



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
EQUINOCCIAL**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

**APROVECHAMIENTO DE LODOS DE LA PLANTA DE
POTABILIZACIÓN EPMAPA SD, COMO ALTERNATIVA
PARA SU ESTABILIZACIÓN MEDIANTE
LONBRICOMPOSTAJE**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

ALEXIS ADRIÁN GALEAS ESTACIO

Directora: Ing. JUDIT GARCÍA GONZÁLEZ, M.Sc.

**Santo Domingo
Junio – 2018**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2018
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172223879-5
APELLIDO Y NOMBRES:	Galeas Estacio Alexis Adrian
DIRECCIÓN:	Coop. Abdón Calderón
EMAIL:	geaa7013159@ute.edu.ec
TELÉFONO FIJO:	(02) 2759-580
TELÉFONO MÓVIL:	0939118060

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Aprovechamiento de lodos de la planta de potabilización EPMAPA SD, como alternativa para su estabilización mediante lombricompostaje.
AUTOR O AUTORES:	Galeas Estacio Alexis Adrian
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	13 de Junio de 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Judit García González, <i>M.Sc.</i>
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales
RESUMEN	La gestión de lodos residuales ofrece grandes posibilidades para su aprovechamiento y estabilización en el suelo usándolo como abonos orgánicos. La Empresa Pública Municipal de Agua Potable EPMAPA SD es la encargada del tratamiento en la provincia de Santo Domingo de los

Tsáchilas. Durante este proceso de potabilización se generan una cantidad de lodos residuales sin ningún tratamiento y, según la organización municipal no se consideran un grave peligro ambiental la descarga de lodos. En la presente investigación se pretende establecer un mecanismo alternativo para el aprovechamiento y estabilización a escala experimental de los lodos generados mediante la elaboración lombricompostaje. Para su ejecución se ha planteado como objetivo Aprovechar el lodo residual generado en la planta de EPMAPA Santo Domingo en la utilización de un compostaje con la aplicación de lombrices. Para la ejecución del proyecto se diseñaron cuatro tratamientos y cinco repeticiones de cada uno con diferentes cantidades en la mezcla de componentes como: contenido ruminal, restos vegetales y microorganismos, todos los tratamientos poseen lombrices. Durante el proceso de formación de lombricompost se controló varios parámetros: temperatura, pH, aireación humedad entre otros, una vez finalizado el proyecto a las 10 semanas de compostaje; se evaluó el contenido de macronutrientes y micronutrientes, El lombricompost presentó mejoras en el contenido de micronutrientes, materia orgánica y relación C/N debido a las condiciones que permitieron la actividad de las lombrices. Mediante el lombricompostaje se logró una

	<p>estabilización de lodo residual, por tanto el compost puede usarse como abono orgánico para nutrir el suelo y mejorar sus características.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Lombricompostaje, Lodo residual, Contenido ruminal, Microorganismos eficientes.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The management of residual sludge offers great possibilities for its use and stabilization in the soil using it as organic fertilizers. The Public Company of Drinking Water EPMAPA SD is in charge of the treatment in the province of Santo Domingo de los Tsáchilas. During this purification process, a quantity of residual sludge is generated without any treatment and, according to the municipal organization; the discharge of sludge is not considered a serious environmental hazard. This investigation intends to establish an alternative mechanism for the exploitation and stabilization on an experimental scale of the sludge generated by the worm composting process. For its execution, the objective was to take advantage of the residual sludge generated in the EPMAPA Santo Domingo plant in the use of composting with the application of earthworms. For the execution of the project four treatments were designed and five repetitions of each one with different quantities in the mixture of components such as: ruminal content, plant remains and microorganisms, all treatments have worms. During the process of</p>

	<p>formation of vermicompost several parameters were controlled: temperature, pH, humidity aeration, among others, once the project was completed after 10 weeks of composting; the content of macronutrients and micronutrients was evaluated. The lombricompost presented improvements in the content of micronutrients, organic matter and C / N ratio due to the conditions that allowed the activity of the worms. By means of the vermicomposting a stabilization of residual mud was achieved, therefore the compost can be used as an organic fertilizer to nourish the soil and improve its characteristics.</p>
<p>KEYWORDS</p>	<p>Wormbromposting, Residual sludge, Ruminant content, Efficient microorganisms.</p>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: 
GALEAS ESTACIO ALEXIS ADRIÁN
CI: 172223879-5

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **GALEAS ESTACIO ALEXIS ADRIÁN**, CI: 172223879-5 autor del proyecto titulado: Aprovechamiento de lodos de la planta de potabilización EPMAPA SD., como alternativa para su estabilización mediante lombricompostaje. Previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 13 Junio de 2018



ALEXIS ADRIÁN GALEAS ESTACIO
CI: 172223879-5

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Empresa Pública Municipal
AGUA POTABLE
y Alcantarillado Santo Domingo



Oficio Nro. EPMAPA-SD-GG-2017-0519-O

Santo Domingo, 10 de agosto de 2017

Asunto: Información para trabajo de titulación Sr. Galeas Estacio Alexis Adrián.

Ingeniera
Miriam Natividad Recalde Quiroz
Coordinadora de Carrera Agropecuaria y Ambiental (santo Domingo)
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
En su Despacho


Reciba un cordial saludo de quienes conformamos la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Santo Domingo y al mismo tiempo expresando éxitos en sus funciones.

En atención a la Carta n°: UTESD-FCII-CAMB-2017-0032, de fecha 26 de julio de 2017, suscrito por la Ing. Miriam Recalde Quiroz, MSc. **COORDINADORA DE CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGO NATURALES UTE-SD**, solicitando se de las facilidades necesarias para que el señor estudiante Galeas Estacio Alexis Adrián, obtenga la información que le permita realizar el trabajo escrito de titulación bajo modalidad de Proyecto Técnico: *"Aprovechamiento de lodos de la planta de potabilización EPMAPA-SD, como alternativa para su estabilización mediante lombricompostaje"*.

Para lo cual se informa que la Subgerencia Talento Humano en coordinación con la Subgerencia Operaciones y Mantenimiento de la EPMAPA-SD, estarán dispuestas a colaborar con la información necesarias para que el estudiante Galeas Estacio Alexis Adrián, ejecute el Proyecto Técnico, *"Aprovechamiento de lodos de la planta de potabilización EPMAPA-SD, como alternativa para su estabilización mediante lombricompostaje"*.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines pertinentes.

Atentamente,


Ing. Freddy Ernesto Sanchez Granda
GERENTE GENERAL

Anexos:
- 2017_08_09_13_56_08.pdf

DECLARACIÓN

Yo **ALEXIS ADRIÁN GALEAS ESTACIO**, declaro que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes de este trabajo, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



ALEXIS ADRIÁN GALEAS ESTACIO

CI: 172223879-5

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Aprovechamiento de lodos de la planta de potabilización EPMAPA SD, como alternativa para su estabilización mediante lombricompostaje**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales** fue desarrollado por **Alexis Adrián Galeas Estacio**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19,27 y 28.



Ing. Judit García González

CI.:1755789367

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Dedicatoria

Este trabajo de grado se lo dedico a Dios como primer participante en mi vida por darme siempre la fuerza de seguir adelante. Con mucho amor y cariño se lo dedico a mi familia, por su compañía y sacrificio durante estos años, por darme todo y apoyarme siempre para tener un mejor futuro y por ser la mejor familia que tengo.

A mi mami Lady y a mi padre Enrique por estar conmigo, cuidarme, amarme y alimentarme, que siempre han sido mi fuente de motivación, enseñanza e inspiración para poder luchar y poder superarnos cada día más. También dedico este trabajo a mi hermanito, por ser mi compañía siempre.

Agradecimiento

Le doy las gracias a Dios, por brindarme la vida y sus bendiciones cada día por permitirme llegar hasta el final de mi carrera y gracias por darme unos padres maravillosos.

A mi mami Lady por amarme siempre desde que nací por cuidarme y educarme con todo su amor para que sea un hombre, gracias mamá por tus consejos, sé que estarás orgullosa de mi TE AMO. A mi padre Enrique gracias por ser el pilar de esta familia, por apoyarme y darme todo lo que siempre necesité y por ser la imagen de hombre que siempre quise ser gracias papá. Mil gracias a mi hermano Covito, te quiero mucho

Le doy las gracias a mi gran familia, a mi tías por aconsejarme, a mi mami Maru gracias abuelita por tus consejos, gracias a las oraciones de mi mamá Flor y mi tía Hilda.

A ti mi Fiama, mi mujer especial gracias por compartir conmigo este largo camino por enseñarme el valor de la responsabilidad, el amor y educarme siempre, gracias por creer en mi por darme tu amor incondicional, motivación, brindarme tu compañía, tu ayuda, gracias por todos los momentos felices y difíciles en nuestra carrera que siempre estuviste conmigo.

Un agradecimiento a mi directora la Ingeniera Judit García por ser la guía de este trabajo, y que gracias a sus conocimientos hizo posible la presentación de este informe.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. MARCO TEÓRICO	7
1.1.1. INCINERACIÓN DE LODOS	7
1.1.2. DIGESTIÓN DE LODOS	7
1.1.3. DISPOSICIÓN FINAL	7
1.1.4. COMPOSTAJE DE LODOS	8
1.1.5. COMPOSICIÓN DE LOS LODOS	9
1.1.6. TÉCNICAS DE COMPOSTAJE	9
1.1.7. SISTEMAS ABIERTOS	10
1.1.7.1. Pilas estáticas con aireación pasiva	10
1.1.7.2. Pilas estáticas con aireación forzada	10
1.1.7.3. Pilas con volteo	10
1.1.8. SISTEMAS CERRADOS	11
1.1.9. LOMBRICOMPOSTAJE	11
1.2. OBJETIVOS	12
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	12
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. METODOLOGÍA	13
2.1. LOCALIZACIÓN	13
2.2. DISEÑO DE LA TECNOLOGÍA	13
2.2.1. CAPTURA DE MICROORGANISMOS EFICIENTES	14
2.2.2. COLOCACIÓN DE TRAMPAS	14
2.2.3. ACTIVACIÓN DE MICROORGANISMOS	15
2.2.4. MATERIALES PARA EL COMPOST	16
2.2.4.1. Material aportante de Nitrógeno y Relación C/N	17
2.2.4.2. La Lombriz	18
2.2.5. MONTAJE DE PILAS	19
2.2.6. ADICIÓN DE LOMBRICES	21
2.3. PARÁMETROS ANALIZADOS	21
2.3.1. CONTROL DE TEMPERATURA	22
2.3.2. OXIGENACIÓN Y VOLTEO	22
2.3.3. RIEGO	22
2.4. PRUEBAS TÉCNICAS	23
2.4.1. ANÁLISIS DE LOMBRICOMPOST	23
2.5. ANÁLISIS ECONÓMICO	24

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	26
3.1. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS	26
3.1.1. MEDICIÓN DE PH	26
3.1.2. RESULTADOS DEL LODO CRUDO	26
3.1.3. TEMPERATURA	28
3.2. CONTROL DE TEMPERATURA	30
3.2.1. TRATAMIENTO 1	32
3.2.2. TRATAMIENTO 2	32
3.2.3. TRATAMIENTO 3	32
3.2.4. TRATAMIENTO 4	32
3.3. RESULTADOS DE MACRONUTRIENTES	37
3.4. RESULTADOS DE MICRONUTRIENTES	37
3.5. RESULTADOS DE MATERIA ORGÁNICA Y RELACIÓN C/N	38
3.6. COMPARACIÓN RESULTADOS	39
4. CONCLUSIONES	41
5. REFERENCIAS	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de algunos elementos nutritivos de varios lodos.	9
Tabla 2. Los componentes de varios estiércoles.	9
Tabla 3. Composición en nutrientes del lombricompost y el compost tradicional	11
Tabla 4. Presencia de microorganismos en relación a los días de activación	16
Tabla 5. Relación carbono nitrógeno de algunos residuos (Base Seca)	18
Tabla 6. Diseño de tratamientos de lombricompostaje	20
Tabla 7. Análisis económico del Proyecto de Lombricompostaje	24
Tabla 8. Resultados Análisis Físicoquímico de lodo crudo	27
Tabla 9. Niveles críticos para la interpretación del análisis químico de suelos en la región costa y sierra del Ecuador del Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias (INIAP)	28
Tabla 10. Datos de temperatura del compost primeras semanas	29
Tabla 11. Control de Temperatura	30
Tabla 12. Resultados del Análisis Físicoquímico del Compost	35
Tabla 13. Comparación de resultados de macro y micro nutrientes del proyecto	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Colocación de trampas para microorganismos	15
Figura 2. Microorganismos capturados en el sustrato alimenticio	15
Figura 3. Activación del medio de cultivo de microorganismos eficientes capturados	16
Figura 4. Contenido Ruminal extraído de un matadero privado	17
Figura 5. Morfología de la lombriz Eisenia Foetida	19
Figura 6. Formación de las pilas por medio de la técnica de montón	20
Figura 7. Adición de lombrices de la especie Eisenia Foetida	21
Figura 8. Oxigenación de las pilas de lombricompost	22
Figura 9. Riego de las repeticiones de Compost	23
Figura 10. Valores de Temperatura en las 3 primeras semanas de formación del compost	29
Figura 11. Parámetros de temperatura óptimos según Manual de Compostaje FAO	31
Figura 12. Variaciones de Temperatura de los tratamientos de lombricompostaje	31
Figura 13. Valores de Macronutrientes Lombricompost	37
Figura 14. Valores de micronutrientes del Lombricompost	38
Figura 15. Resultados de materia orgánica y relación C/N	38

RESUMEN

La gestión de lodos residuales ofrece grandes posibilidades para su aprovechamiento y estabilización en el suelo usándolo como abonos orgánicos. La Empresa Pública Municipal de Agua Potable EPMAPA SD es la encargada del tratamiento en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Durante este proceso de potabilización se generan una cantidad de lodos residuales sin ningún tratamiento y, según la organización municipal no se consideran un grave peligro ambiental la descarga de lodos. En la presente investigación se pretende establecer un mecanismo alternativo para el aprovechamiento y estabilización a escala experimental de los lodos generados mediante la elaboración lombricompostaje. Para su ejecución se ha planteado como objetivo Aprovechar el lodo residual generado en la planta de EPMAPA Santo Domingo en la utilización de un compostaje con la aplicación de lombrices. Para la ejecución del proyecto se diseñaron cuatro tratamientos y cinco repeticiones de cada uno con diferentes cantidades en la mezcla de componentes como: contenido ruminal, restos vegetales y microorganismos, todos los tratamientos poseen lombrices. Durante el proceso de formación de lombricompost se controló varios parámetros: temperatura, pH, aireación humedad entre otros, una vez finalizado el proyecto a las 10 semanas de compostaje; se evaluó el contenido de macronutrientes y micronutrientes, El lombricompost presentó mejoras en el contenido de micronutrientes, materia orgánica y relación C/N debido a las condiciones que permitieron la actividad de las lombrices. Mediante el lombricompostaje se logró una estabilización de lodo residual, por tanto el compost puede usarse como abono orgánico para nutrir el suelo y mejorar sus características.

Palabras clave: Lombricompostaje, Lodo residual, Contenido ruminal, Microorganismos eficientes.

ABSTRACT

The management of residual sludge offers great possibilities for its use and stabilization in the soil using it as organic fertilizers. The Public Company of Drinking Water EPMAPA SD is in charge of the treatment in the province of Santo Domingo de los Tsáchilas. During this purification process, a quantity of residual sludge is generated without any treatment and, according to the municipal organization; the discharge of sludge is not considered a serious environmental hazard. This investigation intends to establish an alternative mechanism for the exploitation and stabilization on an experimental scale of the sludge generated by the worm composting process. For its execution, the objective was to take advantage of the residual sludge generated in the EPMAPA Santo Domingo plant in the use of composting with the application of earthworms. For the execution of the project four treatments were designed and five repetitions of each one with different quantities in the mixture of components such as: ruminal content, plant remains and microorganisms, all treatments have worms. During the process of formation of vermicompost several parameters were controlled: temperature, pH, humidity aeration, among others, once the project was completed after 10 weeks of composting; the content of macronutrients and micronutrients was evaluated. The lombricompost presented improvements in the content of micronutrients, organic matter and C / N ratio due to the conditions that allowed the activity of the worms. By means of the vermicomposting a stabilization of residual mud was achieved, therefore the compost can be used as an organic fertilizer to nourish the soil and improve its characteristics.

Keywords: Wormbromposting, Residual sludge, Ruminal content, efficient microorganisms.

1. INTRODUCCIÓN

Por muchos años en todo el mundo se ha realizado estudios para la creación e innovación de tecnologías para el tratamiento de agua tanto potable como residual, sin embargo, no se ha dado la misma importancia a los lodos producidos por diferentes actividades. (Bermeo & Idrovo, 2014). Un ejemplo claro, en Estados Unidos hay una producción de lodos residuales que salen de las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) de 7,2 millones de toneladas, el 49% de material biosólido obtenido en las PTAR se debe gracias a sus sistemas de estabilización y también su reducción de volumen, este material se usa principalmente en agricultura, mejoramiento de suelos o silvicultura, 45% se confina en rellenos sanitarios o se lleva a la quema. (Pérez, 2016).

El crecimiento global de la industria ha conllevado al aumento de los desechos en todas las actividades agroindustriales dentro y fuera del país, lo cual lleva a una amenaza ambiental grave si no se encuentra una gestión y nuevas alternativas de los lodos generados de actividades industriales y de potabilización.

Una insuficiencia de cultura e información ambiental así como de irresponsabilidad por parte de las empresas luego de sus actividades, ya sea tanto en el tratamiento de aguas procedentes de actividad agroindustrial como el tratamiento de potabilización de agua para la población, resultan en una inadecuada gestión para este tipo de lodos. (Avedaño, 2015)

A nivel nacional el consumo de agua ha aumentado en los últimos años, es por eso que la necesidad de potabilizar agua es mayor, por tanto se dispone de varios centros o plantas potabilizadoras de agua en el Ecuador que son gestionadas por los municipios, sin embargo generan un volumen considerable de lodos como resultado de la actividad potabilizadora, que son emitidos y descargados en los cauces cercanos y hacia el ambiente sin un tratamiento previo, provocando desequilibrio del ecosistema. (López & Jonathan Rivas, 2013).

El tratamiento integral de lodos permite usarlos como nutrientes o como potenciador de las características del suelo por su contenido de fósforo, calcio, magnesio, zinc y nitrógeno, éste último indispensable para el desarrollo de las plantas si el objetivo es potenciar el crecimiento de hojas. El contenido de fósforo presente en los lodos favorece el crecimiento de plantas en varias etapas, mejora el sistema radicular, aumenta la captación y retención de agua haciendo fácil el trabajo agrícola. (Cathy Pérez, Viky Mujica, Gaudy Ledezma , & Mario Ortega, 2009).

El problema más grande de estos lodos es la intervención en los procesos ecológicos dentro del cauce donde se descargan, si bien son restos de material inorgánico en su mayoría, no hay que descartar que se forman varios cúmulos de fangos dentro de las zonas lentas del cauce donde se descarga. Otro problema es que afecta a los sistemas fotosintéticos de las plantas acuáticas, se plantean varias situaciones más que deben ser consideradas, y por lo tanto es de especial importancia extraer la mayor cantidad de residuos antes de ser descargados en los cauces o simplemente al alcantarillado.

¿Cuáles son los factores que presentan los lodos provenientes del tratamiento de agua potable en EPMAPA que inciden en la formación de compostaje?

La mala gestión y un pobre aprovechamiento de los residuos procedentes de las actividades de varios procesos de algunas empresas con respecto al tratamiento de aguas y sus lodos acaecen en una potencial y riesgosa contaminación ambiental. La generación de lodos en las plantas potabilizadoras hasta ahora no ha sido considerada graves problemas ambientales, pero a medida que estos se siguen acumulando en los cauces de los ríos donde se descargan ya empiezan a desarrollar un tipo de malestar en la zona. Por tal motivo es de vital importancia realizar el aprovechamiento de lodos generados en empresas, tanto del sector productivo como en plantas potabilizadoras de agua, la gestión y aprovechamiento de los lodos residuales asegura un ciclo de mejoras a la calidad ambiental de la zona de descarga de estos residuos.

En relación con el aprovechamiento de lodos en las actividades industriales y potabilizadoras, se empieza una etapa de gestión y uso de estos residuos, esto como medida para que las demás organizaciones compartan los nuevos sistemas y puedan acoplarse también a sus empresas con lo cual podrán incorporar una nueva cultura ambiental lo cual conlleva a un beneficio tanto en la organización como a los sectores sociales, en los cuales se está procediendo a implementar todos estos tratamientos. (Guitierrez, Ramírez, Rivas, Linares, & Paredes, 2014)

Hace algunos años se ha empezado a hablar en la protección y cuidado del medio ambiente, por tanto a medida que se sigue tomando este concepto de cuidado del medio ambiente. El Ministerio Ambiente Ecuador (2015), dice mediante el numeral 5.2.1.3 de los criterios generales para la descarga de efluentes del Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente de la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua que “Los sedimentos, lodos de

tratamiento de aguas residuales y otras tales como residuos del área de la construcción, cenizas, cachaza, bagazo, o cualquier tipo de desecho doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y cauces de agua estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos peligrosos o no peligrosos, de acuerdo a su composición”.

Santo Domingo de los Tsáchilas cuenta con una planta para el tratamiento de agua potable, la primera parte consiste en un sistema de captación del suministro de agua y se realiza en una sección del río Leila, en donde se ralentizan los flujos de agua para su ingreso en la planta de potabilización que se encuentra en la vía Quito km 7,5, en ésta se encuentran los procesos de floculación, coagulación, sedimentación, filtración y cloración.

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EPMAPA) es la encargada del tratamiento del agua potable en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Durante este proceso de potabilización se obtiene una cantidad de lodos residuales, que si bien es cierto no forman parte de una contaminación ambiental grave, no pueden ser descargados directamente al alcantarillado y a cuerpos de agua cercanos según la normativa nacional ambiental, por lo que pueden causar una serie de alteraciones en el entorno del lugar si se descargan.

EPMAPA SD no cuenta con el sistema de tratamiento de lodos, ya que según la organización municipal no se consideran un grave peligro ambiental, por lo que toda la cantidad de lodos generados, en especial en la época de invierno, se descargan al alcantarillado sin ningún tipo de tratamiento, denotando así el desaprovechamiento de los lodos procedentes de los procesos de sedimentación y filtración.

El interés por la gestión y aprovechamiento de los lodos es alta, por lo que en este trabajo se realizó una caracterización de los componentes de los lodos procedentes de los procesos de sedimentación y filtración de la EPMAPA SD para proponer una alternativa de estabilización de los lodos mediante lombricompostaje, con la finalidad de generar compost con la adición de lombrices con base en sus características fisicoquímicas y determinar si es apto para el aprovechamiento.

En esta investigación se procedió a determinar si en relación a sus características los lodos generados en las plantas potabilizadoras tienen la cantidad suficiente de materia orgánica y componentes para realizar un compostaje usando lombrices y bacterias. Los resultados que se obtuvo

apoyaron la idea de que es factible usar lodos para formar abonos que mejoren las características del suelo y el rendimiento en los cultivos.

El estudio del aprovechamiento de lodos de las plantas de tratamiento da como alternativa la formación de compostaje, así como la gestión de los lodos ya que se resuelve el problema de acumularlos y descárgalos sin un previo tratamiento y estabilización.

Se evita la acumulación de lodos en las zonas de flujo lento de los cauces dónde son descargados, evitando la formación de pasivos ambientales, así también se evita la intervención de lodos en procesos naturales de los cauces como puede ser la eutrofización de las aguas en un largo tiempo debido a la acumulación de materia orgánica.

La realización de la investigación no contó con ningún obstáculo, las consideraciones en cuanto a permisos y toma de muestras así como sus traslados son relativamente fáciles y manejables, no se consideró la participación de no más de 3 personas como apoyo en la fabricación del compostaje, por otra parte el monto monetario de la investigación no excedió ya que la forma de investigación es experimental.

En la presente investigación se estableció un mecanismo alternativo para el aprovechamiento y estabilización a escala experimental de los lodos generados en la planta EPMAPA Santo Domingo en la elaboración de compostaje aplicando lombrices potenciadoras de digestión de la materia orgánica presente en los lodos residuales.

1.1. MARCO TEÓRICO

Los procesos de potabilización de agua cuentan con varias etapas desde su captación en los cuales existe una generación de lodos, particularmente en las fases de sedimentación, coagulación-floculación así como el mantenimiento de filtros por medio de retrolavado. Estos lodos considerados “inocuos” se descargan libremente al ambiente, provocando con el pasar el tiempo una alteración a los procesos naturales de la zona impactada (Ruiz, 2013).

Panizza, (2009), menciona que el sulfato de aluminio es uno de los compuestos mayormente usados en las plantas potabilizadores como el factor coagulante. El agua que se capta para su potabilización entra con un cierto contenido de sólidos, de éste contenido depende la cantidad de sulfato de aluminio que se debe agregar al agua para su coagulación. La adición de sulfato de aluminio es el principal causante de la formación de los lodos en los procesos principalmente de sedimentación, coagulación-floculación y retrolavado de filtros.

1.1.1. INCINERACIÓN DE LODOS

Se realiza en un ambiente con presencia de abundante oxígeno y temperaturas elevadas. Este tipo de tratamiento para lodos es muy costoso por el alto contenido de humedad que presentan los mismos, por tanto no pueden arder por si mismos con la misma intensidad y eficacia. (Oropeza, 2006)

1.1.2. DIGESTIÓN DE LODOS

Tratamiento que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno, organismos anaerobios conjuntamente con los facultativos descomponen y destruyen la estructura de los sólidos dejando los enlaces de agua y dando paso a la presencia de oxígeno y nutrientes.

Los tratamientos anaeróbicos se manejan a temperaturas normales aproximadamente a 40 °C o entre rangos de trabajo de organismos termófilos, llegando a alcanzar valores de temperatura entre 52 y 65°C, debido a la producción de calor de los procesos bioquímicos. (Lenntech, S/A)

1.1.3. DISPOSICIÓN FINAL

El almacenamiento de sólidos como medida de estabilización en terrenos, rellenos sanitarios, botaderos improvisados, disposición en barrancos, entre otros, causa efectos negativos en el suelo, las aguas superficiales, mantos

acuíferos, flora y fauna así como al hombre ya que estos lodos no han tenido un tratamiento previo de estabilización.

Otra de las medidas de disposición final para la estabilización de lodos es el uso de los mismos en la agricultura, recuperación de espacios deforestados, producción de material de construcción, entre otros. Hoy en día es normal la incorporación de lodos en suelos de uso agrícola, ya que disminuye la adición de fertilizantes químicos, mejora la estructura del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua y reduce la pérdida de las partículas del suelo la degradación y erosión del mismo. (Oropeza, 2006)

1.1.4. COMPOSTAJE DE LODOS

El método que se ha utilizado desde siempre y el más conocido para el manejo y estabilización de materia orgánica es el compostaje. Es un medio de funcionamiento fácil, sencillo, versátil, aplicable a diferentes tipos de materiales; un sistema considerado como ecológico y económico, en relación al tipo de producto que se desea obtener. Se ha demostrado que existe el peligro de confusión o distorsión entre la facilidad del tratamiento de compostaje con descontrol o improvisación. (Panizza, 2009).

El compostaje requiere una serie de condiciones para poder trabajar que deben cuidarse y señales de alerta que se tiene que comprender; caso contrario ya no es económico ni tampoco ambientalmente aceptable. A pesar de que toda la materia orgánica se puede compostar, usualmente no se realiza el proceso de la manera más adecuada, o simplemente no se realiza con materiales convenientes para el producto final que se desea obtener. En varios eventos, cuando un tratamiento o prueba de compostaje trabajado durante cierto tiempo funciona, se toma la vía de trabajar en mayor escala (trabajar con cantidades grandes) sin tener en cuenta las condiciones ni cambiar los lineamientos de control, causando una pérdida en la calidad del compost final. (Soliva & Huerta, 2014).

Cuando se pretende formar un compost es primordial preparar el ambiente necesario para que, luego de una actividad biológica compleja, el residuo o mezcla de residuos llegue a formar un producto estable, inocuo en el uso de sus nutrientes, útil para el suelo, sobre el cuál reaccionará de manera beneficiosa. Que se logre un proceso sencillo o lo contrario, dependerá de las condiciones en las que se encuentre y a las que estará sometido el tratamiento, también el tipo de residuos, su composición, variables, sus cantidades y del tiempo y espacio que se le otorgue para obtener el producto deseado. (Soliva & Huerta, 2014).

1.1.5. COMPOSICIÓN DE LOS LODOS

Se habla poco de éstos temas ya que existen varias vías de información aplicadas a este tipo de proyectos. Solo se toma una mención rápida a ciertos parámetros que son de significancia para dar una justificación a la necesidad de compostar lodos en determinadas circunstancias.

Se presenta la composición de los varios lodos (Tabla 1) y en la Tabla 2 muestra componentes de varios estiércoles. Además el lodo muestra valores más elevados de humedad, con respecto a las condiciones de los diferentes estiércoles

Tabla 1. Contenido de algunos elementos nutritivos de varios lodos (Limón, 2013)

Componentes	Lodos primarios	Lodos digeridos	Lodos secundarios
Nitrógeno (N)	1,5-4	1,6-3	2,4- 5
Fósforo (P ₂ O ₅)	0,8-2,8	1,5-4	2,8-11
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0-1	0-3	0,5-0,7

Nota: Los elementos se midieron en kg por cada 100 kg

Tabla 2. Los componentes de varios estiércoles (Limón, 2013).

Componentes	Equinos	Bovinos	Ovinos	Porcinos
Nitrógeno (N)	6,7	3,4	8,2	4,5
Fósforo (P ₂ O ₅)	2,3	2,3	2,1	2,0
Óxido de Potasio (K ₂ O)	7,2	3,5	8,4	6,0

Nota: Los elementos se midieron en kg por cada 100 kg

1.1.6. TÉCNICAS DE COMPOSTAJE

De acuerdo con Rodriguez, (2003), existen diferentes variables como el clima, la zona de disposición del compost, el material que se desea compostar, la disponibilidad del terreno, y las condiciones del producto final que se desea obtener que hacen que existan diferentes maneras de formación de compost y un sin número de procesos relacionados a la formación de materiales de compostaje. La técnica más conveniente al momento de la producción del compost es netamente decisión del productor. Es por ello que éstas técnicas de compostaje se dividen en sistemas abiertos y cerrados.

1.1.7. SISTEMAS ABIERTOS

1.1.7.1. Pilas estáticas con aireación pasiva

Conocido por su facilidad, es uno de los sistemas más comunes. Consta de la formación de pilas con poca altura y ausencia de movimiento. Aireación natural con el aire circundante a la zona de compostaje.

Hay la probabilidad de que se forme anaerobiosis en algunas zonas de la cama, produciendo gases fétidos, putrefacción, y contenidos acuosos (lixiviados) no deseables. Por tanto es primordial tener una buena mezcla de materiales en la composición inicial, que ayude a la pila a tener una buena estabilidad durante las fases del compostaje. (Sánchez, 2007)

1.1.7.2. Pilas estáticas con aireación forzada

Sánchez, (2007), plantea que un mayor control de la concentración de oxígeno es lo que otorgan este tipo de sistemas, pudiendo mantener la concentración entre 15 a 20% para ayudar a la acción aeróbica de los microorganismos presentes en estos procesos. La adición de oxígeno puede tener diferentes vías, succión o insuflado y sistemas que incorporan las dos maneras. La incorporación de oxígeno puede hacerse de forma permanente o en intervalos ligados a sistemas de control de temperatura con estos sistemas se asegura una circulación de aire en toda la pila obteniendo un mejor control del proceso de descomposición.

1.1.7.3. Pilas con volteo

Considerada sencilla y económica, dicha técnica tiene como fundamento el movimiento de la mezcla de materiales para su homogenización, tanto de los materiales como de temperatura, con el fin de reducir la temperatura, mantener un control de humedad y elevar la cantidad de poros para que haya una mejor aireación. La temperatura luego del volteo baja en relación de 5 a 10 °C, elevando nuevamente si el proceso no ha concluido. (Oropeza, 2006)

El tiempo de volteo y su frecuencia depende de la mezcla de materiales, y del tiempo que dispongamos para obtener el producto final, siendo lo más común voltear las pilas cada 6 -10 días. Es normal que el movimiento de las pilas se lo haga simplemente con una minicargadora, elevando y soltando el material y reconstruyendo nuevamente la pila.

1.1.8. SISTEMAS CERRADOS

Estos tratamientos, conceden un mejor control de diferentes variables del proceso en casi todos los casos y la posibilidad de generar un proceso permanente. Se llevan a cabo en digestores también se los puede llamar reactores cerrados, el problema con estos sistemas es el coste elevado de la instalación del tratamiento. (Sánchez, 2007).

1.1.9. LOMBRICOMPOSTAJE

El lombricompostaje, las lombrices tienen el trabajo fisiológico de descomposición de los materiales a compostar por medio de su digestión, sin quitar el trabajo realizado por los microorganismos. De tal forma que la materia orgánica contenida en el residuo de lodo es dividida, fragmentada, descompuesta y estabilizada. Pastorelly, (2001) habla de que la lombriz, mantiene a neutro valores de pH, ayuda a la aireación del sustrato y facilita la proliferación de una gran cantidad de microorganismos.

Las características de diferentes tipos de compost como lo es el lombricompostaje y el compost normal se los presenta en la Tabla 3. Aunque muestran diferencias entre los tipos de compost se pueden considerar sustratos más estabilizados que los lodos y por consiguiente tendrán un distinto desarrollo en los suelos y unas posibles y diversificadas aplicaciones. (Sánchez, 2007)

La aplicación de lodos con una alta carga de materia orgánica, poco estable, tendrá una incidencia en el crecimiento de los vegetales, sin embargo no tendrá un efecto duradero en las condiciones del suelo y, podría ocasionar altos contenidos de nitrógeno y fósforo elevados. Contenidos altos de nitrógeno amoniacal o fácilmente degradable favorecerá descensos por amoniacos.

Tabla 3. Composición en nutrientes del lombricompost y el compost Normal

Nutrientes	Unidad	Lombri-compost	Compost Convencional
Nitrógeno	%	1,9	1,4
C/N	-	13,6	20,6
Fósforo (P)	%	2	1,8
Potasio (K)	%	0,8	0,7
Zinc (Zn)	ppm	100	80
Cobre (Cu)	ppm	48	40
Manganeso (Mn)	ppm	500	260

Fuentes: Practical on vermicompost, DR. D. k. SHA

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Aprovechar el lodo residual generado en la planta de EPMAPA Santo Domingo en la utilización de un compostaje con la aplicación de lombrices.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización fisicoquímica de los lodos residuales.
- Elaborar compost con la aplicación de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y microorganismos autóctonos como potenciadores de su digestión y maduración.
- Realizar una caracterización del compost final, identificando el contenido de macronutrientes y micronutrientes

2. METODOLOGÍA

En el presente estudio se tomó como metodología la toma de muestras y la caracterización de los lodos, así como el análisis de sus componentes fisicoquímicos para ver en qué condición se encuentran los lodos procedentes de los procesos de potabilización, se determinó el tipo de lombriz y captura de organismos para la digestión del lodos dependiendo de los resultados de las características químicas, se evaluó parámetros del compost como temperatura, humedad, pH y contenido de materia orgánica.

2.1. LOCALIZACIÓN

Este trabajo se realizó en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas que se encuentra ubicada en la región costa a una altitud aproximada de 625 msnm, acorde a la clasificación de Holdridge (Sistema de Clasificación Ecológica de las Zonas de Vida) cuenta con un alto porcentaje de humedad más del 88% por lo tanto es considerado un clima lluvioso tropical, el promedio de temperatura de la provincia es de 22.9 °C. Con un rango de 16°C a 28°C. La provincia posee una gran cantidad de ríos y vertientes que ayudan al abastecimiento de agua para las zonas urbanas y rurales de la provincia los cuales mantienen su caudal a lo largo del año ya que las precipitaciones en la provincia van entre 2 280 mm a 3 266 mm.

La captación de los lodos tuvo lugar en la planta de tratamiento de agua potable Santo Domingo ubicada en el km 7.5 vía a Quito margen derecho. Posteriormente la elaboración de compost para la estabilización de lodos se llevó a cabo en la Universidad Tecnológica Equinoccial ubicada en la Vía Chone, Km 4 ½ y calle Italia, se localiza en las coordenadas: Latitud-0.233055; Longitud-79.206527 con suelo de origen volcánico específicamente en el invernadero de la universidad.

2.2. DISEÑO DE LA TECNOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se tomó primeramente muestras compuestas de los lodos que se generan en la planta potabilizadora de agua. Esta acción tuvo lugar al momento de la actividad de los tres procesos de donde se va a extraer los lodos como es la floculación-coagulación, sedimentación y retrolavado de filtros. La toma de muestra se realizó con ayuda de un recipiente de 0,02 m³ con lodos provenientes de la cámara de sedimentadores de la planta potabilizadora.

Una vez que obtenidas las muestras se procedió al desarrollo de los análisis de laboratorio para obtener los resultados.

Los parámetros fisicoquímicos que se analizaron fueron los siguientes: humedad, pH, conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, macronutrientes: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y micronutrientes: Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Cobre (Cu) (Tabla 8).

2.2.1. CAPTURA DE MICROORGANISMOS EFICIENTES

Para la preparación de las trampas se puso a cocción una porción de arroz aproximadamente 3 oz por trampa, el arroz debe contener un exceso de agua y no tener ningún aditivo como sal o aceite esto con la finalidad de que el sustrato se asemeje a las condiciones alimenticias para los microorganismos. Cada trampa está formada con una tarrina plástica, el sustrato alimenticio (arroz), una gasa para la cubierta y una liga de caucho usada como sujeción de la trampa.

De acuerdo con Nieto, (2013), el armado de las trampas también se puede realizar mediante cultivos estériles de sustancia alimenticia para microorganismos, en sustitución del arroz, no obstante este método se realiza con un cuidado mayor teniendo en cuenta que las trampas se transportan y se almacenan en recipientes estériles para mantener el cuidado del cultivo.

2.2.2. COLOCACIÓN DE TRAMPAS

Para el trampeo de microorganismos, según Falconí, (2013), se sugiere un número aproximado de 20 trampas por hectárea de bosque, la dispersión de trampas va en relación al tipo de bosque en la que se realiza la captura. En este proyecto se hicieron 4 trampas ubicadas en la zona boscosa de la Universidad Tecnológica Equinoccial, se procedió a colocarlas en el suelo a pocos centímetros de la zona radicular de varias especies encontradas esto con la finalidad de que la trampa se asemeje a las condiciones naturales de zona para que los microorganismos tengan un medio en el cual desarrollarse.

Se hizo una depresión o excavación en la zona de la rizósfera a unos 15 o 20 cm de profundidad en promedio, se coloca el sustrato alimenticio ya sellado con la gasa teniendo en cuenta que exista un contacto de la gasa y la cubierta o parte del suelo excavado adicional se cubre totalmente la trampa con materia orgánica de la misma zona (Figura 1). Se realizó el monitoreo visual de las trampas cada 5 días hasta los 15 a 20 días.



Figura 1. Colocación de trampas para microorganismos

2.2.3. ACTIVACIÓN DE MICROORGANISMOS

Dentro de las características de los microorganismos capturados, se encuentran un sin número de especies mayoritariamente bacterias fototrópicas, hongos, bacterias ácido lácticas, levaduras, actinomicetos (Figura 2); microorganismos acoplados a las actividades del ser humano, ya que han sido utilizadas en la preparación de alimentos así como en aplicaciones médicas. (Valderrama, 2013).



Figura 2. Microorganismos capturados en el sustrato alimenticio

Para la multiplicación de los microorganismos se necesitó un medio de cultivo formado por sustrato alimenticio en este caso se usó una mezcla de agua y melaza. Las trampas de microorganismos se recogieron a los 15 días de su instalación. La melaza se disolvió en un galón de 20 litros a razón de 4 litros de agua y 1 de melaza hasta completar el volumen del galón (Figura 3). Una vez realizada la mezcla del medio de cultivo las trampas deben añadirse al sustrato agua-melaza.



Figura 3. Activación del medio de cultivo de microorganismos eficientes capturados

Se estableció un tiempo de activación y multiplicación de organismos benéficos. En la Tabla 4 se muestra la presencia de diferentes organismos en relación al tiempo de cultivo.

Tabla 4. Presencia de microorganismos en relación a los días de activación

Días de activación	Presencia de microorganismos	Preferencia de uso
5 a 9 días	+Hongos benéficos	Follaje y suelo
10 a 14 días	+Bacterias benéficas-hongos	Suelo
15 a 20 días	Predominan levaduras	Abonos orgánicos y suelo

Fuente: Innovaciones agroecológicas para una producción agropecuaria sostenible. 2011.

2.2.4. MATERIALES PARA EL COMPOST

Para la formación del vermicompostaje los lodos fueron extraídos de la planta de potabilización dentro de los procesos de sedimentación y retrolavado de filtros y fueron recolectados en recipientes de plástico para su posterior secado reduciendo el contenido de humedad de los mismos hasta un 90%.

Los lodos tienen una composición y unas características físicas poco adecuadas para el compostaje por su bajo contenido de material orgánico y porque su origen principalmente es mineral y químico.

Debido a estas condiciones los lodos se mezclaron con restos de materia orgánica verde proveniente de la estación de vegetales del Mercado Municipal de Santo Domingo, principalmente hortalizas y hojarasca de leguminosas (fréjol, haba, arveja).

2.2.4.1. Material aportante de Nitrógeno y Relación C/N

El material aportador de nitrógeno a la mezcla fue estiércol vacuno principalmente contenido ruminal (Figura 4). Este material se lo obtuvo del proceso de faenamiento de bovinos de un matadero privado con esto se espera un enriquecimiento del compost.



Figura 4. Contenido Ruminal extraído de un matadero privado

Materiales de origen vegetal, muestran una relación C/N mayor, en contra a los materiales de origen animal cuya relación es relativamente baja (Tabla 5). Al momento de realizar un compostaje de estos residuos se tiene en cuenta preparar una mezcla con diferentes materiales cuyo objetivo es lograr una relación C/N adecuada.

Una relación C/N ideal asegura que el material que se descompone muestre valores estables y disponibles de estos elementos por tanto una alta relación produce en la pila valores elevados de temperatura, en el caso contrario una relación C/N baja produce una baja de temperatura en el proceso presencia de olor desagradable a amoníaco (Díaz, 2001). En la Tabla 5 se muestra la relación carbono nitrógeno de algunos residuos (Base seca). (Sandoval, 2003).

Tabla 5. Relación carbono nitrógeno de algunos residuos (Base Seca)

Materiales	C%	N%	C/N
Aserrines	40	0,1	400
Podas, Tallos	45	0,3	150
Paja de caña	40	0,5	80
Hojas de árboles	40	1	40
Estiércol de equino	15	0,5	30
Estiércol ovino	16	0,8	20
Heno	40	2	20
Estiércol bovino	7	0,5	15
Estiércol Porcino	8	0,7	12
Estiércol de gallina	15	1,5	10

Materiales de origen vegetal, muestran una relación C/N mayor, en contra a los materiales de origen animal cuya relación es relativamente baja (Tabla 5). Al momento de realizar un compostaje de estos residuos se tiene en cuenta preparar una mezcla con diferentes materiales cuyo objetivo es lograr una relación C/N adecuada. Una relación C/N ideal asegura que el material que se descompone muestre valores estables y disponibles de estos elementos por tanto una alta relación produce en la pila valores elevados de temperatura, en el caso contrario una relación C/N baja produce una baja de temperatura en el proceso presencia de olor desagradable a amoníaco (Díaz, 2001).

2.2.4.2. La Lombriz

A las mezclas de lodo seco (crudo) se adicionaron una cantidad de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) (Tabla 6). Se escogió la lombriz roja californiana por las siguientes características: es una especie extraordinaria al momento de degradar material orgánico poseedora de 5 corazones y 6 riñones presentados (Figura 5), tiene una alta estabilidad sobre condiciones desfavorables, se desarrollan en ambientes húmedos, alta capacidad de reproducción.

Taxonomía de la lombriz (*Eisenia Foetida*).

Reino: Animal
 Phylum: Annelida
 Clase: Oligoqueta
 Familia: Lombricidae
 Género: Lombricus, Eisenia
 Especie: *Terrestris, Foetida*
 Nombre Común: Lombriz Roja Californiana

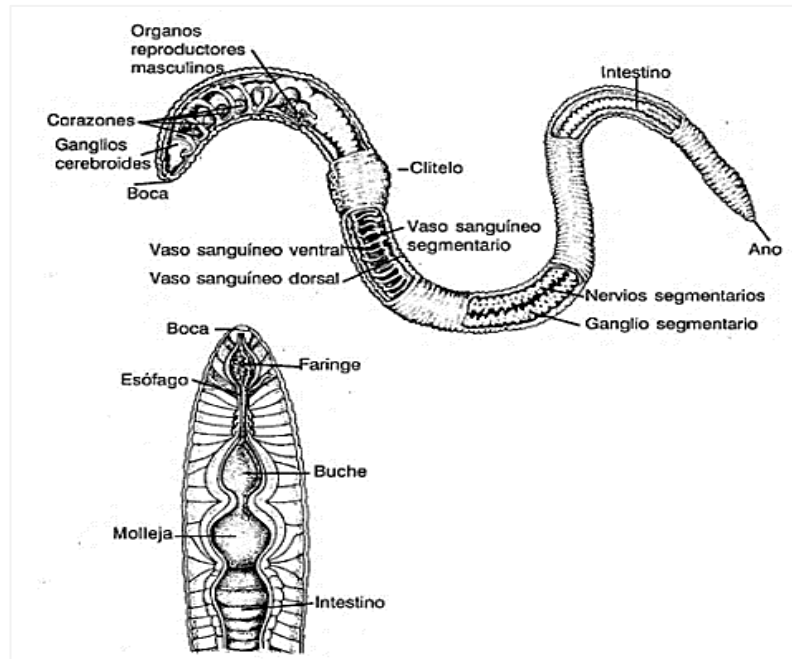


Figura 5. Morfología de la lombriz *Eisenia foetida*

2.2.5. MONTAJE DE PILAS

Para el desarrollo de este trabajo se tomó la decisión de formar con los desechos de lodo la cantidad de lodo en 4 camas, cada una con una dosificación diferente de enriquecimiento y la incorporación de microorganismos autóctonos para establecer una comparativa dichos tratamientos quedaron de la siguiente manera.

La primera cama (C1) contuvo 10 kg de lodo crudo el cual solamente se enriqueció con 10 Kg de estiércol, la segunda cama (C2) tuvo una combinación de 10 Kg de lodo y 10 Kg de residuos vegetales (Rv) y 10 Kg de estiércol vacuno (Contenido ruminal). La tercera (C3) tuvo una combinación de 10 Kg lodo, 10 Kg de restos vegetales (Rv) y 10 Kg de estiércol, sin embargo a esta cama se le incorporarán 2 litros de microorganismos activados, la cuarta cama (C4) tuvo la combinación de la cama 3 con la diferencia de que a este tratamiento se le añadió 4 litros de microorganismos a las 4 camas se le incorporaron lombrices *Eisenia foetida*. El diseño de los tratamientos descritos se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Diseño de tratamientos de lombricompostaje

Tratamiento	Lombrices (kg)	Lodo crudo (Kg)	Residuos vegetales (kg)	Estiércol (kg)	Microorganismos (L)
T1 (Lodo Crudo)	1	10	0	10	0
T2 (Lodo Crudo + <i>Eisenia Foetida</i> + Rv+ Éstiércol)	1	10	10	10	0
T3(Lodo Crudo + <i>Eisenia foetida</i> + Estiércol Microorganismos Activados en melaza)	1	10	10	10	2
T4 (Lodo Crudo+ <i>Eisenia foetida</i> +Etiércol+ Rv+Microorganismos Activados en melaza)	1	10	10	10	4

La elaboración del lombricompost se hizo mediante la técnica de montón de pila con volteo. Las camas donde se formó el lombricompost fueron diseñadas con una base y aberturas en la parte inferior para mejorar la aireación natural del compost, tuvieron un máximo de 0.5 metros de altura con un ancho de un metro y la mayor distancia que se pudo disponer para el largo de la cama de compost (Figura 6).



Figura 6. Formación de las pilas por medio de la técnica de montón

Para la realización del trabajo se armaron cinco repeticiones diferenciadas con la misma dosificación de cada uno de los tratamientos para tener una comparación del comportamiento de las variables analizadas a lo largo del proyecto como: temperatura, humedad y pH del trabajo. Permanecieron bajo un techo y una base de aserrín que absorberá el agua que se lixivia por la pérdida de humedad del lodo.

2.2.6. ADICIÓN DE LOMBRICES

La especie utilizada para este proyecto fue:

- Nombre científico: *Eisenia Foetida*
- Nombre común: Lombriz roja californiana.

De esta especie se hizo una adquisición de lombrices de un centro de lombricultura de la ciudad de Quito. Se añadieron las lombrices más rojas y más largas ya que esta condición demuestra que son lombrices jóvenes y que darán mejores resultados al momento de la descomposición de la materia orgánica del compost. (Figura 7).



Figura 7. Adición de lombrices de la especie *Eisenia Foetida*

2.3. PARÁMETROS ANALIZADOS

Los parámetros analizados de la formación del vermicompost fueron de la siguiente forma, una medición de pH con una frecuencia de 1 muestra a la semana, el control de temperatura con frecuencia de 2 veces por semana, la oxigenación y volteo de las pilas fueron en relación a la temperatura aproximadamente una vez por semana.

2.3.1. CONTROL DE TEMPERATURA

En favor al control de temperatura, tenemos en cuenta que temperaturas que sobrepasen los 26 °C, se debe realizar un volteo de las pilas para la liberación de calor en el tratamiento. En caso contrario, en temperaturas bajas (menos de 22° C) la pila debe cubrirse con sustrato para evitar el frío del exterior y, de ser necesario humedecer la pila.

2.3.2. OXIGENACIÓN Y VOLTEO

La actividad de oxigenar el tratamiento es primordial para el establecimiento del compost, ya que mediante la adición de oxígeno la actividad microbiana que interviene en proceso puede continuar sin problemas. La oxigenación de este trabajo se lo hizo manualmente, para cada una de las repeticiones con una pala metálica. (Figura 8).



Figura 8. Oxigenación de las pilas de lombricompost

2.3.3. RIEGO

Con recipiente o manguera se puede realizar el riego de forma directa en las pilas, siempre que se tenga la necesidad de adicionar humedad a los tratamientos ya que se debe mantener una humedad aproximada de 50%. Los riegos se lo hicieron en relación a la frecuencia de volteo una vez a la semana o cada 15 días. Se los realizó por medio de mangueras o canecas, para cada una de las repeticiones. (Figura 9).



Figura 9. Riego de las repeticiones de Compost

2.4. PRUEBAS TÉCNICAS

2.4.1. ANÁLISIS DE LOMBRICOMPOST

Una vez con concluido el proceso y de tener como resultado un lombricompost o en su caso vermicompost, el abono resultante de la estabilización realizada en el proyecto, se recolectó una muestra por repetición de cada uno de los cuatro tratamientos y fueron llevados al laboratorio para el análisis químico Posteriormente se comparó con los datos del lodo Crudo. Los datos de temperatura se los interpretaron con la tabla de niveles críticos para la interpretación para el análisis químico de suelos costa y de la sierra del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), y con el estudio de la Universidad de El Salvador, Evaluación Física-Química y Microbiológica de cuatro niveles lodos ordinarios en la elaboración de compost.

Todas las muestras de compost fueron analizadas en el laboratorio de la universidad y se lo hizo en base al análisis de:

- **pH:** Medido con potenciómetro marca Mettler Toledo.
- **Macronutrientes:** Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg).
- **Micronutrientes:** Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), elementos micronutrientes realizados por método de extracto de abono, usando 25 ml solución alcalina (Olsen pH de 8.5) y 2.5 g de muestra de abono. Posteriormente se usó el método de absorción atómica.

El contenido de material orgánico y la relación carbono nitrógeno expresada como porcentaje de materia orgánica por el método químico de Wakley & Black. Tal método consta en una digestión de material y su respectiva titulación cuya idea es la oxidación de 0.1 g de muestra más 5 ml dicromato de potasio 1N y 5 ml de ácido sulfúrico concentrado.

2.5. ANÁLISIS ECONÓMICO

El costo de realización de este proyecto tiene un valor de \$428,00 que incluye los rubros por adquisición de insumos, construcción y mantenimiento de las camas de compost y análisis en laboratorio. Los valores se detallan en la Tabla 7 a continuación.

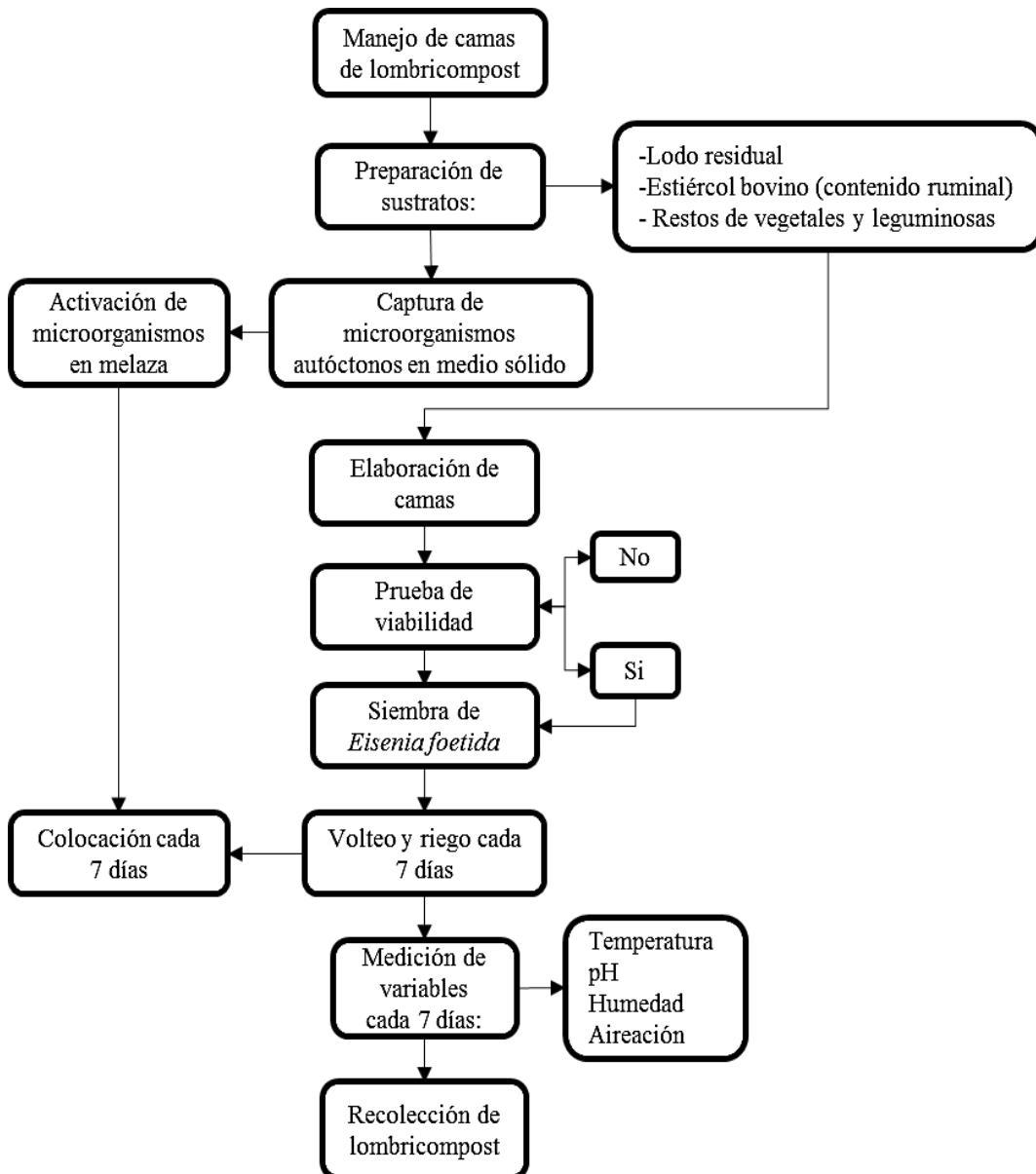
Tabla 7. Análisis económico del Proyecto de Lombricompostaje

	Unidad	Cantidad	Costo Uni- tario	Costo Total
Insumos				
Pie de cría (lombrices)	Kg	20	\$ 2,50	\$ 50,00
Estiércol bovino	Saco (50 Kg)	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Residuos vegetales	kg	30	\$ 1,00	\$ 30,00
Melaza	L	20	\$ 0,40	\$ 8,00
Arroz	lb	2	\$ 0,50	\$ 1,00
Tarrina		4	\$ 0,15	\$ 0,60
Malla		1	\$ 2,40	\$ 2,40
Balde con medida (4Kg)		1	\$ 3,00	\$ 3,00
Regadera (4 L)		1	\$ 3,00	\$ 3,00
Rastrillo		1	\$ 5,00	\$ 5,00
Pala		1	\$ 15,00	\$ 15,00
Carretilla		1	\$ 55,00	\$ 55,00
Mano de obra				
Transporte de lodo	Flete	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Construcción de pilas	Jornal	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Mantenimiento de pilas	Jornal	8	\$ 15,00	\$ 120,00
Análisis				
Laboratorio		21	\$ 5,00	\$ 105,00
	Total			\$ 428,00

2.6. MANUAL DEL USUARIO

El manejo de lombricompost generalmente se lo desarrolla en lechos de madera y en el mejor de los casos una construcción de cemento con una cubierta, en este proyecto se usó simplemente una separación de madera dentro de la construcción de producción de lombrices.

De igual forma es recomendable mantener un acceso adecuado en las pilas o lechos de lombricompost a fin de mantener un control de las variables de medición y en el caso de grandes cantidades será necesario la entrada de maquinaria de volteo. Si es posible se debe instalar un sistema de riego que facilite la disponibilidad de agua para el proceso de compostaje.



3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de la recolección del lodo inicial para su estabilización, las muestras de lodo se llevaron al laboratorio de la Universidad Tecnológica Equinoccial, previamente rotuladas para la realización de los análisis de macronutrientes: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y micronutrientes: Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu).

3.1. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS

3.1.1. MEDICIÓN DE PH

El potencial de hidrógeno del proceso de compostaje tiende a sufrir cambios, esto debido a la formación de nuevos compuestos, reacciones químicas y una parte fundamental es la actividad microbiana que descompone el material presente provocando estos aumentos y descensos del pH. No obstante, a medida que el proceso de compostaje avanza el pH aumentará ocasionado por la desintegración y formación de compuestos de origen ácido y a la disponibilidad de minerales nitrogenados en su forma amoniacal. (Tortosa, 2013).

Los valores de pH fueron analizados una sola vez al inicio y al final del proyecto como medida para saber en qué condiciones de acidez se presentaba el lodo crudo. Estos valores lo podemos encontrar en la Tabla 8. El resultado final en cuanto al pH obtenido del proyecto lo podemos ver en la Tabla 12.

3.1.2. RESULTADOS DEL LODO CRUDO

Las características del sedimento o lodo de las plantas potabilizadoras dependen del origen y del material sedimentado en las plantas potabilizadoras por acción de químicos coagulantes, así también el tiempo de retención de dichos lodos por un varios meses incluso años hacen que su composición física y quica cambie. (Gutierrez, Ramírez, Rivas, & Paredes, 2014). Los resultados del análisis químico del lodo inicial son presentados en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados Análisis Fisicoquímico de lodo crudo

Parámetros	Unidad	Lodo Crudo
pH		5,74
Materia Orgánica	%	3,39
Relación C/N		7,08
Macronutrientes		
Nitrógeno Base Seca	%	0.27
Fósforo	%	0.13
Potasio	%	0,27
Magnesio	%	1
Calcio	%	5,60
Micronutrientes		
Hierro	ppm	77,00
Cobre	ppm	14,60
Zinc	ppm	2,10
Manganeso	ppm	10,60
Boro	ppm	0,00
Relaciones		
Fe/Mn		7,26
Ca/Mg		7,00
Ca/K		20,74
Mg/K		2,96
Ca+Mg/K		23,70

Se puede resaltar que al inicio del proyecto se obtuvo un pH de 5,74 detallado como medianamente ácido, esto comparado con la Tabla 9 de Niveles críticos para la interpretación del análisis químico de suelos en la región costa y sierra del Ecuador del Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias (INIAP).

Los valores de Materia orgánica expresada en porcentaje de 3.39 % de acuerdo con el Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIAP (2012), detalla el valor de Materia orgánica ideal en suelos con un valor entre 4 y 5 % de material orgánico.

El contenido de nitrógeno es 0.27 % (bajo), podría decirse escaso ya que según el estudio de Universidad de El Salvador “Evaluación Física-Química y Microbiológica de cuatro niveles lodos ordinarios en la elaboración de compost” que detalla un valor de 3.1 % de nitrógeno. El contenido de macronutrientes tales como potasio y fósforo presentan valores bajos de 0.34 y 0.1

% respectivamente, comparados nuevamente con el estudio de la Universidad del Salvador tenemos que valores de potasio de 0.6 % y el valor de fósforo presentado es de 2.3 %.

Uno de los datos de micronutrientes que mayor valor presenta es el hierro con 77,0 ppm es un valor alto de acuerdo con las especificaciones de suelo del INIAP que detalla valores óptimos de hierro entre 20 y 40 partes por millón (ppm), valores zinc y manganeso con 2.1 y 10.6 ppm respectivamente están dentro de los valores estándar para suelos.

La elevada relación calcio/magnesio 7 demuestra una deficiencia de Mg, ya que si es mayor a 5 hay deficiencia de magnesio y si es el caso contrario menor a 2.1 hay deficiencia de calcio, pero se ha demostrado que el Mg siempre ha sido un elemento deficitario en el suelo y lodos. (Kali Ks, 2012).

Tabla 9. Niveles críticos para la interpretación del análisis químico de suelos en la región costa y sierra del Ecuador del Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias (INIAP)

Re- gión Costa	Muy Áci- do	Áci- do	Me- dian. Ácido	Lige- ram. Ácido	Neu- tro	Lige- ram. Alca- lino	Me- dian. Alca- lino	Alca- lino
pH	0,0-5	5-5,5	5,5-6	6-6,5	6,5-7	7,5-8	8-8,5	>8,5
Siglas	Al Ac	Ac	Me Ac	L Ac	PN	L AL	Me Al	Al

3.1.3. TEMPERATURA

En la toma de temperatura del trabajo realizado se hizo dos veces por semana de los tratamientos con sus respectivas repeticiones obteniendo un dato promedio, no obstante las tres primeras semanas tienen un valor total de temperatura de cada tratamiento como se indica en la Tabla 10. Datos de temperatura del compost a partir de la semana 4 se lleva el control de temperatura de los tratamientos con sus repeticiones, detalladas en la Tabla 11.

Tabla 10. Datos de temperatura del compost primeras semanas

Semana	Fecha	Temperatura (°C)				Promedio
		Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	
1	27/12/2017	30,6	30,3	32,8	32,3	33,2
2	03/01/2018	32,6	30,7	35,9	34,6	34,5
3	10/01/2018	32,4	31,6	36,8	37,1	34,9

Las tres primeras semanas se obtuvo solamente un dato por tratamiento, esto como medida para la homogenización del proceso en sus primeros días de formación. Los tratamientos tres y cuatro presentan un incremento mayor de temperatura en relación a los tratamientos uno y dos, según la (Figura 10).

El valor más alto a las tres semanas lo posee el tratamiento 4 con un valor de 37,1 °C, cabe mencionar que los tratamientos tres y cuatro fueron a los que se les incorporó microorganismos eficientes.

Los valores más bajos presentó el tratamiento uno, el cual solo estaba compuesto de lodo crudo y estiércol, por lo que se puede notar lentitud en el aumento de temperatura.

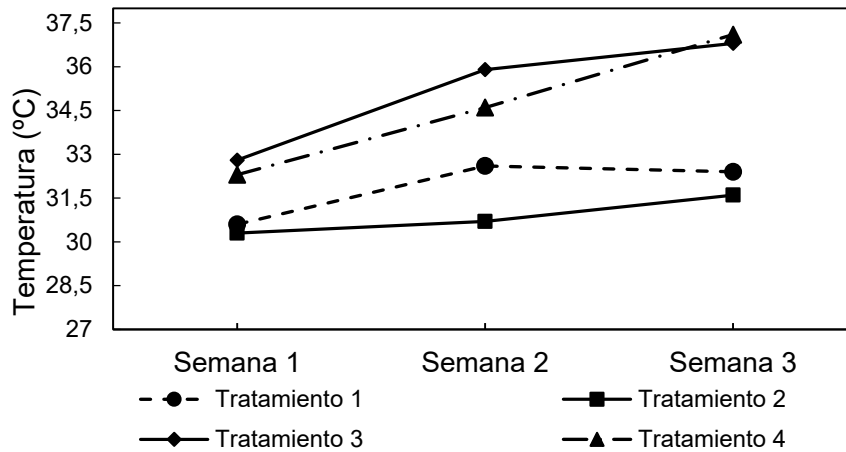


Figura 10. Valores de Temperatura en las 3 primeras semanas de formación del compost

3.2. CONTROL DE TEMPERATURA

Dentro de los datos de temperatura del proyecto se tuvo en cuenta que en la mayoría de procesos de compostaje existe una tendencia a mostrar 4 fases diferenciadas como: fase mesófila I, termófila, mesófila II y fase de maduración.

En este proyecto se presentaron en las Tablas 10 y 11 los valores de temperatura de las 10 semanas de proyecto con un valor final del promedio por repetición experimental. En la Tabla 11 se muestran los valores de temperatura para todas las repeticiones en todo lo que resta del proyecto.

Tabla 11. Control de Temperatura

	Temperatura (°C)							Pro- medio
	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	
Repeti- ciones	17/01/ 2018	24/01/ 2018	31/01/ 2018	07/02/ 2018	14/02/ 2018	21/02/ 2018	28/02/ 2018	
Cont. Tabla 11.								
Tratamiento 1								
R1	33,9	40,0	34,5	38,5	38,3	34,4	28,6	35,5
R2	31,9	40,6	39,1	36,8	34,4	30,4	26,7	34,3
R3	33,5	39,2	37,0	34,1	30,0	29,4	28,1	33,0
R4	34,1	39,7	38,9	39,7	31,1	28,9	26,8	34,2
R5	31,5	39,6	38,0	35,9	31,4	29,8	27,7	33,4
Tratamiento 2								
R1	32,7	31,7	38,5	40,8	33,7	33,7	28,2	34,2
R2	32,9	32,3	37,9	41,0	34,0	30,3	26,3	33,5
R3	32,2	31,7	37,3	39,4	31,0	29,8	26,8	32,6
R4	32,1	32,8	38,3	39,9	30,1	28,4	26,6	32,6
R5	32,8	33,2	38,6	40,0	30,8	29,2	26,9	33,1
Tratamiento 3								
R1	36,9	39,5	42,0	37,8	34,8	32,5	29,7	36,2
R2	36,5	40,0	45,1	37,5	34,4	32,0	29,6	36,4
R3	37,4	38,9	45,3	38,0	30,0	29,0	28,5	35,3
R4	34,8	39,7	42,7	40,1	31,1	30,2	29,7	35,5
R5	35,7	38,1	44,1	39,2	31,4	29,8	28,1	35,2
Tratamiento 4								
R1	41,6	45,0	39,0	39,2	35,0	28,0	27,7	30,8
R2	41,9	44,1	40,0	39,1	34,6	29,3	26,7	36,5
R3	42,1	45,9	40,8	39,5	31,3	29,5	27,3	36,6
R4	41,8	44,3	41,8	40,1	29,7	28,4	26,2	36,0
R5	41,7	45,6	38,9	39,3	30,1	29,5	26,3	35,9

El parámetro de temperatura posee un amplio rango de variabilidad en relación de la fase en que se ubica el proceso de compostaje (Figura 11).

El desarrollo de un compost empieza a temperatura ambiente y paulatinamente puede alcanzar valores que rodean los 65 y 70°C sin ayuda de ninguna actividad externa, para descender otra vez a la fase mesófila II y de maduración a temperatura ambiente.

Es recomendable que no descienda demasiado rápido la temperatura, porque más temperatura y un tiempo, más alta es la velocidad de degradación y mayor higienización. (FAO, 2013).

Temperatura (°C)	Causas asociadas		Soluciones
Bajas temperaturas (T° ambiente < 35°C)	Humedad insuficiente.	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros)
	Material Insuficiente.	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.	Añadir más material a la pila de compostaje.
	Déficit de nitrógeno o baja C:N.	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura más de una semana.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.
Altas temperaturas (T ambiente > 70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofílicos y facilitar la terminación del proceso.	Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso.

Figura 11. Parámetros de temperatura óptimos según Manual de Compostaje FAO

Las variaciones totales de los cuatro tratamientos del proyecto en cuanto a la temperatura se muestran en la (Figura 12).

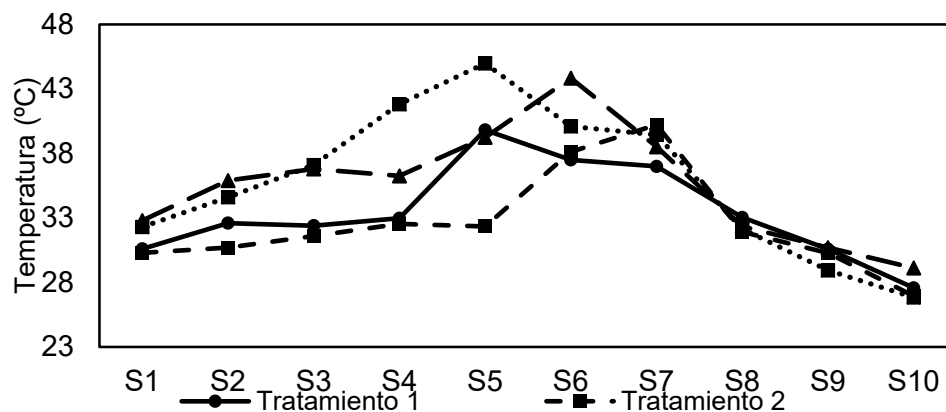


Figura 12. Variaciones de Temperatura de los tratamientos de lombricompostaje

3.2.1. TRATAMIENTO 1

En los valores de temperatura se puede identificar que la mayor temperatura para el tratamiento 1 se obtuvo a la quinta semana, quiere decir que alcanzó la fase termófila, sin embargo se presenta un descenso de la temperatura a la semana seis, nuevamente aumenta la temperatura en la siguiente semana, se toma en cuenta que por efectos de volteo la temperatura vuelve a elevarse, es por esto que se dan dichas variaciones.

Normalmente a partir de la semana siete empieza a descender la temperatura, con lo que notamos que el compost se encuentra en la fase mesófila II y pues al final de la semana 10 se detalla la fase de maduración.

3.2.2. TRATAMIENTO 2

En el caso del tratamiento dos el máximo de temperatura lo alcanza en la semana 7, obteniendo valores de 40.8°C (Tabla 11) denotando la fase termófila. En este tratamiento se muestra una tendencia a bajar su temperatura luego de la octava semana.

3.2.3. TRATAMIENTO 3

Nuevamente se presenta que en la semana 6 llega a su máximo de temperatura la repetición experimental 3 con un valor de 45.3°C, en este tratamiento la semana 8, 9 y 10 presentan una estabilidad en cuanto a la temperatura ya que rodean valor de que van desde los 32 a los 28 °C ubicando al compost en la fase mesófila II y naturalmente en su etapa final de maduración.

3.2.4. TRATAMIENTO 4

El tratamiento 4 es el que primero alcanzó la fase de higienización o termófila ubicándola entre la semana 4 y 5 alcanzando valores máximos de temperatura de 45 y 46°C. Pero además es el tratamiento en donde hubo la menor temperatura en relación a los otros tratamientos ya que en las siguientes semanas este tratamiento bajo drásticamente su temperatura hasta la semana 10 con valores de 24 °C, mientras que los tratamientos 1,2 y 3 muestran un lento descenso de temperatura hasta llegar a la semana 10.

RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS DEL LOMBRICOMPOST

En los resultados del análisis del lombricompost se pueden diferenciar variantes en los valores obtenidos (Tabla 12), todos los valores de cada una de las repeticiones contienen un promedio para poder tener un dato del tratamiento general, por tanto se tiene que valores de pH en todos los tratamientos no presenta mayor variación, ya que de acuerdo con Geller (2008), el pH óptimo de un lombricompost consta de un rango de 6.8 a 7.8, el valor máximo de 7.31 le pertenece al tratamiento 4.

Al tener los valores de nitrógeno del análisis se observa que el tratamiento 2 cuenta con el porcentaje más alto de nitrógeno 1,98%, en comparación con los demás tratamientos. Se puede decir que no existe cierta variación significativa, pero el valor más bajo le corresponde al tratamiento 4, esta disminución pudo darse por el rápido descenso de temperatura (Fig.4), lo que significa una pérdida de nitrógeno. El contenido de fósforo tenemos que los tratamientos 2 y 3 muestran valores más altos 1.81% y 6.84%, respectivamente.

En el caso del calcio el tratamiento 4 tiene el valor más alto que los demás tratamientos. El otro macroelemento presente es el potasio, en este caso se muestra un porcentaje mayor de este mineral de 3,52% en el tratamiento 3. En cuanto al magnesio se presenta un valor de 0,32% que le corresponde al tratamiento 4 siendo este el mayor de los cuatro tratamientos.

En los resultados de microelementos se obtuvo: empezando con el cobre que cuenta con el valor de 5,18 ppm para el tratamiento 3 que es el más alto, los tratamientos 1,2 y 4 muestran valores similares cercanos a 4,4 ppm y no existe mayor diferencia. El elemento hierro es uno de los más altos tanto al inicio del proyecto con 77,0 ppm (Tabla 8), el compost final también tiene valores altos de hierro el más alto es 27,28 ppm que pertenece al tratamiento 2 y el valor más bajo de hierro lo tiene el tratamiento 1.

El zinc no muestra mayor variación en cada uno de los tratamientos obteniendo valores en el rango de 1,4 ppm y 1,5 ppm, solamente el tratamiento 4 tiene el valor más bajo de zinc con 1,27 ppm.

Los resultados de manganeso si cuentan con variaciones en este caso solo los tratamientos dos y tres muestran similitud 3,3%, pero el tratamiento tres tiene 8.28% de este mineral comparado con la Tabla 8 solo disminuyó 2%.

De los análisis de materia orgánica y relación C/N por método de Wakley & Black se observan los valores de materia orgánica que muestran pequeñas similitudes por tanto tenemos el tratamiento uno con 7,5% M.O, tratamiento dos 9,97% M.O, el tratamiento tres posee 8,47% M.O, finalmente el tratamiento cuatro con 6,79% M.O siendo este último el valor más bajo, de acuerdo con el valor de referencia de la Tabla 8.

Correspondiente a la relación C/N, el resultado promedio de las muestras de los cuatro tratamientos arrojaron valores de 5,64 para el tratamiento uno, 10,64 en el tratamiento dos, el tratamiento tres y cuatro con (8,63 y 8,38) respectivamente. Se puede decir entonces que el tratamiento dos es el que mejor relación C/N presenta. (Rojas, 2004). En este contexto se muestran una clasificación de la relación C/N y es:

- Relación C/N baja de 20; alta disponibilidad de N
- Relación C/N media de 20 a 30; Disponibilidad moderada de N
- Relación C/N alta de mayor a 30; baja disponibilidad de N

Teniendo esta clasificación se deduce que todos los tratamientos tienen alta disponibilidad de nitrógeno, sin embargo se recalca que el tratamiento dos al tener más relación C/N que los demás tratamientos, este se acerca mejor a una disponibilidad moderada de Nitrógeno.

Tabla 12. Resultados del Análisis Físicoquímico del Compost

Nº Muestra Laboratorio	Identificación	% Nutrientes Abono Orgánico							Ppm					% M.O	% C	RELACIÓN C/N
		pH	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn					
TRATAMIENTO 1																
1	R1	7,17	0,71	1,34	1,35	1,39	0,17	4,4	16,73	1,29	1,67	13,76	7,98			3,96
2	R2	7,23	1,38	1,50	1,16	1,34	0,17	3,7	18,04	2,11	1,86	3,61	2,09			3,74
3	R3	7,20	1,23	1,30	1,13	1,54	0,19	3,5	18,02	1,18	2,71	4,40	2,52			5,03
4	R4	7,18	1,52	1,31	1,10	1,43	0,20	3,3	18,27	2,17	1,76	7,59	4,40			7,46
5	R5	7,25	3,34	1,39	1,10	1,53	0,21	3,0	16,40	1,07	1,71	8,31	4,82			8,01
	Promedio	7,206	1,636	1,368	1,168	1,446	0,188	3,58	17,492	1,564	1,942	7,534	4,362			5,64
TRATAMIENTO 2																
6	R1	6,72	2,27	1,95	1,48	1,73	0,205	5,3	28,4	1,70	3,91	14,15	8,21			14,66
7	R2	7,09	1,67	1,71	1,51	1,29	0,171	4,2	26,9	1,51	2,96	8,84	5,13			7,65
8	R3	7,15	1,75	1,71	1,58	1,71	0,21	4,4	27,6	1,45	3,57	8,49	4,92			10,94
9	R4	7,21	2,34	1,93	1,41	1,81	0,21	4,3	26,2	1,50	2,84	9,90	5,74			9,73
10	R5	7,16	1,89	1,79	1,58	1,51	0,203	5,2	27,3	1,41	2,75	8,49	4,92			10,26
	Promedio	7,066	1,984	1,818	1,512	1,61	0,1998	4,68	27,28	1,514	3,206	9,974	5,784			10,648

Tabla 12 (Cont.)

TRATAMIENTO 3														
11	R1	7,27	1,45	1,75	2,56	1,21	0,196	5,40	22,70	1,38	7,90	7,75	4,50	9,37
12	R2	7,27	1,60	1,48	2,13	2,45	0,27	5,30	19,30	1,44	8,00	8,86	5,14	7,04
13	R3	7,19	2,12	1,9	2,53	1,8	0,36	4,80	20,40	1,39	9,20	7,75	4,50	8,03
14	R4	7,29	1,46	1,53	3,79	2,54	0,35	4,70	20,30	1,25	9,10	8,40	4,92	8,79
15	R5	7,22	1,97	1,76	6,63	1,98	0,31	5,70	20,40	1,59	7,20	9,60	5,57	9,94
	Promedio	7,248	1,72	1,684	3,528	1,996	0,2972	5,18	20,62	1,41	8,28	8,472	4,926	8,634
TRATAMIENTO 4														
16	R1	7,25	1,60	1,3	2,33	2,33	0,31	4,20	22,00	1,90	3,96	7,75	4,50	8,99
17	R2	7,35	0,93	1,24	2,34	2,44	0,32	4,10	21,10	1,14	2,25	5,91	3,40	7,62
18	R3	7,37	1,75	1,13	1,76	2,31	0,31	4,90	22,50	1,16	4,00	6,65	3,86	9,18
19	R4	7,38	1,60	1,22	1,82	2,78	0,34	4,60	20,20	1,10	2,62	5,91	3,43	6,12
20	R5	7,24	1,67	1,15	2,34	2,83	0,33	4,50	22,20	1,08	3,92	7,75	4,50	9,99
	Promedio	7,318	1,51	1,208	2,118	2,538	0,322	4,46	21,6	1,276	3,35	6,794	3,938	8,38

3.3. RESULTADOS DE MACRONUTRIENTES

El tratamiento 3 mostró el máximo valor en el macronutriente potasio, seguido por el tratamiento 4, de todos los macronutrientes el tratamiento 1 es el más bajo en todos los tratamiento analizados. El nitrógeno valor primordial en un compost presentó valores altos en el tratamiento 2 sin embargo no existe mayor diferencia de los otros tratamientos. Valores de fósforo altos nuevamente presenta el tratamiento 2, el magnesio presentó similitud en sus valores tanto en el tratamiento 3 y 4 (Figura 13).

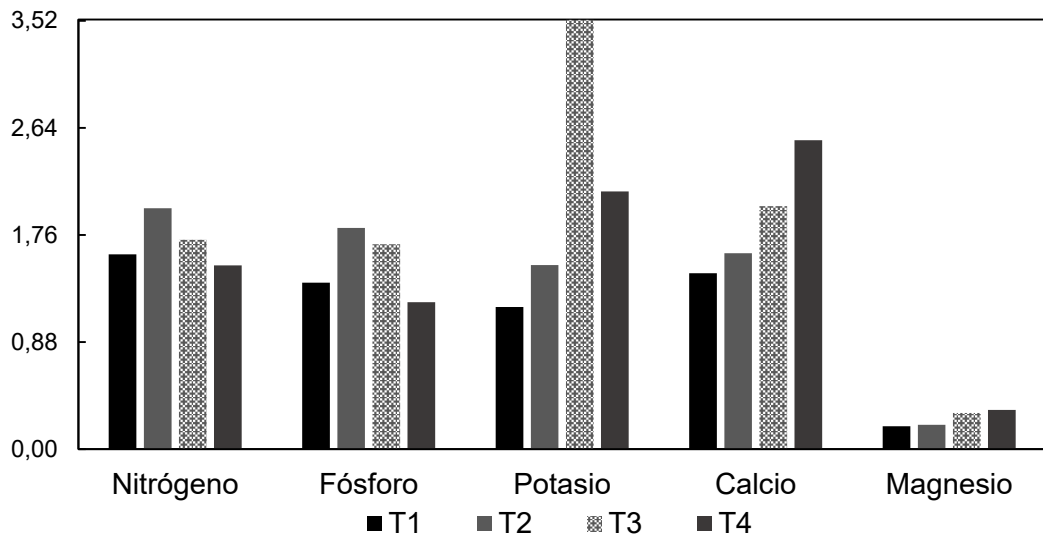


Figura 13. Valores de Macronutrientes Lombricompost

3.4. RESULTADOS DE MICRONUTRIENTES

Los valores de hierro eran los más preocupantes por tanto se mostró un disminución de estos valores en el lombricompost, por tanto se obtuvo que el tratamiento 2 mostró un alto valor de hierro dentro de este mineral el más bajo fue el tratamiento 1, micronutrientes como zinc y cobre no presentaron variaciones en sus valores se mantiene una similitud en los cuatro tratamientos. El magnesio posee un valor alto en relación al tratamiento 3. De todas formas el tratamiento 1 fue el que poseía los valores más bajos en micronutrientes. (Figura 14).

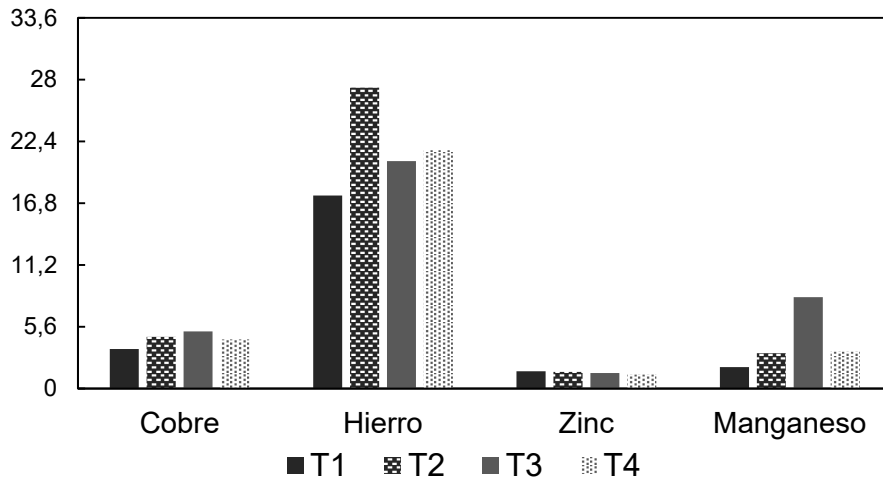


Figura 14. Valores de micronutrientes del Lombricompost

3.5. RESULTADOS DE MATERIA ORGÁNICA Y RELACIÓN C/N

Se obtuvo que la materia orgánica va en conjunto con la relación C/N, es por ello que, el valor más bajo de materia orgánica lo presenta el tratamiento 1 de igual forma su relación C/N (Figura 15). El tratamiento con mayor valor es el 2, por su elevada relación C/N de 11. El tratamiento 3 y cuatro presentaron valores similares en los rangos de 8 a 10.

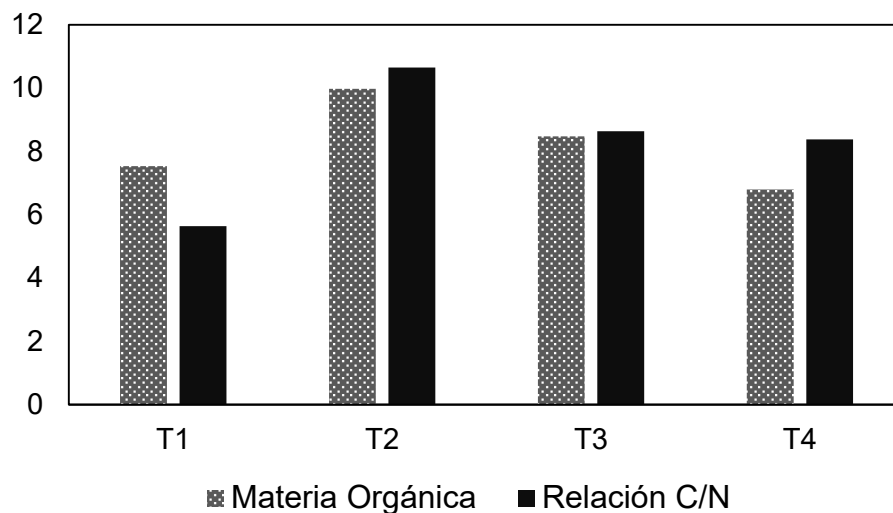


Figura 15. Resultados de materia orgánica y relación C/N

3.6. COMPARACIÓN RESULTADOS

Para la comparación de resultados se tomaron en cuenta los análisis iniciales de lodo, el análisis químico del lombricompost y un estudio realizado en la universidad del Salvador “Evaluación físico – química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost”. Por lo tanto en la Tabla 13 se muestra los valores promedios de los análisis de este proyecto y los resultados del estudio de referencia para su comparación.

Tabla 13. Comparación de resultados de macro y micro nutrientes del proyecto

Parámetros	Unidad	Tratamientos				Lodo Inicial *	Estudio Universidad del Salvador *
		T1	T2	T3	T4		
pH		7,20	7,06	7,24	7,31	5,74	4,81
% Macronutrientes Abono Orgánico							
Nitrógeno (N)	%	1,63	1,98	1,72	1,51	0,27	1,53
Fósforo (P)	%	1,36	1,81	1,68	1,208	0,13	0,24
Potasio (K)	%	1,16	1,51	3,52	2,118	0,27	0,1
Calcio (Ca)	%	1,44	1,61	1,99	2,538	5,6	1,86
Magnesio (Mg)	%	0,188	0,199	0,297	0,322	1	**
Micronutrientes Abono Orgánico							
Cobre	ppm	3,58	4,68	5,18	4,46	14,6	12,8
Hierro	ppm	17,49	27,28	20,62	21,60	77.0	18,6
Zinc	ppm	1,56	1,51	1,41	1,27	2,11	1,23
Manganeso	ppm	1,94	3,20	8,28	3,35	10,61	**
Materia Orgánica	%	7,53	9,97	8,47	6,79	3,39	26,8
Carbono	%	4,36	5,78	4,92	3,93	**	19,5
Relación C/N		5,64	10,64	8,63	8,38	38.0	11,56

Se muestra que en la comparación de resultados, los valores de pH en el proyecto, por tanto observamos que en relación al lodo Inicial, los cuatro tratamientos tienen un valor mayor de pH ya que semejan valores mayores a 7 denotándolos como neutros, mucho más si se lo compara con el estudio de referencia que por su valor de 4.81 lo catalogamos como muy ácido.

Se detalla la comparación de elementos esenciales tenemos entonces el porcentaje de nitrógeno más alto en el proyecto corresponde al tratamiento dos con 1.986% un valor alto comparado con el lodo al inicio del proyecto de 0.27%, sin embargo el estudio de referencia muestra similitud con este proyecto por tener un valor de 1,53%.

Así mismo el contenido de fósforo en el proyecto es mayor en todos los tratamientos rodeando valores en el rango de 1,3% y 1,8%, comparados con el lodo inicial y el estudio de referencia (Tabla 13). Valores bajos de fósforo lo presenta el lodo inicial con 0,13%.

Con respecto al mineral potasio, nuevamente existe un valor mayor a los estudios de referencia, el más alto tiene un valor de 3.52%, en el calcio el valor alto lo presenta el lodo inicial 5.6%, sin embargo también existen valores altos de calcio en los tratamientos, esto tiende a opacar la disponibilidad de magnesio es por ello que se presentan valores inferiores a 1 en el caso del magnesio alrededor de 0,199%, el magnesio siempre es un elemento deficitario.

Uno de los elementos que mayor variación tiene es el hierro que al inicio del proyecto presentaba un valor de 77,0 ppm pero hubo una disminución de los valores en los tratamientos, el valor más bajo de hierro lo tiene el tratamiento 1 pero comparado con el estudio de referencia que tiene 18,6 ppm es un valor óptimo ya que según INIAP, (2012) el valor óptimo de hierro está en el rango de 20-40 ppm. El zinc no presenta mayores variaciones comparados con los datos de referencia (Tabla 13).

Los tratamientos de este proyecto si presentan un déficit comparado con el estudio de la Universidad del Salvador, ya que los tratamientos cuentan con valores en los rangos de 6,7% a 9,9% y el estudio tiene un valor de 26% de materia orgánica.

La relación C/N no presenta variaciones importantes porque el tratamiento dos tiene un valor de 10,64 que comparado con el estudio de referencia presenta un valor de 11,56 por tanto se puede decir que la variación es insignificante.

4. CONCLUSIONES

En el análisis fisicoquímico de lodo crudo se encontró déficit en la concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) al igual que los valores de materia orgánica y una baja relación C/N. Por otro lado se identificó valores muy altos en las concentraciones de hierro y cobre, valores de Zinc normales y ausencia de boro.

Para el aprovechamiento del lodo crudo se elaboró cuatro tratamientos de lombricompost utilizando la lombriz *Eisenia Foetida*, con variaciones en el diseño de las camas. Se utilizó como materiales de descomposición contenido ruminal de ganado vacuno, residuos vegetales, y microorganismos eficientes autóctonos. La duración del proyecto fue de diez semanas tiempo durante el cual se midió variables de temperatura y humedad.

El compost recolectado presentó mejoras en comparación con el lodo crudo, destacándose el tratamiento dos como superior en el contenido de micronutrientes, materia orgánica y relación C/N debido a temperatura y humedad óptimas que permitieron la actividad de las lombrices. Así mismo, el tratamiento cuatro sobresalió en los valores de macronutrientes ocasionado por la presencia de microorganismos autóctonos, que permitieron su rápida maduración. Mediante el lombricompostaje se logró una estabilización de lodo residual, por tanto el compost puede ser utilizado como abono orgánico para nutrir el suelo y mejorar sus características.

5. REFERENCIAS

- Avedaño, C. (Febrero de 2015). *Sistemas de tratamiento de lodos residuales*. Obtenido de Universidad de Colombia.
- Cabezas, Y. (2011). *Diseño de un sistema de tratamiento de lodos provenientes de EPMAPA-SD*. Obtenido de Escuela superior Técnica Del Chimborazo.
- Cathy Pérez, Viky Mujica, Gaudy Ledezma , & Mario Ortega. (3 de Agosto de 2009). *Propuesta técnica para el tratamiento y disposición final de los lodos provenientes de una planta potabilizadora. venezuela*. Obtenido de bvsde.
- Díaz, G. (2001). *Materiales de compostaje* .
- Falconí, E. (2013). *Captura de imcroorganismos eficientes*. Obtenido de Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/6949/1/Tesis%20-%20UG.pdf>
- FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor experiencias en américa latina*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Geller, A. (2008). *La lombricultura*. Obtenido de Compostadores Sostenibilidad en estado puro: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/vermicompostaje/172-la-lombricultura.html>
- Guitierrez, J., Ramírez, Á., Rivas, R., Linares, B., & Paredes, D. (27 de Junio de 2014). *Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua*. Obtenido de Revista Ingenierías Universidad de Medellín.
- Gutierrez, J., Ramírez, Á., Rivas, R., & Paredes, D. (27 de Junio de 2014). *Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua*. Obtenido de Universidad de Medellín: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v13n25/v13n25a02.pdf>
- INIAP. (2012). *Niveles Criticos para interpretación de parámetros en suelos de la costa y sierra*. Obtenido de Instituto nacional de investigaciones agropecuarias.
- Kali Ks. (7 de Febrero de 2012). *Interpretación análisis de suelo para abonado*. Obtenido de Kali ks spain: <http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/news/news-20120207-analisis-de-suelo.html>
- Segura, U. (S/A). *Estabilización de lodos*. Obtenido de Lenntech: <https://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-estabilizacion.htm>

- Limón, J. (08 de Marzo de 2013). *Lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales ¿problema o recurso?* Obtenido de Universidad de Jalisco:
http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf
- López, J., & Jonathan Rivas. (Septiembre de 2013). *Estabilización de los lodos generados en la planta*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí.
- Ministerio Ambiente Ecuador. (4 de Noviembre de 2015). *Anexo 1 Libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente*. Obtenido de Ministerio Ambiente Ecuador:
<http://aeisa.com.ec/>
- Nieto, C. (2013). *Evaluación comparativa de la actividad del Trichoderma spp., con el biocatalizador microbiano para la descomposición de la materia orgánica en desechos sólidos domiciliarios*. Obtenido de Universidad de Guayaquil, Facultad de ciencias geológicas ambientales.
- Oropeza, N. (2006). *Lodos residuales estabilización y manejo*. Obtenido de Universidad de Quintana Roo:
http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf
- Panizza, A. (3 de Agosto de 2009). *Evaluación del compost elaborado a partir de lodos con alto contenido de sulfato de aluminio*.
- Pérez, M. (Abril de 2016). *Tratamiento de lodos residuales presentes en las plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (pb)*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana:
<dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12045/1/UPS-CT005868.pdf>
- Rodríguez, J. (2003). *Manual de compostaje*. Obtenido de Ministerio de calidad y evaluación ambiental:
http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/manual_de_compostaje_2011_paginas_1-24_tcm7-181450.pdf
- Rojas, L. (2004). *Preparación y utilización de compost en hortalizas*. Obtenido de Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile:
<http://www2.inia.cl/medios/intihuasi/documentos/informativos/Informativo-19.pdf>
- Ruiz, E. (Noviembre de 2013). *Utilización de los lodos generados en el proceso de potabilización del agua de la planta de tratamiento "casigana", como aditivo para suelos de cultivo*. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato.

- Sánchez, Á. (2007). *Estudio sobre la maquinaria idónea para las labores de compostaje*. Obtenido de Junta de Andalucía : http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/documento_completo.pdf
- Sandoval, C. (2003). *Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta*. Obtenido de Facultad de medicina veterinaria y zootecnia – Universidad Autónoma de Yucatán: <http://www.redalyc.org/pdf/939/93912118001.pdf>
- Soliva, M., & Huerta, O. (Noviembre de 2014). *Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas*. Obtenido de Escuela superior de agricultura de Barcelona.
- Tortosa, G. (13 de Noviembre de 2013). *El pH durante el compostaje*. Obtenido de Compostando Ciencia: <http://www.compostandociencia.com/2013/11/ph-en-el-compostaje-html/>
- Valderrama, A. (10 de Abril de 2013). *Microorganismos eficientes, medio ambiente y biotecnología ecológica*. Obtenido de wordpress: <https://microorganismoseficientes.wordpress.com/2013/04/10/tecnologia-de-los-microorganismos-eficientes/>