera el shock del trasplante estimulando y anticipando la germinación y radicación, controla el mal de los almácigos, acelera el crecimiento en general y el desarrollo de la planta, mejorándose la producción vegetal” ²¹.

²¹ (Miguel Schuldt, Lombricultura, Teoría y práctica. Madrid (Esp): Ediciones Mundi-Prensa, 2006. p 25; ISBN 84-8476-296-3).

Entre sus principales aportes al suelo, el humus de lombriz proporciona una fertilidad mucho mayor que la de otros estiércoles, tal y como se expone en la tabla 5. Actúa sobre la fertilidad física del suelo, mejorando la estructura y textura de los mismos, lo cual genera una mejor aireación y movilización del agua, incrementándose el intercambio de nutrientes. Por último se destaca su gran aporte de macro y microelementos al suelo, además que “estos se hallan balanceados adecuadamente, como se aprecia en los cocientes: C/N, Ca/Mg, Mg/K”²².

Tabla 5. Cantidades relativas (%) de nutrientes contenidas en distintos estiércoles animales, y mejora mediante compostaje tradicional y vermicompostaje.

Tipo de estiércol	Materia seca	N	P₂O₅	O₂K	OCA
Equino	33	0,67	0,25	0,55	0,20
Bovino	18	0,60	0,15	0,45	0,15
Gallina	45	1,00	0,80	0,40	0,00
Compostaje tradicional	35	0,95	0,50	0,72	---
Lombricompuesto	30-50	2,42	3,74	1,10	2,47

Fuente: Manual de lombricultura, Miguel Schuldt, Teoría y práctica

²² (Miguel Schuldt, Lombricultura, Teoría y práctica. Madrid (Esp): Ediciones Mundi-Prensa, 2006. p 27; ISBN 84-8476-296-3).

3.4 MARCO LEGAL

Aunque el manejo de residuos sólidos urbanos ha tenido reglamentación y normatividad en el país, el interés en Colombia en cuanto al manejo, aprovechamiento y disposición final de los lodos que provienen del tratamiento de las aguas residuales, es un tema nuevo en cuanto a leyes y reglamentaciones.

Debido al aumento del uso de biosólidos y lodos residuales como alternativas de abono para cultivos, llevando previamente un tratamiento de optimización, se ha visto que se hace necesario realizar una reglamentación adecuada y efectiva para este tipo de residuos, con el fin de lograr establecer parámetros adecuados para su uso y que no perjudiquen el elemento suelo ni a los seres vivos que dependemos de sus recursos para subsistir.

Como reglamentación y normatividad para los lodos residuales y biosólidos en Colombia, se tienen en cuenta estas leyes estipuladas:

Ley 99 de diciembre 22 de 1993. Elaborada por el Congreso de la República de Colombia. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. Una de las funciones del Ministerio es regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente, y el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deteriorantes o destructivas del entorno o del patrimonio natural.

Decreto Nacional 1594 de 1984.

Artículo 20: se presentan las sustancias que se consideran de interés

REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS 2000- REPUBLICA DE COLOMBIA-MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO.

Resolución 1096 de 2000. Expedida por el Ministerio de Desarrollo Económico, por el cual se adopta el Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico- RAS

DECRETO 838 DE 2005

NTC 2581. 89-06-21. Abonos o fertilizantes. Determinación de carbonatos totales y proporciones aproximadas de carbonatos de calcio y magnesio en calizas y calizas dolomíticas. Establece ensayos.

NTC-ISO 8633. 95-08-23. Fertilizantes sólidos. Método de muestreo simple para lotes pequeños. Define un plan de muestreo para el control de las cantidades de fertilizante sólido de máximo 250 t y presenta el método a emplear. Se aplica a todos los fertilizantes sólidos a granel o empacados.

NTC 2581. 89-06-21. Abonos o fertilizantes. Determinación de carbonos totales y proporciones aproximadas de carbonatos de calcio y magnesio en calizas y calizas dolomíticas. Establece ensayos.

NTC 234. 96-11-27. Abonos o fertilizantes. Método de ensayo para la determinación cuantitativa del fósforo. Contiene definiciones, requisitos, métodos de ensayo e informe.

NTC 4150. 97-06-25. Abonos o fertilizantes. Método cuantitativo para la determinación del nitrógeno Amoniacal por titulación previo tratamiento con formaldehído. Establece un método cuantitativo para determinar el contenido de nitrógeno amoniacal en abonos o fertilizantes.

Resolución ICA No. 00150 del 21 de Enero de 2003. Expedida por el instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Por el cual se adopta el reglamento técnico de fertilización y acondicionadores de suelo para Colombia.

NTC 5167. 2004-05-31. Productos para la industria agrícola. Materiales orgánicos usados como fertilizantes y acondicionadores del suelo. Establece requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como fertilizantes o como acondicionadores del suelo. Reglamenta los limitantes actuales para el uso de materiales orgánicos, los parámetros físico químicos de los análisis de las muestras de materia orgánica, los límites máximos de metales y enuncia algunos parámetros para los análisis microbiológicos.

RESOLUCIÓN 1045 DE 2003. "Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones".

El Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Política nacional para la gestión de residuos ministerio del ambiente

Resolución 1045 del 26 de septiembre de 2003

Elaborada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por el cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones.

NTC 4175. 97-06-25 Fertilizantes sólidos. Preparación de muestras para análisis químicos y físicos. Especifica los métodos para la preparación de las muestras o porciones de muestras requeridas para los ensayos químicos o físicos de fertilizantes sólidos. Contiene definiciones, aparatos, rotulado y reporte de preparación de muestra.

NTC 370. 97-08-27. Abonos o fertilizantes. Determinación del nitrógeno total. Establece el método para determinar el contenido de nitrógeno total en abonos o fertilizantes. Contiene definiciones y ensayos.

NTC 35. 98-03-18. Abonos y fertilizantes. Determinación de la humedad. Del agua libre y del agua total. Establece los métodos para determinar el contenido de humedad, agua libre y agua total en abonos o fertilizantes. Contiene definiciones y ensayos.

NTC 202. 01-08-01. Métodos cuantitativos para la determinación de potasio soluble en agua, en abonos o fertilizantes y fuentes de materias para su fabricación. Establece los métodos cuantitativos para la determinación del contenido de potasio soluble en agua, en abonos o fertilizantes y fuentes. De materias primas, para su fabricación.

DECRETO 2202 DE 1968. Expedido por la Presidencia de la República. Por el cual se reglamenta la industria y comercio de los abonos o fertilizantes químicos simples, químicos compuestos, orgánicos naturales, orgánicos reforzados, enmiendas y acondicionadores del suelo, y se derogan unas disposiciones.

Instalación, manejo y comercialización de la Lombricultura y el Compostaje,
UNICEF-SENA Min Desarrollo – Min ambiente -SSPD-CRA-IDEA-Embajada de
Holanda, medio magnetico-2001

Por otra parte, el gobierno colombiano, por medio de los Ministerios del Medio Ambiente y de Agricultura y Desarrollo Rural, pensó establecer en el 2010 un decreto en el que se especificaban los parámetros a evaluar para los biosólidos resultantes del Tratamiento de Aguas Residuales. El decreto *“Por el cual se establecen los criterios de calidad y uso para el aprovechamiento y disposición final de los Biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y se toman otras determinaciones”* y que contenía los requisitos adecuados, establecidos para determinar si los biosólidos eran o no de calidad y

aptos para el aprovechamiento como abonos, quedo en borrador y lastimosamente nunca se estableció. Por dicha razón, para determinar la calidad de los lodos resultantes, este proyecto se basó en leyes establecidas en la Norma Oficial Mexicana-004-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-2002 (NOM-004-SEMARNAT-2002), la cual establece las “Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para el aprovechamiento y disposición final de lodos y biosólidos” que se pueden apreciar en las tablas 6 y 7.

Tabla 6. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.

Contaminante (determinados en forma total)	Excelentes mg/kg en base seca	Buenos mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

Tabla 7. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2000000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

4 METODOLOGÍA

El proyecto se llevó a cabo en la Avícola El Madroño, empresa ubicada en el casco urbano de Lebrija y se ejecutó por medio de 3 fases que se presentan a continuación:

4.1 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LOS LODOS, PROVENIENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE INTERÉS, PARA SU POSIBLE USO EN LOMBRICULTURA Y COMPOSTAJE.

En esta fase se determinaron las características físico-químicas y microbiológicas de los lodos residuales generados en el proceso del tratamiento de aguas residuales en la avícola El Madroño.

La muestra se tomó en el área de secado de los lodos, adyacente a la planta de tratamiento de las aguas residuales, siguiendo el “método de la cuadrícula, el cual consiste en dibujar un cuadro en la superficie dividiéndolo en cuadrículas pequeñas, para luego tomar de cada uno de ellos una porción de muestra”²³. A continuación se mezcló todo con el fin de homogenizar hasta obtener una muestra representativa, que luego fue analizada en el laboratorio.

La cantidad total de muestra extraída fue guardada en una bolsa plástica de cierre hermético tipo Ziplock, y llevada para sus respectivos análisis al Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander UIS (Ver figura 1).

²³ T. L. Roberts, J. L. Henry, El muestreo de suelos: Los beneficios de un buen trabajo. (En línea) <
[http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/A8EF73615D13C19B05256A11006AA55F/\\$file/EI%2Bmuestreo%2Bde%2Bsuelos.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/A8EF73615D13C19B05256A11006AA55F/$file/EI%2Bmuestreo%2Bde%2Bsuelos.pdf)>

Figura 1. Muestra de lodo lista para análisis.



Foto: Autor

Los parámetros que se establecieron para el análisis físico-químicos de los lodos fueron: Humedad, pH, Capacidad de Intercambio Catiónico, Contenido de Cenizas, Nitrógeno, Cobre, Hierro, Azufre, Fósforo, Carbono Orgánico Total, Potasio, Magnesio, Calcio, Sodio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Plomo, Manganeso, Níquel y Zinc.

Para el análisis microbiológico se tuvo en cuenta la determinación de *Coliformes Totales*, *Escherichia Coli* y *Salmonella spp.*

En la tabla 8 se especifican estos parámetros y la metodología aplicada para su determinación.

Tabla 8. Parámetros evaluados al lodo residual proveniente de la PTAR.

Parámetro	Unidades	Método
pH	Unidades de pH	Potenciométrico
CIC	meq/100g	Titrimétrico
Humedad	%	Gravimétrico
Cenizas	%	Gravimétrico
Nitrógeno	%N	Kjeldhal-Titrimétrico
Cobre	mg Cu/Kg	Absorción Atómica
Hierro	%Fe	Absorción Atómica
Azufre	%S	Espectrofotométrico
Fósforo	% P ₂ O ₅	Espectrofotométrico
COT	%C	Titrimétrico
Potasio	%K ₂ O	Absorción Atómica
Magnesio	%MgO	Absorción Atómica
Calcio	%CaO	Absorción Atómica
Sodio	%Na	Absorción Atómica
Arsénico	mg As/Kg	Absorción Atómica/Generación de hidruros
Cromo	mg Cr/Kg	Absorción Atómica
Cadmio	mg Cd/Kg	Absorción Atómica
Mercurio	mg Hg/Kg	Absorción Atómica/Generación de hidruros
Plomo	mg Pb/Kg	Absorción Atómica
Manganeso	mg Mn/Kg	Absorción Atómica
Níquel	mg Ni/Kg	Absorción Atómica
Zinc	mg Zn/Kg	Absorción Atómica
<i>Coliformes Totales</i>	UFC/gr	NTC 4458
<i>Escherichia Coli</i>	UFC/gr	NTC 4458
<i>Salmonella spp</i>	(+/-)/25g	NTC 4574

Fuente: Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander UIS

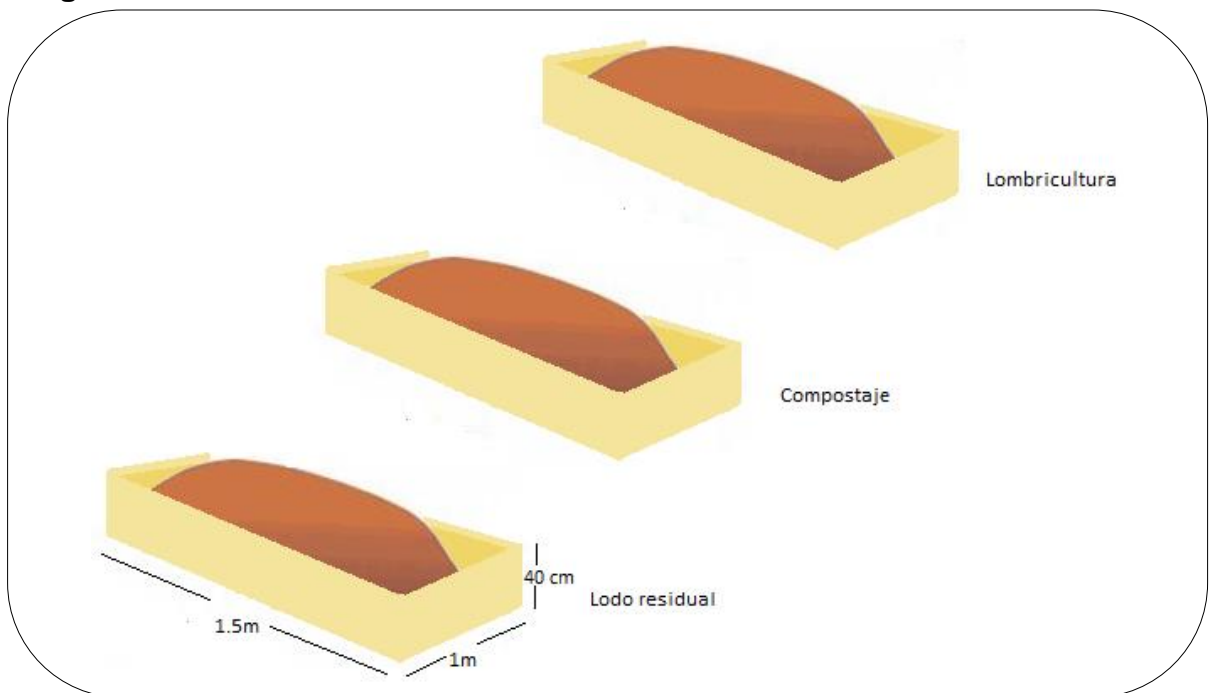
4.2 EVALUACIÓN DE LOS ABONOS RESULTANTES, SIGUIENDO LOS PARÁMETROS DEL ICA.

Conociéndose los resultados que arrojaron los análisis de la caracterización físico-química y microbiológica de los lodos que se generan en el tratamiento de las aguas residuales, el paso a seguir fue establecer las alternativas adecuadas para el manejo, tratamiento y aprovechamiento de estos residuos.

Para el tratamiento de los lodos se compararon los métodos de compostaje y lombricultura reconocidos en la literatura como dos posibles aprovechamientos de estos residuos.

Los ensayos experimentales se llevaron a cabo en biorreactores de madera con dimensiones de 40 cm de altura, 1 metro de ancho y 1,5 metros de largo, iguales para el control y los dos procesos evaluados. (Ver figura 2)

Figura 2. Dimensiones de los biorreactores.



Fuente: Autor

4.2.1 Tratamiento de la muestra control

Para la muestra control se rellenó un biorreactor de madera con aproximadamente 40 Kg del lodo residual, tal y como sale de la planta de aguas residuales en la empresa.

Posteriormente se protegió el biorreactor con un techo plástico para evitar el ingreso de aguas lluvias. (Ver figura 3)

Durante 3 meses se le realizaron volteos, para mantener el material aireado e igualmente se tomaron las mediciones diarias de temperatura y de pH cada 4 días. Para mantener los niveles adecuados de humedad, se efectuaron riegos de agua según su requerimiento.

Figura 3. Montaje del ensayo de control



Fuente: Autor

4.2.2 Tratamiento del lodo residual mediante el método de compostaje

Para llevar a cabo el proceso de compostaje, se llenó un biorreactor de madera con lodo residual, agregando además tierra mezclada con material vegetal en relación 1:1 lográndose un total de 40 Kg. A este proceso se aplicaron las mismas condiciones de humedad que para el control, e igualmente se realizaron tomas diarias de temperatura y con el intervalo de cada 4 días se midió el pH a lo largo de 3 meses.

Durante el tiempo que duró el ensayo se efectuaron riegos de agua y volteos, según su requerimiento, para mantener un nivel adecuado de humedad según las recomendaciones de la literatura.

Con el fin de evitar la entrada de aguas lluvias se cubrió el biorreactor con un plástico. (Ver figura 4)

Figura 4. Montaje del ensayo de compostaje



Fuente: Autor

4.2.3 Tratamiento del lodo residual mediante el método de Lombricultura

Para llevar a cabo el proceso de lombricultura, se rellenó un biorreactor de madera con lodo residual, re combinado con material vegetal como: restos de podas, residuos orgánicos de verduras y frutas como también el estiércol, en una relación 1:1, lográndose un total de 40 Kg. Posteriormente se agregaron las lombrices de tipo Roja Californiana *Eisenia foétida*, las cuales fueron adquiridas a un distribuidor.

Durante los 3 meses que duró el proceso se agregaban cada 2 días aproximadamente 2 kilogramos de residuos sólidos orgánicos recolectados de las fincas aledañas, como un alimento demandado para el crecimiento y reproducción de las lombrices.

Debido a un requerimiento especial de humedad y según su necesidad, se realizaban a diario riegos de agua. De igual manera se llevaba el control diario de temperatura y cada 4 días se medía el pH.

De manera similar como en los anteriores ensayos, se cubrió el biorreactor con un techo plástico para proteger de la lluvia e impedir el acceso de las aves (Ver figura 5). Además se controlaron los depredadores naturales de las lombrices, como la hormiga arriera y ratas. Para las hormigas y ratas se esparció aceite quemado por los orificios del biorreactor, ya que su olor los aleja.

Figura 5. Montaje del ensayo de lombricultura



Fuente: Autor

Luego de los 3 meses de maduración de la muestra control, que fue el lodo residual original, y de los abonos resultantes de los métodos de compostaje y lombricultura, se tomaron muestras de cada proceso siguiendo el método de la cuadrícula, especificado anteriormente.

Las tres muestras fueron guardadas en una bolsa plástica de cierre hermético tipo Ziplock, como se muestra en las figuras 6, 7 y 8. Posteriormente se llevaron para su respectivo estudio al Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander UIS, con el fin de que fueran analizadas por medio de los parámetros establecidos por el ICA y conocer de esta forma si eran aptos o no para su uso como fertilizantes y abonos agrícolas respectivos.

Figura 6. Muestra final del control



Fuente: Autor

Figura 7. Muestra final del compostaje



Fuente: Autor

Figura 8. Muestra final de la lombricultura



Fuente: Autor

La comparación de la calidad de los abonos resultantes, aplicando los métodos de compostaje y lombricultura, se realizó con base en los parámetros establecidos por el Instituto Colombiano Agropecuario, mediante las normas citadas en la tabla 9.

Tabla 9. Métodos aplicados para la determinación de los parámetros especificados.

Parámetro	Método/Norma
pH (Unidades de pH)	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	Gravimétrico/NTC 5167
Cenizas (%)	Gravimétrico/NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable Total (%C)	Titrimétrico/NTC 5167
Densidad (g/ml)	Gravimétrico/NTC 5167
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)	Titrimétrico/NTC 5167
Nitrógeno (%N)	Kjeldahl-Titrimétrico/NTC 5167
Fósforo (mg P/Kg)	Espectrofotométrico/NTC 5167
Arsénico (mg As/Kg)	Absorción Atómica Generación de Hidruros/NTC5167
Cadmio (mg Cd/Kg)	Absorción Atómica/NTC5167
Cromo	Absorción Atómica/NTC5167
Mercurio	Absorción Atómica Generación de Hidruros/NTC5167
Arsénico (mg As/Kg)	Absorción Atómica Generación de Hidruros/NTC5167
Cadmio (mg Cd/Kg)	Absorción Atómica/NTC5167
Cromo	Absorción Atómica/NTC5167
Mercurio	Absorción Atómica Generación de Hidruros/NTC5167
Níquel	Absorción Atómica/NTC5167
Plomo	Absorción Atómica/NTC5167

Fuente: Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la Universidad Industrial de Santander UIS

4.3 COMPARACIÓN DE LAS DOS APLICACIONES DE USO DEL LODO, DESDE EL PUNTO DE VISTA TÉCNICO Y ECONÓMICO, COMO ALTERNATIVAS PARA SU APROVECHAMIENTO.

Con base en lo anteriormente expuesto, la comparación técnica y económica de los tratamientos se llevó a cabo, realizando una relación Beneficio-Costo B/C, donde se compararon los costos necesarios y los posibles beneficios para cada uno de los 2 tratamientos propuestos, con el fin de determinar cuál método daba mejores resultados y podía aplicarse su desarrollo, con el fin de generar un ingreso extra a la empresa con su comercialización.

La relación B/C se realizó para cada uno de los 2 métodos, teniendo en cuenta un periodo de tiempo de 5 años aplicando la fórmula de B/C para conocer su factibilidad para el manejo de los lodos.

Fórmula B/C= (Valor Actual de los Ingresos /Valor Actual de los Costos)

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se reportan los resultados de las 3 fases del proyecto que fueron la una evaluación fisicoquímica y microbiológica del lodo residual, evaluación de los abonos obtenidos teniendo en cuenta los parámetros establecidos por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y por último la comparación técnica y económica de los métodos de compostaje y lombricultura.

5.1 EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LOS LODOS, PROVENIENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA DE INTERÉS, PARA SU POSIBLE USO EN LOMBRICULTURA O COMPOSTAJE.

Al inicio del proyecto se efectuó un estudio con el propósito de valorar el potencial del lodo residual de interés, cuyos resultados logrados se reportan en la tabla 10.

El pH originario del lodo residual fue de 12,2, lo que implicó poca favorabilidad para el proyecto, debido a que los microorganismos del proceso de compostaje y las lombrices en el proceso de lombricultura, no consiguen subsistir ni actuar en un ambiente básico. Por tal motivo hubo la necesidad de ejecutar un procedimiento de neutralización previa, empleando para este propósito ácido nítrico 0,47 M, 2 veces al día por 10 semanas, tiempo durante el cual se llevaron a cabo controles constantes de pH hasta que se alcanzó el valor deseado.

Tabla 10. Análisis fisicoquímico inicial del lodo residual de la PTAR.

Parámetro	Unidades	Resultado	*Literatura **Abono comercial
Físicos			
pH	Unidades de pH	12,2	>6<8 *
Humedad	%	47,7	55 – 75 % *
Temperatura	°C	20	20**
CIC	meq/100g	1,72	No hay
Contenido de Cenizas	%	37,2	No hay
Químicos			
Carbono Orgánico Total	%C	1,48	16,9**
Hierro	%Fe	0,83	0,000175**
Calcio	%CaO	22,5	5,6**
Sodio	%Na	0,97	No hay
Magnesio	%MgO	0,2	0,6**
Potasio	%K ₂ O	0,032	3,3**
Nitrógeno	%N	0,44	1,6 – 3,3 *
Fósforo	%P ₂ O ₅	0,37	0,04 – 3,3 *
Azufre	%S	0,19	No hay
Cobre	mg Cu/Kg	8,66	1500 *
Metales Pesados			
Arsénico	mg As/Kg	2,48	41 *
Cadmio	mg Cd/Kg	1,43	39 *
Cromo	mg Cr/Kg	8,8	1200 *
Plomo	mg Pb/Kg	33,6	300 *
Mercurio	mg Hg/Kg	0,42	17 *
Níquel	mg Ni/Kg	10,3	420 *
Zinc	mg Zn/Kg	40,2	2800 *
Manganeso	mg Mn/Kg	28,6	0,0045**
Microbiológico			
<i>Coliformes Totales</i>	UFC/gr	60	<1000 *
<i>Escherichia Coli</i>	UFC/gr	<10	No hay
<i>Salmonella spp</i>	(+/-)/25g	Neg	<3 *

*Literatura: Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002

**Abono comercial: Caracterización química, física y microbiológica de vermicompost producido a partir de desechos domésticos. Lolita Durán, Carlos Henríquez. Agronomía Costarricense. ISSN: 0377-9429 / 2007 (En línea) <<http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6818/6505>>

Los valores iniciales de humedad, temperatura y CIC representaron niveles adecuados para el inicio de los procesos de compostaje y lombricultura.

El contenido de cenizas del lodo residual presentó un porcentaje de 37,2%, lo cual favorece los procesos de compostaje y lombricultura, por su alto contenido de nutrientes en la materia orgánica y demuestra el buen potencial del lodo.

El bajo nivel de contenido de Carbono Orgánico Total (COT), señaló la necesidad de llevar a cabo una mezcla de este lodo con materiales de poda, residuos orgánicos entre otros.

Entre los resultados obtenidos del análisis de metales se destacó la alta concentración de calcio, probablemente como el resultado del tratamiento previo de los lodos, realizado en la empresa con cal. En cuanto a los demás metales, sus concentraciones se encontraron dentro del límite aceptado en los abonos comerciales y lombricultura.

Los bajos niveles de nitrógeno en el lodo residual indicaron que este material por sí solo no presenta buena capacidad para ser aprovechado como abono. Sin embargo posee suficiente potencial para ser re combinado y complementado con el fin de lograr su aplicación propuesta.

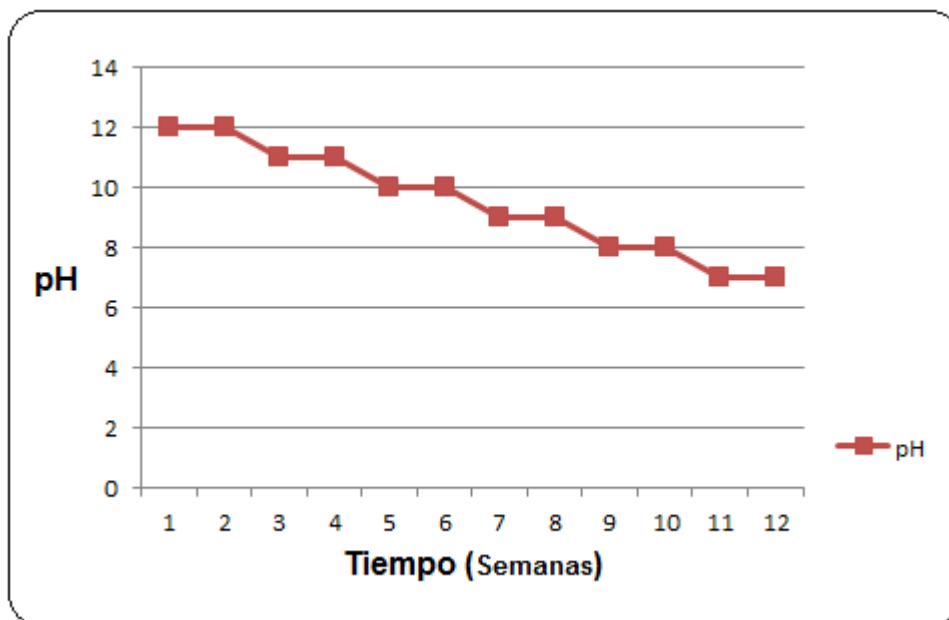
La concentración inicial de fósforo en el lodo (0,37 %P₂O₅), señaló un valor que se encuentra dentro del rango promedio expuesto por el estudio realizado a los lodos en las plantas de tratamiento de aguas residuales en el país²⁴. De igual forma, el mismo estudio indicó la posibilidad de adecuar estos lodos para su uso como restauradores de tierras, por lo tanto se encontró viable el uso del lodo proveniente de la PTAR de la Avícola El Madroño en procesos de compostaje y lombricultura.

²⁴ Gian Paolo Dáguer G. Gestión de biosólidos en Colombia (En línea). <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/biosolidos.pdf>> (Citado en 2004).

En cuanto al análisis microbiológico del lodo residual se verificó la presencia de *Coliformes Totales*, *Escherichia Coli* y *Salmonella spp*, que evidenciaron un bajo nivel de estos microorganismos, lo cual probablemente se debe al tratamiento previo aplicado al lodo con cal.

Previo a realizar el compostaje y la lombricultura fue necesario estabilizar el lodo residual, con el fin de neutralizar su alto pH. Este proceso permaneció por 12 semanas durante las cuales el pH descendió paulatinamente del valor de 12,2 hasta lograr un valor neutro de 7,0. (Ver gráfica 2)

Gráfica 2. Variación del pH en lodo inicial.



5.2 EVALUACIÓN DE LOS ABONOS RESULTANTES, SIGUIENDO LOS PARÁMETROS DEL ICA.

Para realizar la evaluación de los abonos resultantes se aplicó la metodología previamente descrita, ubicando el material de interés en los biorreactores de madera, elaboradas para para este fin.

5.2.1 Aprovechamiento del lodo residual aplicándolo en el proceso de compostaje

Durante los 3 meses que duró el proceso se controlaron los parámetros de pH y temperatura, cuyos resultados se reportan en las tabla 11.

Tabla 11. Monitoreo de temperatura y pH para compostaje.

Fecha	Temperatura	pH
Ene-16	22	7
Ene-17	23	-----
Ene-18	23	-----
Ene-19	24	-----
Ene-21	26	7
Ene-22	26	-----
Ene-23	26	-----
Ene-24	27	-----
Ene-25	28	7
Ene-26	28	-----
Ene-28	29	-----
Ene-29	30	-----
Ene-30	30	7
Ene-31	31	-----
Feb-1	32	-----
Feb-2	33	-----
Feb-4	34	7
Feb-5	35	-----
Feb-6	36	-----
Feb-7	36	-----
Feb-8	37	7
Feb-9	36	-----
Feb-11	36	-----
Feb-12	37	-----
Feb-13	38	7
Feb-14	39	-----
Feb-15	40	-----
Feb-16	43	-----
Feb-18	46	7
Feb-19	47	-----
Feb-20	50	-----
Feb-21	53	-----
Feb-22	55	7
Feb-23	56	-----
Feb-25	58	-----

Tabla 11. (Continuación)

Fecha	Temperatura	pH
Feb-26	59	-----
Feb-27	62	8
Feb-28	63	-----
Mar-1	64	-----
Mar-2	63	-----
Mar-4	64	7
Mar-5	63	-----
Mar-6	62	-----
Mar-7	62	-----
Mar-8	63	8
Mar-9	61	-----
Mar-11	62	-----
Mar-12	61	-----
Mar-13	60	7
Mar-14	58	-----
Mar-15	55	-----
Mar-16	51	-----
Mar-18	47	7
Mar-19	45	-----
Mar-20	43	-----
Mar-21	42	-----
Mar-22	40	7
Mar-23	38	-----
Mar-25	36	-----
Mar-26	34	-----
Mar-27	32	7
Mar-28	30	-----
Mar-29	28	-----
Mar-30	27	-----
Abr-1	26	7
Abr-2	27	-----
Abr-3	26	-----
Abr-4	26	-----
Abr-5	25	7
Abr-6	26	-----
Abr-8	25	-----
Abr-9	24	-----
Abr-10	24	7
Abr-11	23	-----
Abr-12	23	-----

Al analizar los resultados, se observó que mientras el pH se mantuvo constante, la temperatura presento un cambio típico para una biodegradación en procesos de compostaje.

Durante los primeros 33 días se presentó la primera fase del compostaje o fase mesófila. La fase termófila, momento en el cual la actividad bacteriana esta es su nivel máximo, se pudo evidenciar entre los días 33 y 53; durante esta fase se presentó un aumento exponencial de la temperatura, con un tope de 64 °C, que garantiza la eliminación de patógenos y parásitos presentes en el proceso. Durante esta parte del tratamiento, aparecieron hongos termófilos responsables de la descomposición de proteínas y celulosa. (Ver figura 9)

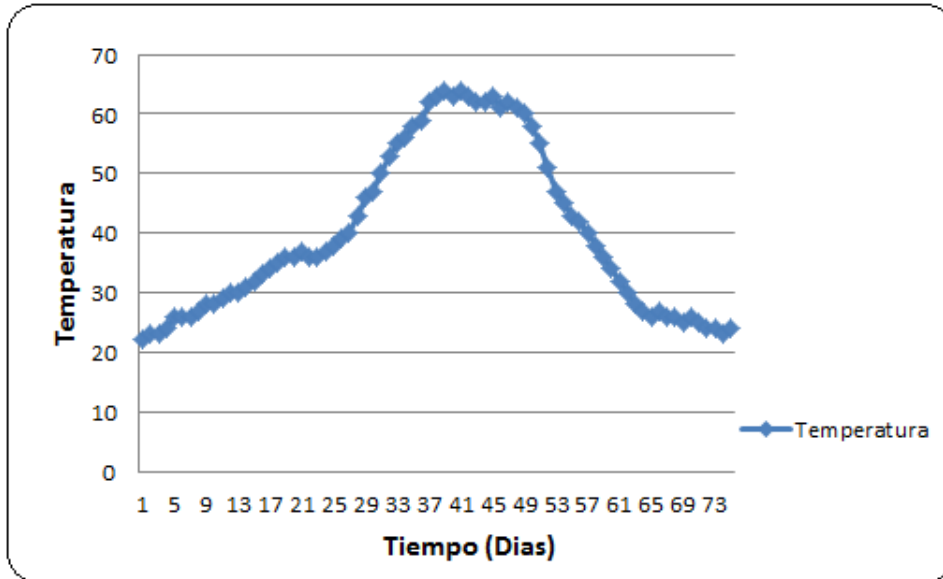
Figura 9. Hongo termófilo *Amanita Phalloides* presente en el compostaje.



Fuente: <En línea: <http://www.socmicolmadrid.org>>

Posteriormente, durante los días 53 a 73 se presentó la fase de enfriamiento del proceso de compostaje, evidenciándose un descenso de la temperatura hasta presentar valores cercanos a los 23 °C. (Ver gráfica 3)

Gráfica 3. Cambios de temperatura en el proceso de compostaje.



A continuación en la tabla 12 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos finales del abono, comparados con la norma establecida por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)

Tabla 12. Resultados de los análisis realizados al compostaje.

Parámetro	Resultado	Valores establecidos ICA
pH (Unidades de pH)	7,84	6,5 - 8,0
Humedad (%)	38,38	20 – 35
Cenizas (%)	35,0	Máximo 60
Carbono Orgánico Oxidable Total (%C)	4,15	>15
Densidad (g/ml)	1,14	0,6
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)	58,56	>30
Nitrógeno (%N)	1,55	>1
Fósforo (%P)	0,47	>1
Arsénico (mg As/Kg)	0,69	41
Cadmio (mg Cd/Kg)	2,82	39
Cromo	<L.D	1200
Mercurio	0,03	17
Níquel	17,09	420
Plomo	46,38	300

Las características del abono generado presentaron un nivel de pH que se halla en el rango determinado por el ICA. Conjuntamente su humedad superó levemente el valor esperado lo cual se puede relacionar consiguientemente con su alta densidad.

El porcentaje de contenido de cenizas se encontró en un rango intermedio, que se puede relacionar con la medida para la cantidad de minerales y nutrientes contenidos en la muestra de abono.

El carbono orgánico oxidable total presentó un bajo porcentaje, pero la capacidad de intercambio catiónico fue muy alta lo cual favorece el abono por la cantidad de iones positivos que pueden ser absorbidos o retenidos por el suelo. Además indicó una buena fertilidad y calidad del abono.

El nitrógeno presentó un alto nivel, indicando unas condiciones muy favorables para el uso de este producto como un fertilizante y restaurador de suelos.

El bajo nivel de fósforo, indicó la necesidad de complementar este abono introduciendo este elemento por medio de roca fosfórica molida como apatita, fluorapatita, vivianita, etc., o adicionando mayor cantidad de materia orgánica.

El bajo contenido de los metales especificados en la tabla, presentaron resultados satisfactorios que avalan este producto para su uso comercial.

5.2.2 Aprovechamiento del lodo residual aplicándolo en el proceso de lombricultura.

El montaje de lombricultura se llevo cabo en iguales condiciones que el proceso de compostaje, con una duración de 3 meses durante los cuales se realizó un monitoreo de la temperatura y el pH (ver Tabla 13).

Tabla 13. Monitoreo de temperatura y pH para lombricultura.

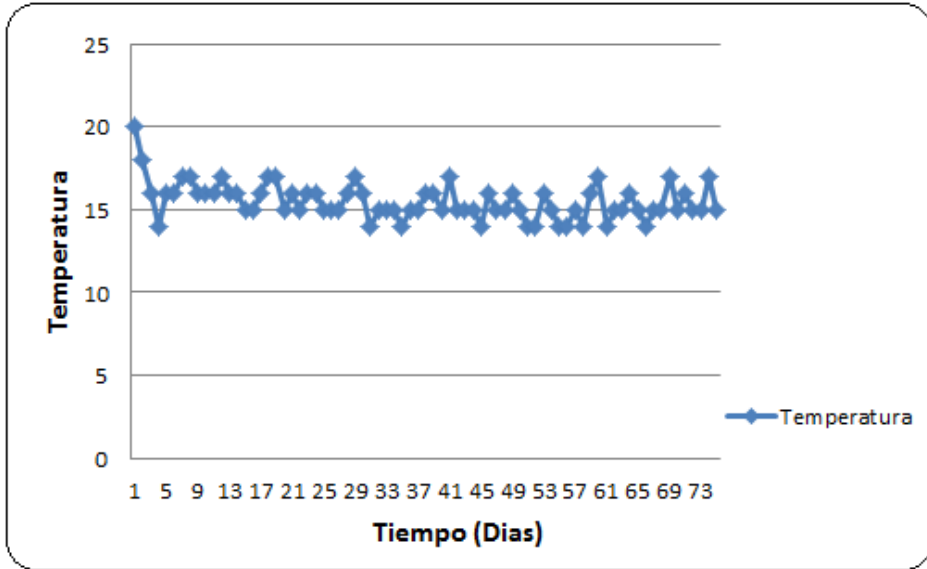
Fecha	Temperatura	pH
Ene-16	20	7
Ene-17	18	-----
Ene-18	16	-----
Ene-19	14	-----
Ene-21	16	7
Ene-22	16	-----
Ene-23	17	-----
Ene-24	17	-----
Ene-25	16	7
Ene-26	16	-----
Ene-28	16	-----
Ene-29	17	-----
Ene-30	16	7
Ene-31	16	-----
Feb-1	15	-----
Feb-2	15	-----
Feb-4	16	8
Feb-5	17	-----
Feb-6	17	-----
Feb-7	15	-----
Feb-8	16	8
Feb-9	15	-----
Feb-11	16	-----
Feb-12	16	-----
Feb-13	15	7
Feb-14	15	-----
Feb-15	15	-----
Feb-16	16	-----
Feb-18	17	7
Feb-19	16	-----
Feb-20	14	-----
Feb-21	15	-----
Feb-22	15	8
Feb-23	15	-----
Feb-25	14	-----
Feb-26	15	-----
Feb-27	15	7
Feb-28	16	-----
Mar-1	16	-----
Mar-2	15	-----
Mar-4	17	7
Mar-5	15	-----
Mar-6	15	-----
Mar-7	15	-----
Mar-8	14	7
Mar-9	16	-----
Mar-11	15	-----

Tabla 13. (Continuación)

Fecha	Temperatura	pH
Mar-12	15	-----
Mar-13	16	7
Mar-14	15	-----
Mar-15	14	-----
Mar-16	14	-----
Mar-18	16	8
Mar-19	15	-----
Mar-20	14	-----
Mar-21	14	-----
Mar-22	15	8
Mar-23	14	-----
Mar-25	16	-----
Mar-26	17	-----
Mar-27	14	7
Mar-28	15	-----
Mar-29	15	-----
Mar-30	16	-----
Abr-1	15	8
Abr-2	14	-----
Abr-3	15	-----
Abr-4	15	-----
Abr-5	17	7
Abr-6	15	-----
Abr-8	16	-----
Abr-9	15	-----
Abr-10	15	8
Abr-11	17	-----
Abr-12	15	-----

Durante el tiempo que continuó el ensayo la temperatura permaneció oscilando entre 14 – 17 °C. Las bajas temperaturas se relacionaron con la adición de agua al lecho de lombricultura. (Ver gráfica 4)

Gráfica 4. Cambio de temperatura en proceso de lombricultura.



A continuación en la tabla 14 se reportan los datos de los análisis fisicoquímicos comparados con los valores recomendados por el ICA para un producto comercial.

Tabla 14. Resultados de los análisis realizados al lombricompost.

Parámetro	Resultado	Método/Norma
pH (Unidades de pH)	8,19	6,5 - 8,0
Humedad (%)	60,0	20 – 35
Cenizas (%)	26,0	Máximo 60
Carbono Orgánico Oxidable Total (%C)	4,12	>15
Densidad (g/ml)	1,09	0,6
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)	0,53	>30
Nitrógeno (%N)	1,11	>1
Fósforo (mg P/Kg)	0,25	>1
Arsénico (mg As/Kg)	0,2	41
Cadmio (mg Cd/Kg)	1,55	41
Cromo	<L.D	39
Mercurio	0,03	1200
Níquel	8,68	420
Plomo	27,95	300

El pH de la lombrinaza tuvo un valor ligeramente superior al máximo recomendado por el ICA. La humedad presento un valor muy alto debido a que la muestra fue analizada inmediatamente terminado el proceso.

La lombrinaza presentó un valor de contenido de cenizas intermedio, pero un muy bajo contenido de carbono orgánico oxidable, al igual que la capacidad de intercambio catiónico, lo cual lo clasificó como un abono de baja utilidad como restaurador de suelos y fertilizante. Esto se pudo confirmar con los bajos contenidos de nitrógeno y fósforo que arrojaron los análisis.

Los metales presentaron bajas concentraciones, lo cual se consideró favorable para su uso comercial.

5.2.3 Comparación de análisis fisicoquímicos finales entre los materiales procesados

A continuación en la tabla 15 se comparan los resultados obtenidos entre los 3 ensayos realizados, para determinar cuál de estos presentó mejores características.

Tabla 15. Comparación de los análisis fisicoquímicos finales entre los materiales procesados.

Parámetro	Control	Compostaje	Lombricultura	Norma ICA
pH (Unidades de pH)	12	7,84	8,19	6,5 - 8,0
Humedad (%)	43,15	38,38	60,0	20 - 35
Cenizas (%)	45,6	35,0	26,0	Máximo 60
Carbono Orgánico Oxidable Total (%C)	0,95	4,15	4,12	>15
Densidad (g/ml)	1,18	1,14	1,09	0,6
CIC (meq/100g)	<L.D*	58,56	0,53	>30

Tabla15. (Continuación)

Nitrógeno (%N)	0,8	1,55	1,11	>1
Fósforo (mg P/Kg)	0,22	0,47	0,25	>1
Arsénico (mg As/Kg)	<L.D	0,69	0,2	41
Cadmio (mg Cd/Kg)	3,06	2,82	1,55	41
Cromo	<L.D	<L.D	<L.D	39
Mercurio	<L.D	0,03	0,03	1200
Níquel	15,92	17,09	8,68	420
Plomo	48,62	46,38	27,95	300

*LD- Límite detectable

Según los datos obtenidos del análisis de los abonos, en cuanto al pH, se encontró que el valor más adecuado (7,84) lo presentó la muestra de compostaje debido a que la norma ICA señala un rango entre 6,5 – 8,0. Vale la pena señalar que el valor de pH para la muestra control permaneció sin variación durante el tiempo del ensayo, lo que posiblemente se debió a la falta de actividad microbiana en este medio.

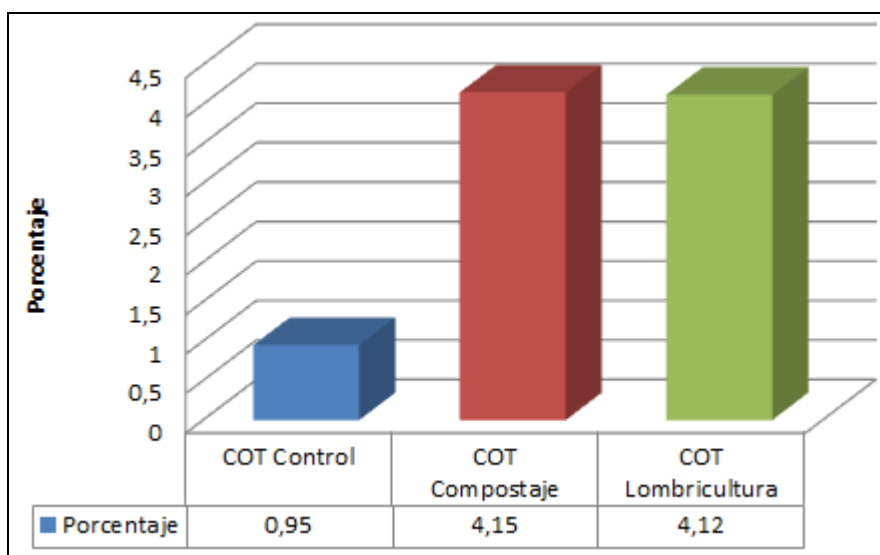
El alto contenido de la humedad final en la lombrinaza se debió a las exigencias del proceso el cual establece valores entre el 60% – 80% necesario para la sobrevivencia de las lombrices.

El contenido de cenizas presentó un mayor valor en la muestra control, lo que se puede explicar por la menor proporción (50%) de los lodos presentes en el compostaje y lombricultura, que en la muestra control (100%). Además considerando que las lombrices asimilan una parte del material inorgánico presente en las cenizas, su valor resultó ser menor en lombrinaza que en el lodo compostado.

Los valores obtenidos de Carbono Orgánico Oxidable Total en las muestras de control, lombricultura y compostaje fueron de 0,95%, 4,12% y 4,15%, respectivamente (ver gráfica 5), lo cual indicó la disponibilidad de nutrientes que

presenta cada uno de los abonos. Esto señaló que el abono que mayor cantidad y disponibilidad de nutrientes presentó, era el compostaje.

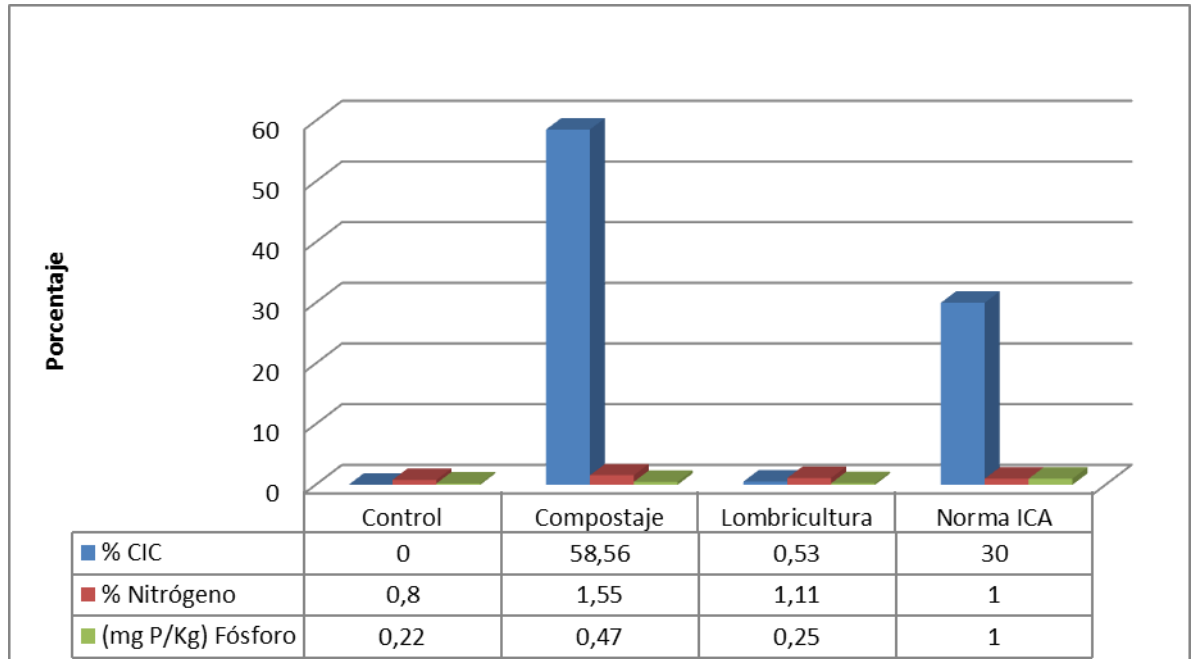
Gráfica 5. Carbono Orgánico Oxidable Total presente en los 3 abonos



Los altos valores de la densidad en los materiales analizados surgieron de la característica que aportaron los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales en la Avícola El Madroño. El proceso de lavado de las vísceras de las aves aporta gran cantidad de materiales arenosos y arcillosos los cuales incidieron sobre la densidad presente.

En la gráfica 6 se ilustran el comportamiento de Capacidad de Intercambio Catiónico, % de Fósforo y de Nitrógeno en los materiales analizados, comparados con la Norma ICA.

Gráfica 6. Variación del %CIC, %N y (mg P/Kg) P, en las muestras analizadas.



Considerando que la CIC permite medir la fertilidad y calidad del suelo se pudo concluir que el abono resultante del proceso de compostaje generado por 50% de lodo residual y 50% de material orgánico es especialmente útil para su función como fertilizante y restaurador de suelos. A lo anterior se suma un buen porcentaje de nitrógeno. Más sin embargo comparando el fósforo con la Norma ICA, se observó la necesidad de suplir este elemento para cumplir el valor establecido.

De acuerdo con los resultados obtenidos con respecto a las concentraciones de los metales pesados, estos indicaron que los 3 ensayos, tanto el control, como el compostaje y la lombricultura presentaron concentraciones de metales muy por debajo del límite máximo permitido por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), como condicionante para el uso de fertilizantes o abonos orgánicos en el suelo.

Finalmente, según los resultados de los análisis de cada uno de los abonos resultantes, fue factible indicar que el abono con mejores características, de más

fácil manejo, el cual podría comercializarse y que sería una mejor alternativa como fertilizante de cultivos es el proveniente del proceso de compostaje ya que la lombricultura requiere un tiempo mayor a 3 meses para lograr óptimos resultados.

5.3 COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LOS MÉTODOS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA

En esta etapa del proyecto se realizó una comparación técnica y económica de los métodos de compostaje y lombricultura aplicados con la finalidad de establecer un aprovechamiento económico del lodo proveniente de la planta de aguas residuales de la Avícola El Madroño.

5.3.1 Método del compostaje

Se realizó una inversión a nivel del ensayo de 56 mil pesos, correspondientes a la elaboración del biorreactor de madera donde se llevó a cabo el ensayo, la compra de 3,7 litros de ácido nítrico utilizados para lograr disminuir el pH del lodo residual y un frasco con tiras medidoras de pH. (Ver tabla 16)

Tabla 16. Inversión económica del método de compostaje

Material	Costo
Biorreactor de madera	40 mil pesos
Ácido Nítrico	10 mil pesos
Frasco con tiras medidoras de pH	6 mil pesos
Total	56 mil pesos

En cuanto a la parte técnica, el método de compostaje fue sencillo de ejecutarse, ya que no requería una disposición total de tiempo. Se dispuso en un biorreactor de madera la mezcla de lodo residual con material orgánico y diariamente se realizaron mediciones de humedad, temperatura, y de pH cada 4 días, con el fin

de mantener los niveles adecuados de estos parámetros, que permitieran un óptimo ambiente para los microorganismos que actuaron en la degradación del material orgánico.

Luego de terminado el ensayo, se realizó un análisis de Beneficio/Costo (B/C) para determinar la factibilidad de comercializar el producto final por parte de la empresa y cuyos resultados se exponen a continuación:

Relación (B/C) para el compostaje a gran escala

Costos de inversión:

- 4'000.000 pesos costo de construcción de 3 pilas para el tratamiento del lodo: 6mts de ancho x 6 mts de largo x 45 cm de alto cada una.
- 37.760 por 7.500 lts de agua para mantener humedad del lecho
- 75.000 por los 250 costales
- 6000 por frasco de papeles medidores de pH

Beneficios del proyecto

- 2'250.000 pesos mensuales por la venta de las 10 Ton de abono. Bulto de 40 Kg por 9.000 pesos.
- Se cumple con la normatividad ambiental y de esta forma se evitan multas y sanciones por parte de las autoridades ambientales competentes.

Tasa de rentabilidad Banco Agrario: 5,19%

Tasa de interés bancario: 10%

$B/C = (VAI/VAC)$

VAI: Valor Actual de los Ingresos

VAC: Valor Actual de los Costos de inversión

El abono se empieza a vender a partir del cuarto mes del primer año

Relación Costo/Beneficio a los 5 años meses

- $B/C = (6'594.123) / (10'093.272) = 14,88$

$B/C > 1$ El proyecto es viable económicamente.

Debido a que las altas temperaturas del método de compostaje eliminan patógenos, se hace innecesaria la aplicación de Cal como agente desinfectante, de esta forma, no se realizará la estabilización del pH con ácido nítrico. Además el método de compostaje no requiere de una disposición total de tiempo, por lo que los trabajadores del área ambiental, con los que ya cuenta la empresa, podrían hacerse cargo de los volteos y los riegos sin necesidad de contratar un trabajador específicamente para esta labor.

5.3.2 Método de lombricultura

El aspecto económico del método de lombricultura tuvo una diferencia con respecto al del compostaje, ya que sumado a la inversión que se efectuó para el ensayo de compostaje, para este proceso se realizó la compra de mil lombrices tipo Roja Californiana *Eisenia foétida*. Sin embargo esta inversión se debió repetir, por motivo que las primeras lombrices que se utilizaron para el ensayo no contaron con un ambiente adecuado y murieron. En total para este proceso se realizó una inversión de 76 mil pesos a nivel del ensayo. (Ver tabla 17)

Tabla 17. Inversión económica del método de lombricultura

Material	Costo
Biorreactor de madera	40 mil pesos
Ácido Nítrico	10 mil pesos
Frasco con tiras medidoras de pH	6 mil pesos
Lombriz <i>Eisenia foétida</i>	20 mil pesos
Total	76 mil pesos

Técnicamente, el procedimiento de lombricultura conjeturó mayores dificultades, puesto que conservar un ambiente adecuado y conveniente para la lombriz (*Eisenia foétida*), resultó complicado en un principio, dado que las temperaturas del lecho aumentaron y el lodo se secó, generando un medio desfavorable para las lombrices, que terminó por llevarlas a la muerte. Por tal motivo se agregó abundante agua al lecho, para disminuir su temperatura y mejorar su humedad, con el fin de crear un ambiente adecuado para las nuevas lombrices y así poder disponerlas en el lecho.

Finalizado el ensayo de lombricultura, se llevó a cabo un análisis de Beneficio/Costo para conocer la viabilidad de comercializar el producto, cuyos resultados fueron los siguientes:

Relación B/C para la lombricultura a gran escala

Costos de inversión:

- 4'000.000 pesos costo de construcción de 3 pilas para el tratamiento del lodo: 6mts de ancho x 6 mts de largo x 45 cm de alto cada una.
- 1.685.000 pesos por 780 litros de Ácido Nítrico.
- 196.355 pesos por 39.000 lts de agua para lograr pH 5.
- 75.521 pesos para mantener humedad adecuada en lombricultura

- 650.000 pesos salario de un trabajador tiempo completo
- 6000 pesos por papeles medidores de pH.
- 250.000 pesos por 50 mil lombrices

Beneficios del proyecto

- 1'800.000 pesos por la venta de las 6 Ton de abono. Bulto de 40 Kg por 12.000 pesos.
- Se cumple con la normatividad ambiental y de esta forma se evitan multas y sanciones por parte de las autoridades ambientales competentes.

Tasa de rentabilidad Banco Agrario: 5,19%

Tasa de interés bancario: 10%

$B/C = (VAI/VAC)$

VAI: Valor Actual de los Ingresos

VAC: Valor Actual de los Costos de inversión

El vermicompost se empieza a vender a partir del noveno mes, sin embargo hay un lapso de 5 meses para volver a tener abono para la venta.

Relación Beneficio/Costo a los 5 años

- $B/C = (4'445.250) / (14'290.578) = 0,33$

$B/C < 1$ El proyecto no es viable económicamente.

El proceso de lombricultura resulta ser un manejo muy lento para los lodos residuales, ya que a los 4 meses de tratamiento no se alcanzó a obtener un abono de óptima calidad debido a que el proceso tarda entre 5-6 meses.

Además éste método requiere mayor inversión económica y una disposición total de tiempo, por lo que se hace necesaria la contratación de un obrero con una dedicación de 9 horas diarias para el cuidado del proceso.

Según los resultados obtenidos de la relación B/C de compostaje (14,88) y B/C de lombricultura (0,33), es factible asegurar que el ensayo de compostaje da un resultado óptimo y además es un procedimiento adecuado para el manejo de los lodos residuales, ya que requiere de un menor tiempo de tratamiento, menos inversión económica y además da como resultado un abono de buena calidad y de fácil comercialización.

6. CONCLUSIONES

- El lodo residual proveniente del sistema de tratamiento de aguas residuales presente en la Avícola El Madroño, tiene potencial para ser transformado como abono, por medio de los métodos de compostaje o lombricultura.
- Mantener los niveles adecuados de temperatura y humedad son factores determinantes para realizar un buen método de lombricultura, dado que al presentarse un aumento de temperatura y por consiguiente una disminución de la humedad conlleva a una muerte segura de las lombrices.
- Según los resultados obtenidos en el laboratorio para los tres ensayos, el abono resultante del proceso de compostaje es más adecuado para utilizarse en cultivos, ya que además de presentar mejores características agronómicas, también las concentraciones de metales presentes en este, cumplen la normatividad impuesta por el ICA.
- El abono resultante del método de compostaje presenta mejores características agronómicas, ya que los análisis de Nitrógeno (1,55%), Fósforo (0,47%) y Carbono Orgánico (58,56%), dieron mejores resultados que los obtenidos en la lombricultura y el control.

- Al realizar el análisis financiero entre los ensayos realizados se observa la viabilidad económica y técnica para comercializar el abono resultante del ensayo de compostaje. Caso contrario al ensayo de lombricultura, ya que requiere mayor tiempo para lograr buenas características, además de una mayor inversión económica y de tiempo horas/hombre

7. RECOMENDACIONES

- Para poder realizar un mejor tratamiento a los lodos residuales, se hace necesario que la empresa Avícola El Madroño no siga efectuando el método de desinfección por medio de cal, ya que el pH con el que resulta el lodo residual después de este tratamiento es muy alto y para llegar a neutralizarlo se necesita invertir una gran cantidad de dinero, dadas las cantidades de lodo que genera la planta mensualmente.
- El lodo residual tal cual como resulta del tratamiento de las aguas residuales, puede ser utilizado como remediador de suelos con pH bajo, ya que debido a su alto nivel de pH (12), este lodo residual ayudaría a neutralizar el pH en este tipo de suelos.
- Es recomendable disponer los lodos residuales en mejores condiciones, ya que estos simplemente son desechados al aire libre en el lote de parqueaderos de la empresa, lo cual genera mal aspecto de la empresa y además contamina el suelo y el agua de la quebrada que pasa bordeando la empresa, ya que al momento de haber lluvias, estas lavan el lodo residual y generan una escorrentía de aguas con pH muy alto. Se hace necesaria la construcción de un cuarto techado para disponer estos lodos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ALCALDÍA DE BOGOTÁ (En línea) <<http://www.alcaldiadebogota.gov.co/sisjur/Norma1.jsp?i=16123#0>>.
- ATLAS Ronald M., Bartha Richard, Ecología microbiana y microbiología ambiental, University of Louisville, Rotgers University 2002.
- DÁGUER G. Gian Paolo, Gestión de biosólidos en Colombia, (En línea). <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/biosolidos.pdf>>, 2004.
- LEAL QUIROZ Héctor Rodrigo, Manual de Lombricultura, Santafé de Bogotá 2000.
- MENDOZA GÓMEZ Lenin, Manual de Lombricultura. Estado de Chiapas, México: 2008.
- Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Inc McGraw-Hill, Vol II 1995.
- OROZCO JARAMILLO Alvaro, Salazar Arias Alvaro, Tratamiento biológico de las aguas residuales, Medellín, 1985.

- PELCZAR Michael J., Reid Roger D., Chan E.C.S., Microbiología, 4 ed. México: McGraw-Hill de México, S.A., 1997. p 335; ISBN 968-6046-65-8.
- PINEDA José Arnold ,Lombricultura. Instituto Hondureño del Café. 1 ed. Tegucigalpa, 2006.
- RAMALHO R. S., Tratamiento de aguas residuales. 2 ed. Barcelona, 1996.
- RED INFOAGRO (En línea) <<http://www.infoagro.com/abonos/lombricultura.htm>>.
- RÖBEN Eva, Manual de Compostaje para Municipios. Municipalidad de Loja: Loja Ecuador, 2002.
- ROBERTS T. L., HENRY J. L., El muestreo de suelos: Los beneficios de un buen trabajo. (En línea) <[http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/A8EF73615D13C19B05256A11006AA55F/\\$file/EI%2Bmuestreo%2Bde%2Bsuelos.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/A8EF73615D13C19B05256A11006AA55F/$file/EI%2Bmuestreo%2Bde%2Bsuelos.pdf)>
- ROMAN Pilar, Taller-Técnicas de compostaje: CONGRESO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Y SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (2012: Paraguay).

- ROMERO ROJAS Jairo Alberto, Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y principios de diseño, 1999 1 y 2 ed.
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental, Lodos y biosólidos, Especificaciones y límites máximo permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. (En línea). <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/200610lodos.pdf>>.
- SCHULDT Miguel, Lombricultura Teoría y Práctica. Madrid, 2006.
- TCHOBANOGLOUS George, Theisen Hilary, Vigil Samuel, Gestión integral de residuos sólidos. Vol 2. 1 ed. Madrid 1998.
- VIGUEROS CARDOSO Lina, Ramírez Camperos Esperanza, López Armenta Socorro Evaluación de composta de lodo residual en el crecimiento de plantas ornamentales, Socorro López Armenta, Gabriela Moeller Chávez, Reyna Palma Auyón, Petia Mijaylova Nacheva. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (En línea). <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/mextar012.pdf>>.

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Aprovechamiento de biosólidos.	19
Tabla 2. Estándares para aplicación de abonos sobre el suelo en Colombia.	25
Tabla 3. Rangos típicos de temperatura para las bacterias.	29
Tabla 4. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.	31
Tabla 5. Cantidades relativas (%) de nutrientes contenidas en distintos estiércoles animales, y mejora mediante compostaje tradicional y vermicompostaje.	40
Tabla 6. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.	45
Tabla 7. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.	45
Tabla 8. Parámetros evaluados al lodo residual proveniente de la PTAR.	48
Tabla 9. Métodos aplicados para la determinación de los parámetros especificados.	56
Tabla 10. Análisis fisicoquímico inicial del lodo residual de la PTAR.	59
Tabla 11. Monitoreo de temperatura y pH para compostaje.	62

CONTINUACIÓN LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 12. Resultados de los análisis realizados al compostaje.	65
Tabla 13. Monitoreo de temperatura y pH para lombricultura.	67
Tabla 14. Resultados de los análisis realizados al lombricompost.	69
Tabla 15. Comparación de los análisis fisicoquímicos finales entre los materiales procesados.	70
Tabla 16. Inversión económica del método de compostaje.	74
Tabla 17. Inversión económica del método de lombricultura.	77


LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Tratamiento de aguas residuales presente en la empresa.	14
Gráfica 2. Variación del pH en lodo inicial.	61
Gráfica 3. Cambios de temperatura en el proceso de compostaje.	65
Gráfica 4. Cambio de temperatura en proceso de lombricultura.	69
Gráfica 5. Carbono Orgánico Oxidable Total presente en los 3 abonos.	72
Gráfica 6. Variación del %CIC, %N y (mg P/Kg) P, en las muestras analizadas.	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Muestra de lodo lista para análisis.	47
Figura 2. Dimensiones de los cajones.	49
Figura 3. Montaje del ensayo de control	50
Figura 4. Montaje del ensayo de compostaje	51
Figura 5. Montaje del ensayo de lombricultura	53
Figura 6. Muestra final del control	54
Figura 7. Muestra final del compostaje	54
Figura 8. Muestra final del lombricultura	55
Figura 9. Hongo termófilo <i>Amanita phalloides</i> presente en compost.	64

LISTA DE ANEXOS

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16	
		Página 1 de 2	



Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1659 de 2011, en los parámetros pH, DBO₅, DQO, SST, fenoles, SAAM, grasas y aceites en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas.



Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 25.314 de 2010 para la realización de análisis físicos químicos y microbiológicos al agua para consumo humano.

Informe de resultados No.	12-560	Fecha de emisión:	Octubre 30 de 2012
Cliente:	AVICOLA EL MADRÑO		
Dirección del cliente:	Carrera 12 No 57-88 Km 6 Vía Girón		
Solicitud de servicio No.	12-553	No. de muestras:	01
Fecha de recepción de las muestras:	Octubre 05 de 2012		
Muestras recibidas por:	Johanna Riveros		
Fecha de análisis:	Octubre 05 de 2012 – Octubre 30 de 2012		

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	12-553-01	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	Lodo		
Matriz de la muestra:	Lodo		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Avícola el Madroño / Lebrija		
Fecha del muestreo:	Octubre 05 de 2012		

PARAMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	12,2	Potenciométrico/ NTC 5167
Humedad (%)	47,7	Gravimétrico/ NTC 5167
Cenizas (%)	37,2	Gravimétrico/ NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable Total (%C)	1,48	Titrimétrico/ NTC 5167
Nitrógeno (%N)	0,44	Kjeldhal-Titrimétrico/ NTC 5167
Fósforo (%P ₂ O ₅)	0,37	Espectrofotométrico/NTC 5167
Calcio (%CaO)	22,6	Absorción Atómica/ NTC 5167
Cobre (mg Cu/Kg)	8,66	Absorción Atómica/ NTC 5167
Magnesio (%MgO)	0,20	Absorción Atómica/ NTC 5167
Potasio (%K ₂ O)	0,032	Absorción Atómica/ NTC 5167
Sodio (%Na)	0,97	Absorción Atómica/ NTC 5167
Hierro (%Fe)	0,83	Absorción Atómica/ NTC 5167
Cinc (mg Zn/Kg)	29,3	Absorción Atómica/ NTC 5167
Manganeso (mg Mn/Kg)	19,8	Absorción Atómica/ NTC 5167
Azufre (%S)	0,19	Espectrofotométrico/ NTC 5167
Capacidad de Intercambio Catiónico(meq /100g)	1,72	Titrimétrico/ NTC 5167
Conductividad (µS/cm)	7410	Conductivimétrico

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 - Edificio Familo Torres, Laboratorio 102
 Computador: (7) 6344000 Ext. 2465. Telefax: (7) 6349009
 Pagina web: <http://ciencias.us.edu.co/lqc/> E-mail: labquimico@unival.com
laboratorioquimicodeconsultas@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia



SERVICIOS INTEGRADOS PARA LA
INDUSTRIA DE ALIMENTOS Y EL
MEDIO AMBIENTE
NIT. 804.016.152-8



REPORTE DE RESULTADOS

Ciudad y Fecha de emisión: Bucaramanga, 26 de octubre de 2012	No. 032678
Solicitante: AVÍCOLA EL MADROÑO S.A.	Tipo de muestra: Abono
Dirección: Cra 35 A # 46-02	Identificación: ABONO
Teléfono: 6478516	Descripción: //
Lugar de muestreo: PLANTA	Responsable de muestreo: SOLICITANTE
Fecha de muestreo: 18 de octubre de 2012	Procedimiento de muestreo: SOLICITANTE
Fecha de recepción: 18 de octubre de 2012	Tamaño de la muestra: 380 gr
Fecha de análisis: 19 - 24 de octubre de 2012	Envase o empaque: Frasco de vidrio
Análisis solicitado: Microbiológico	Lote: //
Condiciones de la muestra: Adecuadas	

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
COLIFORMES TOTALES	NTC 4458	60 UFC / g	
E. COLI	NTC 4458	<10 UFC / g	
DETECCION DE <i>Salmonella spp</i>	NTC 4574	Neg / 25 g	

Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA.





LIBETH FONSECA V.

Elaboró: LIBETH FONSECA VILLEGAS
COORDINADORA LAB. MICROBIOLOGÍA
MICROBIOLOGA REG. 33911 FOLIO 319

SANDRA PINZÓN

Revisó: SANDRA PINZON RUEDA
MICROBIOLOGA
REG. 47708 FOLIO 177

Código: R-051 Versión: 0.1 Fecha: 22/05/09 Página: 1 de 1

	LABORATORIO QUIMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16	
		Página 1 de 2	



"Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1639 de 2011, en los parámetros pH, DHO, DQO, SST, fenoles, SAAM, grasas y aceites en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas"



"Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 3534 de 2010, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano"



Informe de resultados No.	12-858	Fecha de emisión:	Diciembre 14 de 2012
Cliente:	ALEJANDRO SARQUEZ CRUZ		
Dirección del cliente:	Carrera 45 No. 65-84 La Floresta		
Solicitud de servicio No.	12-823	No. de muestras:	01
Fecha de recepción de las muestras:	Noviembre 15 de 2012		
Muestras recibidas por:	Yolanda Vargas F		
Fecha de análisis:	Noviembre 30 de 2012 – Diciembre 14 de 2012		

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	12-823-01	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	Lodo Residual		
Matriz de la muestra:	Lodo		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Lebrija. Avícola El Madroño en el sistema de tratamiento de aguas residuales- Zona de amontonamiento de lodos residuales		
Fecha del muestreo:	Noviembre 09 de 2012		

PARAMETRO	RESULTADO	METODO
Arsénico (mg As/Kg)	2,48	Absorción Atómica/Generación de Hidruros
Cadmio (mg Cd/Kg)	1,43	Absorción Atómica
Cromo (mg Cr/Kg)	8,8	Absorción Atómica
Mercurio (mg Hg/Kg)	0,42	Absorción Atómica/Generación de Hidruros
Plomo (mg Pb/Kg)	33,6	Absorción Atómica
Manganeso (mg Mn/Kg)	28,6	Absorción Atómica
Níquel (mg Ni/Kg)	10,3	Absorción Atómica
Cinc (mg Zn/Kg)	40,2	Absorción Atómica

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com;
laboratorioquimicodeconsultas@uis.edu.co

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALÍTICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 1 de 4	



"Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 1659 de 2011, en los parámetros pH, DBO₅, DQO, SST, fenoles, SAAM, grasas y aceites en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas"



"Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 5534 de 2010, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano"

Informe de resultados No.	I-13-180	Fecha de emisión:	Mayo 08 de 2013
Cliente:	ALEJANDRO SARQUEZ CRUZ		
Dirección del cliente:	Carrera 45 No. 85-84 La Floresta		
Solicitud de servicio No.	13-136	No. de muestras:	03
Fecha de recepción de las muestras:	Abril 12 de 2013		
Muestras recibidas por:	Johanna Riveros		
Fecha de análisis:	Abril 12 de 2013 – Mayo 08 de 2013		



1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	13-136-01	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	Compostaje		
Matriz de la muestra:	Abono		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Lebrija / Avícola El Madroño		
Fecha del muestreo:	Abril 11 del 2013		

PARAMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	7,84	Potenciométrico/ NTC 5167
Humedad (%)	38,38	Gravimétrico / NTC 5167
Cenizas (%)	35,0	Gravimétrico / NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable Total (% C)	4,15	Titrimétrico/ NTC 5167
Nitrógeno (% N)	1,55	Kjeldahl-Titrimétrico/ NTC 5167
Fósforo (mg P/Kg)	4729,4	Espectrofotométrico/NTC 5167
Densidad (g /ml)	1,14	Gravimétrico /NTC 5167
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)	58,56	Titrimétrico/ NTC 5167
Arsénico (mg As /Kg)	0,69	Absorción Atómica Generación de Hidruros/ NTC 5167
Cadmio (mg Cd /Kg)	2,82	Absorción Atómica / NTC 5167
Cromo (mg Cr /Kg)	<L.D	Absorción Atómica / NTC 5167
Mercurio (mg Hg /Kg)	0,03	Absorción Atómica Generación
Niquel (mg Ni /Kg)	17,09	Absorción Atómica / NTC 5167
Plomo (mg Pb /Kg)	46,38	Absorción Atómica / NTC 5167

Observaciones: Ninguna

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com;
laboratorioquimicodeconsultas@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 2 de 4	

Informe de resultados No. I-13-180

Solicitud de servicio No. 13-136

2. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	13-136-02	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	CONTROL		
Matriz de la muestra:	Abono		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Lebrija / Avícola El Madroño		
Fecha del muestreo:	Abril 11 del 2013		

PARAMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	12,1	Potenciométrico/ NTC 5167
Humedad (%)	43,15	Gravimétrico / NTC 5167
Cenizas (%)	45,60	Gravimétrico / NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable Total (% C)	0,95	Titrimétrico/ NTC 5167
Nitrógeno (% N)	0,80	Kjeldahl-Titrimétrico/ NTC 5167
Fósforo (mg P/Kg)	2264,2	Espectrofotométrico/NTC 5167
Densidad (g /ml)	1,18	Gravimétrico /NTC 5167
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100g)	<L.D	Titrimétrico/ NTC 5167
Arsénico (mg As /Kg)	<L.D	Absorción Atómica Generación de Hidruros/ NTC 5167
Cadmio (mg Cd /Kg)	3,06	Absorción Atómica / NTC 5167
Cromo (mg Cr /Kg)	<L.D	Absorción Atómica / NTC 5167
Mercurio (mg Hg /Kg)	<L.D	Absorción Atómica Generación
Níquel (mg Ni /Kg)	15,92	Absorción Atómica / NTC 5167
Plomo (mg Pb /Kg)	48,62	Absorción Atómica / NTC 5167

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 3 de 4	

Informe de resultados No. I-13-180

Solicitud de servicio No. 13-136

3. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	13-136-03	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	Lombricultura		
Matriz de la muestra:	Abono		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Lebrija / Avícola El Madroño		
Fecha del muestreo:	Abril 11 del 2013		

PARAMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	8,19	Potenciométrico/ NTC 5167
Humedad (%)	60,0	Gravimétrico / NTC 5167
Cenizas (%)	26,0	Gravimétrico / NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable Total (% C)	4,12	Titrimétrico/ NTC 5167
Nitrógeno (% N)	1,11	Kjeldahl-Titrimétrico/ NTC 5167
Fósforo (mg P/Kg)	2522,7	Espectrofotométrico/NTC 5167
Densidad (g /ml)	1,09	Gravimétrico /NTC 5167
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq /100g)	0,53	Titrimétrico / NTC 5167
Arsénico (mg As /Kg)	0,2	Absorción Atómica Generación de Hidruros/ NTC 5167
Cadmio (mg Cd /Kg)	1,55	Absorción Atómica / NTC 5167
Cromo (mg Cr /Kg)	<L.D	Absorción Atómica / NTC 5167
Mercurio (mg Hg /Kg)	<L.D	Absorción Atómica Generación
Níquel (mg Ni /Kg)	8,68	Absorción Atómica / NTC 5167
Plomo (mg Pb /Kg)	27,95	Absorción Atómica / NTC 5167

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com;
laboratorioquimicodeconsultas@uis.edu.co

Análisis Costo/Beneficio del compostaje

Análisis costo beneficio compostaje			1	2	3	4	5	
			Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Total
Costos iniciales			<i>Beneficios</i>					
Costales	\$ 75.000	Demanda (bultos)	1800	2400	2400	2400	2400	
Agua para mantener humedad	\$ 37.760	Precio Unitario (Bulto)	\$ 9.000	\$ 9.300	\$ 9.500	\$ 9.700	\$ 10.000	
Medidores PH	\$ 6.000	Beneficio neto	\$ 16.200.000	\$ 22.320.000	\$ 22.800.000	\$ 23.280.000	\$ 24.000.000	\$ 108.600.000
Pilas de tratamiento	\$ 4.000.000		<i>Costos fijos</i>					
		Pilas de tratamiento	\$ 4.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
		Costales	\$ 675.000	\$ 1.050.000	\$ 1.200.000	\$ 1.275.000	\$ 1.350.000	
		Agua	\$ 1.246.080	\$ 1.395.360	\$ 1.431.360	\$ 1.458.000	\$ 1.494.000	
Tasa de Interés	10%	Medidores PH	\$ 72.000	\$ 72.000	\$ 74.000	\$ 74.000	\$ 76.000	
		Costos Total	\$ 5.993.080	\$ 2.517.360	\$ 2.705.360	\$ 2.807.000	\$ 2.920.000	\$ 16.942.800
		Factor de Actualización	0,909090909	0,826446281	0,751314801	0,683013455	0,620921323	
		Valor Actual de los Ingresos	\$14.727.273	\$18.446.281	\$17.129.977	\$15.900.553	\$14.902.112	\$ 81.106.196
		Valor Actual de los Costos de Inversión	\$ 5.448.255	\$ 2.080.463	\$ 2.032.577	\$ 1.917.219	\$ 1.813.090	\$ 5.448.255
		Flujo Neto VPN	\$ 9.279.018	\$16.365.818	\$15.097.400	\$13.983.334	\$13.089.021	\$ 67.814.593
		Indicadores Financieros						
		Beneficio/Costo	14,88663856	Acepta				
		TIR	#¡NUM!	#¡NUM!				
		VAN	\$67.814.593	Acepta				

Análisis Costo/Beneficio de la lombricultura

Análisis costo beneficio lombricultura		Años					Total
		1	2	3	4	5	
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	
Costos iniciales		<i>Beneficios</i>					
Costales	\$ 75.000	Demanda (bultos)	750	750	1500	750	1500
Agua	\$ 196.355	Precio Unitario	\$ 12.000	\$ 12.200	\$ 12.400	\$ 12.600	\$ 12.800
Medidores PH	\$ 6.000	Beneficio neto	\$ 9.000.000	\$ 9.150.000	\$ 18.600.000	\$ 9.450.000	\$ 19.200.000
Pilas de tratamiento	\$ 4.000.000	<i>Costos fijos</i>					
Lombrices	\$ 300.000	Pilas de tratamiento	\$ 4.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Mano de obra	\$ 630.000	Costales	\$ 225.000	\$ 225.000	\$ 450.000	\$ 225.000	\$ 450.000
Acido Nitrico	\$ 1.685.000	Agua	\$ 4.546.371	\$ 3.700.533	\$ 4.319.808	\$ 3.700.533	\$ 4.319.808
		Medidores PH	\$ 72.000	\$ 72.000	\$ 74.000	\$ 74.000	\$ 76.000
Tasa de Interés	10%	Lombrices	\$ 300.000				
		Mano de obra	\$ 7.560.000	\$ 7.800.000	\$ 8.040.000	\$ 8.280.000	\$ 8.520.000
		Acido Nitrico	\$ 28.645.000	\$ 16.850.000	\$ 28.645.000	\$ 16.850.000	\$ 28.645.000
		Costos Total	\$ 45.348.371	\$ 28.647.533	\$ 41.528.808	\$ 29.129.533	\$ 42.010.808
		Factor de Actualización	0,909090909	0,826446281	0,751314801	0,683013455	0,620921323
		Valor Actual de los Ingresos	\$ 8.181.818	\$ 7.561.983	\$ 13.974.455	\$ 6.454.477	\$ 11.921.689
		Valor Actual de los Costos de Inversión	\$ 41.225.792	\$ 23.675.647	\$ 31.201.208	\$ 19.895.863	\$ 26.085.406
		Flujo Neto VPN	-\$ 33.043.974	-\$ 16.113.664	-\$ 17.226.753	-\$ 13.441.386	-\$ 93.989.493
		Indicadores Financieros					
		Beneficio/Costo	0,338493087	No Acepta			
		TIR	#¡NUM!	#¡NUM!			
		VAN	-\$ 93.989.493	No Acepta			

