



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**OBTENCIÓN DE BIOABONO A PARTIR DE LODO RESIDUAL
PROCEDENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS**

Trabajo de titulación presentado para optar el título de:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: LISSETH PAOLA ORTIZ CRUZ

TUTORA: DRA. YOLANDA DÍAZ

Riobamba - Ecuador

2017

©2017, Lisseth Paola Ortiz Cruz

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **OBTENCIÓN DE BIOABONO A PARTIR DE LODO RESIDUAL PROCEDENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**, de responsabilidad de la señorita Egresada: Lisseth Paola Ortiz Cruz, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dra. Yolanda Díaz

.....

.....

DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

Dra. Irene Gavilanes

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Lisseth Paola Ortiz Cruz, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 23 de mayo de 2017

Lisseth Paola Ortiz Cruz
C.I. 060516828-5

Yo, Lisseth Paola Ortiz Cruz soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de investigación y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

LISSETH PAOLA ORTIZ CRUZ

C.I. 060516828-5

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios por bendecirme con inteligencia y sabiduría, a mi tío por su apoyo incondicional, a mi madre por la fortaleza que infundió en mí, así como el amor que fue el pilar fundamental que me permitió alcanzar esta meta.

Lisseth

AGRADECIMIENTO

Expreso una enorme gratitud a mi tío Gustavo por propiciar este logro, a mi madre por ser el motor de mi vida y por brindarme su apoyo para cumplir con satisfacción mi carrera.

A la Ing. Ana Cunachi Msc. siendo la guía fundamental mediante el aporte de su valioso conocimiento que enriqueció este Trabajo de Titulación, así como también al Dr. Sergio Barón por la confianza puesta para la realización del mismo.

Un agradecimiento a la Dra. Yolanda Díaz, a la Asesora del Trabajo de Titulación la Dra. Irene Gavilanes, a los/as ingeniero/as que apoyaron con sus valiosos consejos para la culminación del mismo.

Lisseth

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
RESUMEN.....	xvi
SUMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
JUSTIFICACIÓN	5
OBJETIVOS.....	7
General	7
Específicos	7
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	8
1.1 Agua residual.....	8
1.1.1 <i>Características del agua residual.....</i>	<i>8</i>
1.1.2 <i>Tipos de agua residual</i>	<i>11</i>
1.2 Subproductos en el tratamiento de aguas residuales	12
1.2.1 <i>Lodo residual</i>	<i>12</i>
1.3 Tratamiento de lodos residuales	17
1.4 Disposición de lodos residuales	17
1.5 Aprovechamiento biotecnológico del lodo residual.....	18
1.5.1 <i>Lombricultura o vermicompostaje.....</i>	<i>18</i>
1.5.2 <i>Bioabono.....</i>	<i>20</i>
1.6 Normativa ambiental aplicable	22
CAPÍTULO II	
2 MARCO METODOLÓGICO.....	29
2.1 Diseño experimental.....	29
2.1.1 <i>Tipo y diseño de investigación</i>	<i>29</i>
2.1.2 <i>Unidad de análisis</i>	<i>29</i>
2.1.3 <i>Población de estudio.....</i>	<i>30</i>
2.1.4 <i>Tamaño de muestra</i>	<i>30</i>
2.1.5 <i>Selección de muestra</i>	<i>30</i>

2.2	Metodología	30
2.2.1	<i>Localización de la experimentación</i>	30
2.2.2	<i>Lugar del muestreo</i>	31
2.2.3	<i>Caracterización preliminar del lodo residual</i>	31
2.2.4	<i>Diseño de los lechos de tratamiento de los lodos residuales</i>	36
2.2.5	<i>Construcción de lechos para el tratamiento de lodos residuales</i>	37
2.2.6	<i>Formulación de las pruebas experimentales para la obtención de bioabono a partir del lodo residual</i>	38
2.2.7	<i>Pruebas experimentales para la obtención del bioabono a partir de lodo residual</i>	38
2.2.8	<i>Ensayo para el análisis de la calidad del bioabono</i>	44
2.2.9	<i>Análisis estadístico</i>	52

CAPÍTULO III

3	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
3.1	Localización de la experimentación.....	53
3.2	Lugar del muestreo	53
3.2.1	<i>Caracterización preliminar del lodo residual</i>	54
3.2.2	<i>Diseño y construcción de lechos para el tratamiento de lodos residuales</i>	55
3.2.3	<i>Caracterización inicial, intermedia y final del bioabono</i>	57
3.2.4	<i>Caracterización microbiológica inicial, intermedio y final del bioabono</i>	62
3.2.5	<i>Caracterización bromatológica de las plantas de rábano Crimson Giant</i>	65
3.2.6	<i>Caracterización microbiológica del producto</i>	66
	CONCLUSIONES.....	67
	RECOMENDACIONES.....	68

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

APÉNDICE

INDICE DE ABREVIATURAS

CE	Conductividad Eléctrica
Ca	Calcio
C.f	Coliformes fecales
CuSO ₄	Sulfato cúprico
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
EP - EMAPA A	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato
g	Gramos
H _{IT}	Altura total del lecho
HCl	Ácido clorhídrico
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
H ₃ BO ₃	Ácido bórico
h	Horas
K	Potasio
Kg	Kilogramos
K ₂ SO ₄	Sulfato de potasio
L	Litros
M.O	Materia Orgánica
m	Metros
mm	Milímetros
mL	Mililitros
mS/cm	Micro Siemens sobre centímetro
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
N	Nitrógeno
NaOH	Hidróxido de sodio
n	Número de repeticiones por tratamiento
P	Fósforo
p	Probabilidad
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PVC	Policloruro de vinilo
pH	Potencial de hidrógeno
RC:N	Relación Carbono:Nitrógeno
T1	Tratamiento uno
T2	Tratamiento dos

T3	Tratamiento tres
T4	Tratamiento cuatro
UFC/g	Unidades Formadores de Colonias sobre gramo
μL	Micro litros
\bar{X}	Medias reales
%	Porcentaje
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Memorando GG-0366-2016, presentada por parte del Jefe de las Plantas de Tratamiento de la EP-EMAPA-A.
ANEXO B	Caracterización preliminar del lodo residual de la PTAR “El Peral”.
ANEXO C	Planos de construcción de los lechos.
ANEXO D	Instalación de los lechos para el tratamiento del lodo residual.
ANEXO E	Análisis microbiológico de la muestra del lodo residual.
ANEXO F	Aplicación del bioabono en semillas de rábano Crimson Giant (<i>Raphanus sativus Major</i>).
ANEXO G	Análisis bromatológico de plántulas.
ANEXO H	Análisis microbiológico de plántulas.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-3. Ubicación PTAR “El Peral”	53
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Composición física y química típica de un lodo residual.	13
Tabla 2-1. Principales grupos de organismos patógenos y parásitos contenidos en los lodos residuales.	16
Tabla 3-1. Parámetros de diseño utilizados para los lechos.	19
Tabla 4-1. Criterios microbiológicos para no catalogar	23
Tabla 5-1. Niveles máximos permisibles de contaminantes	23
Tabla 6-1. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos	24
Tabla 7-1. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en biosólidos.	24
Tabla 8-1. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en biosólidos.	25
Tabla 9-1. Valores medios de los parámetros agronómicos de un vermicompost.	25
Tabla 10-1. Características típicas de Compost Municipales basada en materia prima.	26
Tabla 11-1. Requisitos para diversas aplicaciones de compost municipales y condiciones medias de campo, según el Consejo de Compostaje de EE.UU.	26
Tabla 12-1. Requisitos mínimos exigidos para considerar a un producto como compost, según el Informe Final sobre Criterios Europeos para Compost y Digestatos.	27
Tabla 13-1. Criterios ecológicos para enmiendas orgánicas del suelo y para sustratos de cultivo (Decisión 2015/2009/UE).	27
Tabla 1-2. Parámetros analizados en la muestra del lodo residual de la PTAR "El Peral".	34
Tabla 2-2. Ensayos en estudio.	38
Tabla 3-2. Parámetros analizados en la muestra de bioabono.	40
Tabla 4-2. Parámetros analizados en la muestra de bioabono.	43
Tabla 5-2. Parámetros analizados en la muestra de bioabono.	52
Tabla 1-3. Caracterización físico-química y microbiológica de lodo residual húmedo.	54
Tabla 2-3. Caracterización físico-química del lodo residual preliminar de la PTAR "El Peral".	54
Tabla 3-3. Caracterización microbiológica del lodo residual preliminar de la PTAR "El Peral".	55
Tabla 4-3. Parámetros del diseño de lechos para el tratamiento de lodos residuales.	57
Tabla 5-3. Caracterización físico-química inicial, intermedia y final del bioabono.	57
Tabla 6-3. pH del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.	58
Tabla 7-3. Conductividad eléctrica del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.	59

Tabla 8-3. Porcentaje de humedad del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.	59
Tabla 9-3. Porcentaje de materia orgánica del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.	60
Tabla 10-3. Porcentaje de nitrógeno orgánico del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.	60
Tabla 11-3. Porcentaje de potasio del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.	61
Tabla 12-3. Porcentaje de fósforo del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.	61
Tabla 13-3. Porcentaje de calcio del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.	62
Tabla 14-3. Relación Carbono:Nitrógeno del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.	62
Tabla 15-3. Caracterización microbiológica inicial, intermedia y final del bioabono.	62
Tabla 16-3. Coliformes fecales en la calidad del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.	63
Tabla 17-3. Género <i>Salmonella</i> en la calidad del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.	63
Tabla 18-3. Nematodos en la calidad del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.	64

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general obtener bioabono a partir de lodo residual procedente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTAR) del Cantón Ambato, este lodo fue sometido a los análisis físico-químico y microbiológico preliminar para el establecimiento de un ensayo mediante lombricultura. Cuatro ensayos entre el lodo residual, lombriz Californiana (*Eisenia foetida*) y materia orgánica en distintas proporciones fueron establecidos en los denominados lechos para cada tratamiento. Las evaluaciones del proceso fueron realizadas a los 90 días (inicial), 180 días (intermedia) y 25 días (final), para lo cual se determinó las características físico-químicas como pH, conductividad eléctrica (CE), humedad, materia orgánica (M.O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), relación Carbono:Nitrógeno (RC:N) y las características microbiológicas como Coliformes fecales (C.f), *Salmonella* y Helmintos. Durante los periodos de evaluación el tratamiento cuatro (T4) (30lodo:70M.O) mostró los mejores resultados con respecto a la calidad tanto nutricional como microbiológica puesto que sus valores se enmarcan dentro de las normas establecidas en el Real Decreto 506/2013 y en la Agencia de Protección Ambiental con un pH de 6.98, M.O 7.4, CE 3.50 mS/cm, humedad 61.29 %, N 0.39 %, P 3.01 %, K 0.38 %, Ca 1.96 %, RC:N 1.9, y la NOM-004-SEMANART-2002 en cuanto a los C. f se obtuvo 3×10^6 UFC/g, *Salmonella* 2×10^5 UFC/g y Nematodos 17 Nematodos/g. Los resultados obtenidos permitieron concluir que únicamente el T4 puede ser considerado como bioabono ya que cumple con los valores establecidos en la NOM-004-SEMANART-2002, que lo clasifica como un sustrato C, es decir, su uso únicamente es con fines forestales, ya que puede ser usado como una fuente de nutrientes sin descartar la carga microbiana. Se recomienda realizar un proceso de tinalización para eliminar esporas y bacterias sin alterar la composición química del lodo.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>
<BIOTECNOLOGÍA> <LODO RESIDUAL> <BIOABONO> <LOMBRIZ CALIFORNIANA
(*Eisenia foetida*)> <TRATAMIENTO DE LODO RESIDUAL>

SUMMARY

The present investigation aims to get a bio fertilizer coming from the residual mud of a Domestic Wastewater Treatment Plant (WTP) in Ambato canton. This mud was analyzed by a physical-chemical and microbiological analysis in order to establish a test through earthworm reproduction. Four tests with residual mud, earthworm Californian (*Eisenia foetida*) and organic matter in different amounts were carried out in the beds per each treatment. The evaluations of the process were evaluated after 90 days (initial), 180 days (intermediate) and 25 days (final) determining the physic-chemical characteristics such as: pH, electrical conductivity (EC), humidity, organic matter (OM), Nitrogen (N), Phosphorus (P), Potassium (K), Calcium (Ca), relationship between Carbon: Nitrogen (RC:N) and microbiological characteristics such as fecal coliforms (FC), *Salmonella* and Helminths. During evaluation, the treatment 4 (T4) (30 mud: 70 OM) showed the best results compared to microbiological and nutritional quality. The values are according to the norms established in the Real Decree 506/2013 and the Environmental Protection Agency with a pH of 6.98, OM 7.4 %, EC 3.50 mS/cm, humidity 61.29 %, N 0.39 %, K 0.38 %, Ca 1.96 %, RC:N 1.9, and NOM-004-SEMANART-2002. Regarding to FC 3×10^6 UFC/g, *Salmonella* 2×10^5 UFC/g and Nematodes 17 Nematodes/g were gotten. We concluded that T4 is the best bio fertilizer since it contains substrate C according to values established in the norm mentioned above. It can be used with forest purposes. Consequently, it can be used as a nutrient and a microbial charge. We recommended to carry out a tyndallization process to eliminate spores and bacteria without modifying the mud composition.

Key words: <ENGINERRING SCIENCE AND TECHNOLOGY> <BIOTECHNOLOGY>
<RESIDUAL MUD> <BIO FERTILIZER> <CALIFORNIAN EARTHWORM (*Eisenia foetida*)> <RESIDUAL-MUD TREATMENT>

INTRODUCCIÓN

Situación problemática

El tratamiento de aguas residuales es un conjunto de acciones de ingeniería que involucran tanto procesos como operaciones de carácter físico, químico y biológico, que son necesarias para la mitigación del impacto ambiental producido por las descargas en cuerpos de agua dulce o sistemas de alcantarillado de aguas residuales generadas a partir de actividades domésticas, comerciales o industriales. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 12)

El procesamiento de las aguas residuales se realiza en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), que están gestionadas en las diferentes ciudades del país por Empresas Públicas (Empresas Municipales de Agua Potable y Alcantarillado (EP-EMAPA)). (Registro Oficial, 2014, art. 18)

El tratamiento del agua residual genera un impacto ambiental positivo y negativo sobre el recurso agua, suelo y aire. (Ramalho, 1996, p. 26) El impacto ambiental positivo hace referencia a la recuperación de la calidad ambiental del recurso agua mediante la mitigación o remoción de la carga contaminante presente permitiendo la reutilización o su vertimiento directo en cuerpos de agua dulce y/o sistemas de alcantarillado (Metcalf & Eddy, 1996, p. 13). Por el contrario, el impacto ambiental negativo ocurre por los subproductos generados durante el tratamiento de estas aguas, es decir, está relacionado directamente con el hecho de que únicamente se mitigue este impacto en la materia prima (agua residual), olvidando parcial o totalmente el tratamiento que deben recibir los subproductos generados a partir de esta materia prima (Metcalf & Eddy, 1996, p. 13). Por ejemplo, el recurso aire se puede ver afectado negativamente por la emisión de gases nocivos producidos por la actividad biológica de los microorganismos aerobios utilizados en estos procesos de depuración. El uso de estos microorganismos requiere la utilización de sistemas abiertos que satisfagan su demanda de oxígeno, por lo que los gases generados son liberados sin control. (Ramalho, 1996, p. 26). A su vez el recurso suelo puede verse afectado negativamente si los lodos residuales generados en el proceso son liberados al medio sin previo tratamiento.

Estos lodos pueden presentar una alta concentración de sustancias químicas, de organismos patógenos y de materia orgánica, razón por la cual pueden ser altamente contaminantes. El hecho de presentar una alta carga de materia orgánica lo hace susceptible de ser reutilizado para actividades agrícolas como bioabono, pero para poder darles este uso antes deben ser tratados

para eliminar tanto los organismos patógenos como aquellas sustancias químicas que puedan ser perjudiciales para el ambiente y/o para las personas.

La PTAR “El Peral” (Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Parroquia Atocha – Ficoa), es administrada por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato (EP - EMAPA A). Se trata de una estación depuradora de aguas residuales domésticas cuyo sistema de tratamiento es parcialmente cerrado debido a que en él se generan subproductos perjudiciales para el ambiente.

Los lodos residuales generados a partir de sus fosas sépticas y de sus filtros biológicos de flujo ascendente, son depositados en dos lechos de secado donde sufren un proceso de deshidratación natural por efecto de la presión atmosférica y de la temperatura ambiente como único tratamiento. Se considera que este tratamiento es insuficiente y no aprovecha de ninguna manera el uso potencial que posee este lodo residual para la obtención de bioabono.

Formulación del problema

El tratamiento de aguas residuales se realiza en estaciones depuradoras, denominadas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), generan subproductos contaminantes durante este tratamiento como son los lodos residuales y los gases nocivos.

Los lodos residuales pueden presentar altas concentraciones de sustancias químicas, organismos patógenos y materia orgánica que afecten al recurso suelo.

Los lodos únicamente son tratados a través de un proceso de deshidratación natural por efecto de la presión atmosférica y temperatura ambiente, el cual no va a eliminar las sustancias y organismos contaminantes que pueden poseer.

Es necesario tratar los lodos residuales generados en las PTAR para eliminar los contaminantes presentes en él, y además darle un valor agregado mediante su transformación en bioabono. De esta manera, mediante su venta, la empresa pueda generar ingresos en lugar de generar gastos por el transporte hacia su disposición final por ejemplo: relleno sanitario.

¿Es posible obtener bioabono a partir de lodo residual procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas?

ANTECEDENTES

Los lodos generados como subproductos en las diferentes etapas del tratamiento de aguas residuales, poseen una carga contaminante mucho más concentrada que la misma agua, por lo que necesariamente deben ser tratados antes de su disposición final, ya sea por conciencia ambiental o por obligación legal, con el propósito de mitigar su impacto contaminante sobre el ambiente.

La estabilización del lodo es uno de los métodos más comunes y efectivos para la depuración del lodo, cuyo propósito es reducir la carga contaminante, olores, patógenos y en algunos casos permite aprovechar el lodo, para la obtención de abono.

El Distrito Metropolitano de Quito (Ecuador) en Agosto de 1999 estableció un esquema general para el manejo adecuado de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas no domésticas, fundamentándose en tres acciones: prevención, reutilización o revalorización y disposición adecuada. (Municipio Metropolitano de Quito, 1999, pp. 2 - 8)

En la PTAR de Puente Piedra (Lima – Perú) se cuenta con un sistema de aprovechamiento agrícola del lodo generado en las distintas etapas de tratamiento, mediante ensayos de fertilizantes con diferentes dosis de lodo. (Francisco Atencio, et al, 2011, pp. 2 - 7)

A partir de las Normas Técnicas Ambientales establecidas en el Ecuador en el año 2003, denominadas TULAS y modificadas en el 2010 a TULSMA, se comenzó a controlar con un carácter sancionatorio el manejo adecuado de los residuos sólidos peligrosos y especiales, entre ellos los lodos residuales generados como subproducto de operación de las PTAR.

Según Vera & Sánchez (2006), se realizó el tratamiento de lodos residuales mediante lombricompostaje, con la aplicación de lombrices (*Eisenia foetida*), materia vegetal fresca y composta, logrando el aporte de macronutrientes en el lodo, así como la reducción en la carga microbiana (Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Huevos de Helminthos y Salmonella).

Dickerson (2000), señala la potencialidad de los lodos residuales como abonos orgánicos, aunque debido a la gran carga de organismos patógenos y parásitos para el hombre, no pueden ser utilizados en hortalizas, así como también la presencia de algunos de los organismos patógenos y parásitos que se encuentran presentes en los lodos residuales lo cual genera que estos no puedan ser utilizados directamente.

En el estudio realizado por Mallia, Dautant, Keyloun & Oropeza (2002), se evaluó el aprovechamiento biotecnológico mediante lombricultura como biotratamiento de lodo residual de una empresa productora de papel. Al determinar las condiciones óptimas para la realización del proceso se obtuvo una eficiencia del 100%, dando como producto humus a partir de un sustrato negativo a ensayos CRETIB, lo cual facilitó la actividad biotecnológica de la lombriz roja californiana.

En otros estudios también se ha indicado que la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es una especie que puede ser utilizada en biotecnología para la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo (Benavides López de Mesa, Quintero, & Guevara Vizcaíno, 2006). Un estudio de Vera Morales (2009), demostró la capacidad biotecnológica de la lombriz roja californiana frente a la contaminación de suelos con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) procedentes del aceite gastado utilizado en la industria productora de ladrillos, concluyendo que esta lombriz es capaz de reducir los niveles de HAP's del suelo en un periodo corto de tiempo. Éste hecho se debe a que puede utilizar estos compuestos como fuente de alimento y desarrollar una resistencia natural a ellos.

Un estudio realizado por Fernández, Labrador, Bastidas, & Sien (2008), empleó el potencial biorremediador de la lombriz roja californiana para la degradación de crudo pesado presente en el suelo, obteniéndose una eficiencia del 54,48% referente a la disminución de hidrocarburos totales de petróleo (TPH's). La lombriz roja californiana presentó resistencia ante estas condiciones adversas debido a que es capaz de tolerar altos rangos de temperatura, humedad, pH y contaminantes. Esta capacidad de biorremediación se vio favorecida por la bioestimulación con estiércol equino, el cual mejoró la actividad biotecnológica de la lombriz.

En México, Vásquez Torre (2002) señaló que la lombricultura es un biotratamiento que puede ser utilizado para la remediación de suelos contaminados con residuos industriales de parafina. Durante este estudio se desarrolló un modelo óptimo de tratamiento biológico con una efectividad del 40% en la descomposición de la parafina del suelo tratado. Además, se evidenció que la lombriz empleada en este tratamiento es capaz de establecer interacciones benéficas con microorganismos y con el nicho de tratamiento, y así aprovechar las condiciones del medio a través de las capacidades biotecnológicas expresadas. De esta manera se pudo determinar la capacidad de la lombriz para producir bioabono y se realizaron evaluaciones de fitotoxicidad del mismo. Aunque este bioabono no cumplió con los estándares establecidos por la normativa legal, la reducción de la contaminación fue significativa.

En el estudio realizado por Arroyo, Contreras, Rodríguez, Amaya, & Paolini (2011), se empleó la lombricultura con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para la biorremediación de suelo contaminado con metales pesados (como Zn y Mg) de un vertedero en Pavía (Venezuela). Estos autores obtuvieron resultados favorables al evidenciar la capacidad de extracción y remoción de contaminantes en un 60%, demostrando que la lombricultura es una técnica de aprovechamiento biotecnológico que se acopla a residuos sólidos contaminados tanto por componentes orgánicos como por inorgánicos.

Es por ello que actualmente las tendencias ambientales en la sociedad han cambiado, lo cual ha generado la aparición de diversas formas de estabilizar el lodo, y la elección de una de ellas dependerá de las necesidades del investigador y, del destino y disposición final del lodo.

JUSTIFICACIÓN

El progresivo interés por mejorar la calidad ambiental de las aguas residuales ha generado una creciente demanda de PTAR en el país. Estas plantas de tratamiento están concebidas para mitigar el impacto ambiental generado por la presencia de agentes contaminantes en las aguas residuales domésticas y/o industriales. Sin embargo, su actividad también puede constituir un problema legal, ambiental y económico cuando los lodos residuales, que son generados en gran cantidad en estas plantas no reciben un tratamiento adecuado antes de su disposición final. De esta manera incumplirían la normativa ambiental vigente al ser descargados de forma directa a cuerpos de agua, sistemas de alcantarillado y/o rellenos sanitarios afectando el ambiente y ocasionando que la PTAR reciba una sanción económica por transgredir los acuerdos legales con diferentes entidades de regulación ambiental relacionados con el manejo y disposición de desechos sólidos peligrosos.

Actualmente, las PTAR únicamente emplean tratamientos de deshidratación y estabilización del lodo residual, procesos que se realizan a distintos tiempos y que pueden producir la proliferación de vectores y de gases producto de la actividad biológica. Estos gases pueden resultar nocivos tanto para la salud del personal de la empresa como para las personas aledañas al lugar, al igual que los organismos patógenos que pueden estar presentes en estos lodos y que no son controlados.

Además, el hecho de que este subproducto puede presentar una alta carga de materia orgánica y de otros elementos beneficiosos para el crecimiento de las plantas, propicia que éste sea susceptible de ser utilizado en actividades agrícolas como bioabono, por lo que si se establece un adecuado tratamiento para la eliminación de la carga contaminante, podría representar una

potencial fuente de ingresos para la empresa. Al darle un valor agregado a este producto de desecho, también se está evitando el consumo de recursos por el traslado del lodo residual al relleno sanitario, actividad que no reporta ningún beneficio económico.

En la PTAR “El Peral”, el único el tratamiento empleado en el lodo residual es la deshidratación natural llevada a cabo en estructuras cúbicas descubiertas con pendiente y un canal filtrante, denominados lechos de secado. Este tratamiento no es totalmente eficaz, ya que la carga contaminante disminuye únicamente en la capa superficial al reducir el contenido de humedad. A pesar de conseguir una disminución del volumen de este lodo para facilitar su manipulación, no se garantiza una eliminación adecuada de su carga contaminante, por lo que su descarga al medio podría representar un problema legal y por lo tanto económico para esta PTAR, incluso en el caso de que se realice la disposición final de forma adecuada en el relleno sanitario.

La EP - EMAPA A, al ser una empresa pública ecuatoriana, busca contribuir en la salud y bienestar de la ciudadanía y el ambiente; a través de la prestación de servicios básicos de agua potable y alcantarillado bajo un enfoque de mejora continua y participación social. También está comprometida proactivamente al desarrollo ambiental, económico y social de sus demandantes, y busca promover la investigación y la aplicación de técnicas que permitan optimizar sus procesos y operaciones, así como implementar aquellos procesos que puedan repercutir en una mejora de sus beneficios. Los procesos de investigación dentro de esta empresa son realizados en colaboración con instituciones de educación superior como la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), aprovechando los conocimientos e ideas que presentan los integrantes de esta institución. De esta manera la empresa es capaz de cumplir sus objetivos a la vez que los estudiantes universitarios son protagonistas de investigaciones originales que contribuyen en su formación.

La presente investigación, que recibió la colaboración de la PTAR Doméstica “El Peral”, evaluó el uso del lodo residual producido como bioabono, previo tratamiento con lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en un medio suplementado con materia orgánica. De esta forma se espera tanto reducir el impacto ambiental que puede generar la liberación al medio de estos lodos residuales como posibilitar el uso de este subproducto como una fuente de ingresos para la empresa.

Si el estudio aporta resultados positivos que posibiliten el uso de estos fangos para la generación de un bioabono efectivo, la técnica puede ser susceptible de ser patentada e implementada en otros PTAR, mitigando los impactos ambientales negativos que se desprenden del tratamiento de las

aguas residuales domésticas y generando recursos económicos que pueden repercutir en un aumento de los beneficios generados por la empresa.

OBJETIVOS

General

- Obtener bioabono a partir de lodo residual procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Específicos

- Caracterizar física, química y microbiológicamente el lodo residual generado en una PTAR Doméstica.
- Obtener bioabono empleando lombricultura, para aprovechar las características del lodo residual de una PTAR Doméstica.
- Evaluar la eficiencia de la Lombriz Californiana (*Eisenia foetida*) para la obtención de bioabono generado a partir del lodo residual de una PTAR Doméstica.
- Analizar las características nutritivas del bioabono obtenido.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Agua residual

El agua residual es una mezcla compleja de residuos orgánicos e inorgánicos, generada por una población, la cual es transportada por un sistema de alcantarillado u otro tipo de sistema. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 1) (Ramalho, et al, 1996, p. 27)

1.1.1 Características del agua residual

En el agua residual se debe considerar algunas características (físicas, químicas y biológicas) ya sea por el origen o por el tipo de tratamiento que reciben. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 58)

Características físicas

- **Olor**

El olor del agua residual es el resultado de la descomposición de la materia orgánica produciendo un olor desagradable que supone una molestia a la población. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 63)

- **Temperatura**

La temperatura en el agua residual es un parámetro que permite verificar el nivel térmico, generalmente se mantiene elevada por el vertido de agua caliente por parte de las actividades que realiza la población. Generalmente el rango de temperatura de un agua residual está entre 10 °C y 21 °C. (Metcalf & Eddy, 1996, pp. 70-71)

- **Color**

El color del agua residual está dado por la degradación natural de la materia orgánica, la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución, las condiciones anaerobias, así como por el tiempo

de transporte en el sistema de alcantarillado, la misma que puede iniciar de un color gris, luego gris oscuro y finalmente a un color negro. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 72)

- **Turbiedad**

La turbiedad es una propiedad o efecto ocasionado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua disminuyendo la transparencia causada por una variedad de partículas en suspensión que varían en tamaño, desde partículas coloidales hasta partículas gruesas. (Romero Rojas, 2009, p. 108)

- **Sólidos**

Los sólidos se refieren a la cantidad de material sólido de diferente tamaño contenido en un agua residual. (Romero Rojas, 2009, p. 111)

Se pueden distinguir varios tipos de sólidos:

- **Sólidos totales:** los sólidos totales corresponden a la materia que permanece como residuo luego de que el agua se evapore a una temperatura comprendida entre 103 °C y 105 °C. (Romero Rojas, 2009, p. 112)
- **Sólidos sedimentables:** los sólidos sedimentables corresponden a la materia sólida en suspensión que se sedimenta en condiciones naturales por acción de la gravedad. (Romero Rojas, 2009, p. 113)
- **Sólidos disueltos:** los sólidos disueltos corresponden al residuo sólido filtrable, determinados por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. (Romero Rojas, 2009, p. 112)
- **Sólidos suspendidos:** los sólidos suspendidos corresponden al residuo no filtrable o material sólido no disuelto, que se obtiene mediante filtración empleando un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch, a una temperatura comprendida entre 103 °C y 105 °C. (Romero Rojas, 2009, p. 112)
- **Sólidos volátiles y sólidos fijos:** los sólidos volátiles y sólidos fijos corresponden a la medida de la cantidad de materia orgánica presente en una muestra. (Romero Rojas, 2009, p. 112)

Características químicas

- **Materia orgánica**

La materia orgánica está constituida por todos los sólidos provenientes de las actividades del hombre, así como también de origen animal y vegetal. Los principales compuestos que se pueden encontrar son proteínas, carbohidratos, grasas y aceites. (Romero Rojas, 2009, p. 122) (Metcalf & Eddy, 1996, p. 73)

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro que permite medir la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica biodegradable contenida en el agua residual como resultado de la oxidación microbial. En las aguas residuales domésticas, generalmente la demanda de oxígeno se debe a materiales orgánicos carbónicos. (Ramalho, et al, 1996, p. 34)

Para determinar la concentración de materia orgánica se realiza la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO₅), es decir, es la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un período de 5 días a una temperatura de 20 °C. (Romero Rojas, 2009, p. 175)

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro importante en el cual se mide el contenido de materia orgánica presente en el agua residual mediante oxidación química, es decir, la cantidad de oxígeno consumido por la materia orgánica existente siendo oxidado por un agente químico. (Romero Rojas, 2009, p. 186)

- **Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto (OD) es un parámetro que determina la existencia de condiciones aeróbicas y anaeróbicas en el agua residual. (Romero Rojas, 2009, p. 173)

- **Potencial hidrógeno**

El potencial hidrógeno (pH) es un parámetro que indica el nivel o grado de acidez o alcalinidad de un agua residual, influyendo en algunos fenómenos que ocurren en el agua y a la vida acuática. (Romero Rojas, 2009, p. 124)

Características biológicas

- **Microorganismos patógenos**

Los microorganismos patógenos (bacterias) contenidos en un agua residual son los principales causantes de enfermedades en el hombre y animales. (Romero Rojas, 2009, p. 217)

- **Bacterias:** las bacterias son microorganismos unicelulares que actúan generalmente en las transformaciones de la materia orgánica, así como también pueden ser causantes de enfermedades tanto en el hombre como en los animales. (Vargas, 2004, p. 63)

1.1.2 Tipos de agua residual

El tipo de agua residual está relacionado con la fuente de origen así como también de su composición física, química y biológica. (Ramalho, et al, 1996, p. 10)

Los tipos de agua residual son:

- **Agua residual doméstica o urbana**

El agua residual doméstica o urbana es proveniente de los domicilios de la población, producto de las actividades diarias que generalmente realizan como por ejemplo lavar, cocinar, etc. Su composición en este tipo de agua es heterogénea ya que ninguno de los hábitos de los habitantes es realizada por igual, presentando un alto contenido de materia orgánica, grasas y detergentes. (Castillo Reinoso & Guerra Huilca, 2014, p. 21)

- **Agua residual industrial**

El agua residual industrial es generada por los diversos procesos o actividades industriales, cuya composición y carga contaminante varía según la empresa o industria. (Ramalho, et al, 1996, p. 12)

1.2 Subproductos en el tratamiento de aguas residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales tratan un gran volumen de agua como producto de las diversas actividades que realiza el hombre; como principal subproducto que se generan en el tratamiento de estas aguas residuales son los lodos, los cuáles poseen una cierta concentración de contaminantes que la propia agua. (Metcalf & Eddy, 1996, pp. 957)

1.2.1 Lodo residual

Los lodos residuales son sólidos acumulados y separados de los líquidos (agua residual), considerados como el subproducto de mayor importancia debido a la gran cantidad en la que estos son generados. (Ramalho, et al, 1996, p. 9)

1.2.1.1 Características y composición del lodo residual

Las características que se deben considerar en los lodos residuales son:

- **Características físicas:** conductividad eléctrica, humedad.
- **Características químicas:** potencial hidrógeno, nitrógeno orgánico, materia orgánica, calcio, fósforo, potasio, relación Carbono:Nitrógeno.
- **Características biológicas:** microorganismos patógenos (bacterias). (Ortiz Ramos, 2013, p. 18)

Dicha composición está relacionada directamente con su origen y el tipo de tratamiento que ha recibido. (Ortiz Ramos, 2013, p. 18)

Antes de saber cuál sería su disposición final es necesario evaluar los componentes contaminantes. En la Tabla 1-1 se resume la composición típica presente en estos lodos, debiendo considerarse tanto el tratamiento del mismo como el del líquido separado durante el procesamiento.

Tabla 1-1. Composición física y química típica de un lodo residual.

Concepto	Unidades	Lodo
Sólidos secos totales	%	2 - 8
Sólidos volátiles	% ST	60 - 80
Proteína	% ST	20 - 30
Nitrógeno (N)	% ST	1.5 - 4
Fósforo (P ₂ O ₅)	% ST	0.8 - 2.8
Potasio (K ₂ O)	% ST	0 - 1
pH	u. pH	5 - 8
Alcalinidad	mg CaCO ₃ / L	500 - 1500
Ácidos orgánicos	mg HAc / L	200 - 2000
Contenido energético	MJ ST / Kg	23000 - 29000

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996, p. 871)

Características físicas

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica se define como la “*habilidad de una solución acuosa para transportar corriente eléctrica*”, es decir, es una manera de medir la presencia de sales en solución. (Espinoza, 2007, p. 147)

- **Humedad**

La humedad o contenido de humedad, es la relación expresada como porcentaje del peso de agua en una masa dada de suelo, es decir, al peso de las partículas sólidas. (Espinoza, 2007, p. 146)

Características químicas

- **Potencial hidrógeno (pH)**

El potencial hidrógeno (pH) del lodo influye en la solubilidad de los metales, en la acción biológica del lodo, así como también en la alcalinidad del suelo. (Ortiz Ramos, 2013, p. 20)

Así:

- **pH básico (> 11.5):** elimina bacterias.
- **pH ácido (< 8.6):** ayuda a que los metales pesados queden fuera de la solución del suelo limitando su disponibilidad para ser absorbidos por las raíces de las plantas.
- **pH neutro:** inmoviliza metales pesados. (Espinoza, 2007, p. 165) (Ortiz Ramos, 2013, p. 21)

- **Materia orgánica**

La materia orgánica en el lodo es vital ya que ayuda en el mejoramiento del suelo, reduce la erosión, regula la temperatura del suelo, ayuda a almacenar la humedad mejorando la fertilidad y las propiedades del suelo, además es un alimento necesario para los organismos del suelo. (Espinoza, 2007, p. 170)

- **Calcio**

El calcio es un nutriente secundario indispensable para el crecimiento y fortalecimiento de la raíz y tallo de la planta, además reduce la acidez del suelo favoreciendo la absorción de nitrógeno. (FAO, 2002, p. 1)

- **Fósforo**

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de las plantas, formación y abundancia de raíces resistentes, además contribuye en la formación y maduración de los frutos y semillas. (Espinoza, 2007, p. 171)

- **Nitrógeno**

El nitrógeno es el elemento químico de mayor importancia para la formación de proteínas, nutrición y desarrollo de las plantas y ayuda en la coloración verde del follaje. (FAO, 2002, p. 2)

- **Potasio**

El potasio es un macronutriente primario importante en la síntesis de carbohidratos y proteínas, aumentando su resistencia a condiciones adversas (sequía, heladas y salinidad). Una cantidad de adecuada de potasio protege a la planta de enfermedades. (FAO, 2002, p. 2)

- **Relación Carbono:Nitrógeno**

La relación Carbono:Nitrógeno es la cantidad de carbono en relación con la cantidad de nitrógeno presente en un material. (Espinoza, 2007, p. 173)

Características biológicas

- **Microorganismos patógenos**

Los microorganismos patógenos son responsables de causar enfermedades presentando un riesgo para la salud pública; la supervivencia de estos microorganismos depende de las condiciones favorables del lugar (humedad, pH y temperatura). (Ortiz Ramos, 2013, p. 21)

Los microorganismos considerados como patógenos que se encuentran son:

- **Coliformes totales y fecales:** son bacilos cortos Gram negativos no formadores de esporas, fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 48 horas a una temperatura que fluctúa entre 35 °C a 37 °C, considerados como bacterias patógenas presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. (Rojas, 2009, p. 217) (Fernandez, 2002, p. 18)

Los coliformes no solamente son de origen fecal, para cual se han desarrollado diferentes pruebas para diferenciarlos y por lo tanto emplearlos como indicadores de contaminación debido a que su presencia es numerosa y de fácil identificación con respecto a los organismos patógenos (bacterias, virus y parásitos). Por lo tanto, los coliformes totales son la totalidad del grupo, y los coliformes fecales son de origen intestinal. (Ortiz Ramos, 2013, p. 35)

- **Nematodos:** los nematodos o larvas de suelo son un grupo de animales pluricelulares que se desarrollan de huevos, pasando por una serie de estadios larvales antes de llegar a la etapa adulta. Este grupo de microorganismos se encuentran formando parte de la fauna del suelo, ya sea en forma de parásitos y/o de forma libre. (Fernandez, 2002, p. 21) (Coyne, Nicol, & Claudius-Cole, 2009, p. 3)
- **Salmonella spp.:** son bacilos gram-negativos que fermentan de manera específica la glucosa y manosa sin generar gas pero comúnmente producen sulfuro de hidrógeno (H₂S). En su mayoría son patógenos para el hombre y animales debido a su ingestión ocasionando fiebre tifoidea y enterocolitis. (Fernandez, 2002, p. 21)

Algunos de los organismos parásitos y patógenos mostrados en la Tabla 2-1 están presentes en estos lodos, debiendo considerarse en el tratamiento del mismo.

Tabla 2-1. Principales grupos de organismos patógenos y parásitos contenidos en los lodos residuales.

Grupo	Agentes	Efectos en la salud
Bacterias	<i>Salmonella Typhi</i>	Fiebre tifoidea, paratifoidea
	<i>Salmonella paratyphi A y B</i>	Disentería bacilar
	<i>Shigella p.</i>	Cólera
	<i>Vibrio cholerae</i>	Gastroenteritis agudas, diarreas
	<i>Escherichia coli</i>	Diarreas
	<i>Salmonella sp.</i>	
	<i>Giardia lamblia intestinales</i>	Gastroenteritis
Helmintos	<i>Taenia saginata</i>	Cisticercosis
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
	<i>Trichouris trichiuria</i>	Tricocfalosis o tricuriasis
	<i>Toxocara spp.</i>	Toxoplamosis

Fuente: (Ortiz Ramos, 2013, p. 35)

- *Test de sensibilidad a Cefepima, Tetraciclina y Polimixina B*

Los test de sensibilidad o antibiogramas es el estudio de la sensibilidad de los microorganismos a uno o a varios antibióticos, es decir, es la actividad de un antibiótico frente a un microorganismo específico reflejando su capacidad para inhibir el crecimiento de una bacteria o población bacteriana. (Fernandez, 2000, p. 2)

- **Cefepima**

La cefepima es un “antibiótico β -lactámico, perteneciente al grupo de las cefalosporinas de cuarta generación”, son de amplio espectro abarcando tanto a bacterias gram-positivas como gram-negativas con una mayor actividad en las Enterobacterias. (García Vázquez & Mensa, 2001, p. 1)

- **Polimixina B**

La polimixina B es un antibiótico polipeptídico de primera generación de espectro limitado a bacterias gramnegativas tales como: *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, y *Klebsiella pneumoniae*. (VADEMECUM, 2015, p. 1)

- **Tetraciclina**

La tetraciclina es un antibiótico de primera generación de estructura química tetracíclica básica y actividad biológica común, es de amplio espectro comprendiendo bacterias gram-positivas y gram-negativas, aerobios y anaerobios. (Jara, 2007, p. 1)

1.3 Tratamiento de lodos residuales

En el tratamiento de lodos residuales se debe considerar principalmente el origen del lodo así como también de las características físicas, químicas y microbiológicas que este posee. (Limón Macías, 2013, p. 18)

1.4 Disposición de lodos residuales

La disposición de los lodos residuales se ha convertido en un problema para las plantas de tratamiento de aguas residuales, debido a que se lo debe realizar de una forma adecuada y para ello es necesario de estructuras o áreas apropiadas para su disposición. (Ramalho, et al, 1996, p. 531)

Una de las maneras que el lodo residual puede ser dispuesto de la mejor manera es el proceso de deshidratación y secado. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 969) (Ramalho, et al, 1996, p. 532)

- **Deshidratación y secado de lodos residuales**

La deshidratación y el secado de lodos son procesos cuyo propósito es reducir el contenido de humedad de tal manera que facilite su manipulación, movilización, reutilización, aprovechamiento o disposición final como un semisólido. (Metcalf & Eddy, 1996, p. 969)

1.5 Aprovechamiento biotecnológico del lodo residual

1.5.1 Lombricultura o vermicompostaje

Es una aplicación biotecnológica, en la cual se aplican normas y técnicas de producción utilizando a las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*), las cuales se alimentan de materia orgánica y posteriormente depositan sus excrementos sobre el suelo o en la profundidad. (Díaz, 2002, p. 5)

Esta actividad puede ser usada para reciclar residuos orgánicos biodegradables, de manera que mediante su ingestión las lombrices generan deyecciones convertidas en fertilizante orgánico que ayudará la “*fertilización, aireación, formación del suelo y posiblemente en la obtención de materia orgánica muy estable en un tiempo corto*”, de manera que este suelo pueda ser usado en la agricultura como bioabono. (Díaz, 2002, p. 5)

Se pueden distinguir tres tipos de técnicas para la realización de la lombricultura:

- **Cría doméstica:** este tipo de lombricultura se realiza en terrazas y/o jardines de viviendas, mediante cajones o tolvas en un espacio de menor tamaño, permitiendo la producción continua de compost. (Díaz, 2002, p. 7)
 - Cría en cajones: este método no requiere de un acondicionamiento previo, ya que las lombrices son colocadas en cajones de madera o de polietileno, una vez saturado el cajón se dispensa una porción de lombrices en otro, el compost obtenido puede conservado en cajones donde supere el 30 – 40 % de humedad. (Díaz, 2002, p. 7)
 - Cría en tolvas: este método es realizado en un solo recipiente facilitando así la cría continua de lombrices, en el cual el alimento es colocado en el lado izquierdo o en el lado derecho, mismo que puede suministrado semanalmente. (Díaz, 2002, p. 9)

- **Cría intensiva:** este tipo de cría se lo realiza mediante distintas capas de materia orgánica degradada sobre el cual se disponen las lombrices, además estos lechos pueden realizarse en el interior de un pozo. (Díaz, 2002, p. 9)

1.5.1.1 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño utilizados para el dimensionamiento de los lechos fueron los siguientes:

Tabla 3-1. Parámetros de diseño utilizados para los lechos.

Parámetro	Símbolo	Valor		Unidad
		Rango	Típico	
Longitud del lecho	L_l	0.80 - 100	0.80	m
Amplitud del lecho	A_l	0.40 - 0.60	0.60	m
Altura útil del lecho	H_{U}	0.40 - 0.60	0.60	m
Altura de seguridad del lecho	H_{IS}	0.10 - 0.30	0.20	m

Fuente: Gonzalez Cristian, 2014.

– Dimensionamiento

El diseño de los lechos para el tratamiento de los lodos residuales se realizó de la siguiente manera:

- Cálculo de la altura total del lecho (H_{IT}):

La altura del lecho se determinó a partir de los datos de diseño de la caracterización preliminar.

Mediante los parámetros de diseño de la Tabla 3-1. que corresponde a:

H_{IU} = Altura útil del lecho (m)

H_{IS} = Altura de seguridad del lecho (m)

Así tenemos:

$$H_{IT} = H_{IU} + H_{IS}$$

(Ec. 1-1.)

- Cálculo de la pendiente longitudinal del lecho ($h_{ll} \alpha_L$):

Para el cálculo de la pendiente se obtuvo lo siguiente:

$\alpha_L =$ Ángulo longitudinal ($^\circ$)

$L_l =$ Longitud del lecho (m)

Así tenemos:

$$tg(\alpha_L) = \frac{h_{ll}}{L_l}$$

$$h_{ll} \alpha_L = tg(\alpha_L) \times L_l$$

(Ec. 2-1.)

- Cálculo de la pendiente en amplitud del lecho ($h_{ll} \alpha_A$):

La pendiente en amplitud se obtuvo de la siguiente manera:

$\alpha_A =$ Ángulo en amplitud ($^\circ$)

$A_l =$ Amplitud del lecho (m)

Así tenemos:

$$h_{ll} \alpha_A = tg(\alpha_A) \times A_l$$

(Ec. 3-1.)

1.5.2 Bioabono

El bioabono es un abono de origen natural que aporta al suelo y a las plantas nutrientes necesarias e indispensables para el crecimiento de las plantas y la producción alimentaria, estos nutrientes pueden ser macro y micronutrientes: (FAO, 2002, p. 3)

- **Macronutrientes:** Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades para el crecimiento de las plantas tales como nitrógeno, fósforo y potasio. (FAO, 2002, p. 3)

- **Micronutrientes:** El requerimiento de los micronutrientes es ínfima, los cuales deben ser agregados debido a que estos no pueden ser provistos por el suelo como el hierro, manganeso y zinc. (FAO, 2002, p. 8)

1.5.2.1 *Lombriz Roja Californiana*

La lombriz roja californiana es un anélido hermafrodita incompleto (tiene ambos sexos, pero necesita aparearse para reproducirse) de color rojo oscuro, ligeramente aplanada, su respiración es cutánea, carece de ojos pero posee células sensibles a la luz repartidas por todo el cuerpo, es macrófaga, es decir, se alimenta de hongos. (Díaz, 2002)

Clasificación taxonómica de la lombriz Californiana:

Reino: Animal.

División: Anélidos.

Clase: Clitelados.

Orden: Oligoquetos.

Familia: Lombrícidos.

Género: Eisenia.

Especie: Foetida. (Díaz, 2002, p. 8)

- *Usos*

La lombriz roja californiana es utilizada como:

- Frecuentemente es utilizada como reproductora, para la elaboración de lombricompost o para la producción de proteínas (harina de lombriz).
- La harina de lombriz como complemento alimentario tiene un alto poder energético, ya que contiene altos niveles de proteína.
- Es utilizada para la alimentación de animales como aves, ranas, iguanas, peces, etc.
- Este tipo de anélido es muy utilizada por los pescadores como carnada de pesca, debido a que su carne es más firme, facilita su corte, su color lo hace muy atractiva hacia los peces, y no tiene un sabor desagradable (amargo).
- Es utilizada especialmente en procesos industriales para la descontaminación de residuos peligrosos. (Díaz, 2002, p. 44)

1.5.2.2 Análisis para la determinación de la calidad del bioabono

Calidad bromatológica

Bromatología

La bromatología estudia los alimentos en cuanto a su naturaleza, propiedades físicas, químicas, funcionales, composición química y su comportamiento bajo diversas condiciones que ocurren entre los diferentes componentes. (Lucero, 2013, p. 4)

- **Análisis Proximal**

El análisis proximal conocido como análisis inmediato o básico de los alimentos, se determinan un grupo de sustancias constitutivas como el contenido de agua (humedad), proteína, grasa, ceniza y fibra. (Lucero, 2013, p. 6)

1.6 Normativa ambiental aplicable

En la Constitución de la República del Ecuador emitido como registro oficial 449 del 20 de octubre de 2008, en el Título V, Capítulo Cuarto Régimen de competencias, Artículo 264 numeral 4 se establece lo siguiente:

Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

En la Norma Técnica de Desechos Peligrosos y Especiales elaborado por el DMQ (Distrito Metropolitano de Quito), se establecen los criterios para considerar a un desecho peligroso como no peligroso o especial, dependiendo de la composición de los residuos como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4-1. Criterios microbiológicos para no catalogar a un desecho biológico como no peligroso

Parámetro	Concentración máxima permitida
Coliformes fecales	2x10 ⁶ NMP o UFC/g ST
Huevos de Helmintos	15/g
Salmonella sp	10 ³ /g

Fuente: Distrito Metropolitano de Quito, 2014.

En el TULSMA se establece las directrices para el manejo de residuos y/o desechos sólidos peligrosos, en el parágrafo VI Del tratamiento, art. 74 se menciona lo siguiente:

Los generadores, empresas privadas y/o municipalidades en el ámbito de sus competencias son responsables de dar un adecuado tratamiento a los residuos sólidos no peligrosos. El tratamiento corresponde a la modificación de las características de los residuos sólidos no peligrosos, ya sea para incrementar sus posibilidades de reutilización o para minimizar los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana, previo a su disposición final.

Para el tratamiento de residuos y/o desechos sólidos no peligrosos se pueden considerar procesos como: mecánicos, térmicos para recuperación de energía, biológicos para el compostaje y los que avale la autoridad ambiental.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados deberán proponer alternativas de tratamiento de residuos orgánicos, para así reducir el volumen de disposición final de los mismos. Además, deberán proponer tecnologías apropiadas para el aprovechamiento de residuos para generación de energía, mismas que deberán contar con la viabilidad técnica previo su implementación.

En el Libro VI Anexo 6 se establecen los niveles máximos permitidos que se deben considerar en el manejo de los desechos sólidos no peligrosos.

Tabla 5-1. Niveles máximos permisibles de contaminantes básicos a monitorear en el punto de control.

Sustancia química	Límite máximo permisible (mg/L)
Arsénico	0.05
Bario	1.0
Benceno	0.005
Cadmio	0.01

Cloruro de vinilo	0.002
Cromo hexavalente	0.05
2, 4 Diclorofenil ácido acético	0.1
1, 4 Diclorobenceno	0.075
1, 2 Dicloroetano	0.005
1, 1 Dicloroetileno	0.007

Fuente: Libro VI Anexo 6 TULSMA, 2015, pp. 41-42.

En la Norma Oficial Mexicana de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del 2002, se establecen las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales expresados en la siguiente tabla:

Tabla 6-1. 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	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

Fuente: Norma Oficial Mexicana, 2003, p. 22.

Tabla 7-1. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en biosólidos.

Clase	Indicador Bacteriológico de Contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 3 00	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

Fuente: Norma Oficial Mexicana, 2003, p. 22.

Tabla 8-1. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en 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: Norma Oficial Mexicana, 2003, p. 22.

En el Real Decreto 824/ 2005 del 8 de julio, sobre los productos fertilizantes establece los parámetros agronómicos que debe contener un bioabono expresados en la siguiente tabla:

Tabla 9-1. Valores medios de los parámetros agronómicos de un vermicompost.

Información sobre la forma de obtención y los componentes esenciales	Contenido mínimo en nutrientes (porcentaje en masa) Otros requisitos	Unidad	Valor
Producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas.	Conductividad	dS/m	700- 4 000
	pH		7-8.5
	Humedad	%	35-40
	Materia orgánica	%	35-45
	Nitrógeno	%	0.5-2.6
	Potasio	%	0.4-1.2
	Calcio	%	5.0-16.0

Fuente: Real Decreto 824/2005, Productos Fertilizantes, 2005, p. 16.

La Agencia de Protección de Ambiental (EPA), en la Guía de campo para uso del compost del 2001, se establecen los parámetros necesarios para determinar la calidad del bioabono en la siguiente tabla:

Tabla 10-1. Características típicas de Compost Municipales basada en materia prima.

Parámetros	Rango típico	Recomendado para diversas aplicaciones y condiciones de medio campo
Conductividad	1 - 10 dS/m	5 dS/m
pH	5.0 - 8.5	6 - 8.5
Contenido de nutrientes (base peso seco)	N 0.5 – 2.5 %	N 1 % o por encima P 1 % o por encima
	P 0.2 – 2.0 %	
	K 0.3 – 1.5%	
Capacidad de retención de agua	75 – 200 %	100 % o por encima
Densidad	700 – 1 200 lbs/yd ³	800 – 1 000 lbs/yd ³
Humedad	30 – 60 %	40 – 50 %
Contenido de materia orgánica	30 – 70 %	50 – 60 %
Tamaño de partícula	-	Pasar a través de la pantalla de 1” o más pequeños
Elementos traza/metales pesados	-	Cumplir con las regulaciones US EPA Parte 503
Proyección de crecimiento	-	Más allá de germinación de la semilla, análisis de crecimiento de la planta
Estable	-	Estable a muy estable

Fuente: Agencia de Protección Ambiental, 2001, p. 68.

Tabla 11-1. Requisitos para diversas aplicaciones de compost municipales y condiciones medias de campo, según el Consejo de Compostaje de EE.UU.

Parámetros	Requisitos
Mat. Orgánica (% sobre m.s)	50 – 60
Nitrógeno total (g/Kg m.s)	≥10
Fósforo (g/Kg m.s)	≥10
Metales pesados (mg/Kg m.s):	
Cadmio	<10
Cromo (total)	<1200
Cobre	<1500
Mercurio	<17
Níquel	<420
Plomo	<300
Zinc	<2800
Selenio	<100
Arsénico	<41

Fuente: Agencia de Protección Ambiental, 2001, p. 71.

La Comisión Europea, en los Criterios finales de los residuos biodegradables de residuos sometidos a tratamiento biológico (compost y residuos de fermentación): Propuestas técnicas del 2014, se establecen los parámetros de los residuos sujetos a procesos biodegradables mediante un tratamiento biológico para determinar la calidad como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12-1. Requisitos mínimos exigidos para considerar a un producto como compost, según el Informe Final sobre Criterios Europeos para Compost y Digestatos.

Parámetros	Informes Final sobre Criterios Europeos para Compost y Digestatos
Mat. Orgánica mínima (% sobre m.s)	15
Estabilidad mínima: Índice respirométrico Test de autocalentamiento:	<25 mmol O ₂ /Kg materia orgánica Temperatura <30°C por encima de la temperatura
Metales pesados (mg/Kg m.s): Cadmio Cromo (total) Cobre Mercurio Níquel Plomo Zinc	<1.5 <100 <200 <10 <1 <120 <600
Contaminantes orgánicos: HAPs (mg/Kg m.s)	<6
Microorganismos: <i>Salmonella spp</i> <i>E. coli</i> Semillas de malas hierbas Impurezas (%)	Ausentes en 25g de compost <1000 UFC/g <2 semillas/L <0.5 (>2mm)

Fuente: Comisión Europea, 2014, p. 140-142.

Tabla 13-1. Criterios ecológicos para enmiendas orgánicas del suelo y para sustratos de cultivo (Decisión 2015/2009/UE).

Parámetros	Enmienda orgánica del suelo	Sustrato de cultivo
Mat. Orgánica (% m.s)	≥15	-
Mat. Seca (% sobre m.f)	≥25	-
Estabilidad mínima: Índice respirométrico	<15 mmol O ₂ /Kg materia orgánica /h (aplicaciones no profesionales) <25 mmol O ₂ /Kg materia orgánica/h (aplicaciones profesionales)	<15 mmol O ₂ /Kg materia orgánica/h

Test de autocalentamiento:	Temperatura <20°C por encima de la temperatura ambiente (aplicaciones no profesionales) Temperatura <30°C por encima de la temperatura ambiente (aplicaciones profesionales)	Temperatura <20° por encima de la temperatura ambiente
Metales pesados (mg/Kg m.s): Cadmio Cromo (total) Cobre Mercurio Níquel Plomo Zinc Contaminantes orgánicos: HAPs (mg/Kg m.s) Microorganismos: <i>Salmonella spp</i> <i>E. coli</i>	<1 <100 <100 <1 <50 <100 <300 <5 Ausentes en 25g de peso fresco <1000 UFC/g	<3 <150 <100 <1 <90 <150 <300 <6 Ausentes en 25g de peso fresco <1000 UFC/g
Semillas de malas hierbas Impurezas (%) Respuesta de la planta Conductividad eléctrica (mS/m) pH Sodio (mg/L) Cloruro	<2 semillas/L <0.5 (>2mm) No efectos adversos sobre germinación o crecimiento-planta - - - -	<2 semillas/L <0.5 (>2mm) No efectos adversos sobre germinación o crecimiento-planta <100 4-7 <150 <500

Fuente: Comisión Europea, 2014, p. 140-142.

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Diseño experimental

2.1.1 *Tipo y diseño de investigación*

La presente investigación de la obtención de bioabono a partir de lodo residual procedente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, comienza siendo explicativa, ya que inicialmente se debe caracterizar el lodo residual mediante análisis físicos, químicos y microbiológicos para conocer cuál es el impacto ambiental que éste representa y cuáles son las opciones más acertadas que permitan tratarlo.

Posteriormente, la investigación se transforma en exploratoria, ya que al contar con la caracterización de los lodos residuales, se puede tomar como punto de partida para proponer un tratamiento novedoso y eficiente. Este tratamiento va a consistir en la reutilización del lodo residual de una PTAR Doméstica, la suplementación del mismo con materia orgánica de origen vegetal, y la incorporación de lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*). Para este procedimiento se van a tomar en cuenta las características del lodo e investigaciones anteriores.

La investigación además es experimental, ya que mediante un diseño experimental completamente al azar se identificará y cuantificará la reutilización del lodo residual.

2.1.2 *Unidad de análisis*

La unidad de análisis de la investigación corresponde a la fracción representativa del lodo residual proveniente de la fosa séptica de la PTAR “El Peral”, debido a que la investigación se centró en generar un bioabono, solventando el problema que representa la generación y disposición de lodos residuales.

2.1.3 Población de estudio

La población de estudio de la investigación son los lodos residuales sin tratamiento proveniente de la PTAR “El Peral” y el bioabono obtenido en cada uno de los ensayos tratados mediante lombricultura.

2.1.4 Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra dependió del peso de lodo residual requerido para los parámetros a ser analizados y de la cantidad de bioabono a obtener en cada uno de los ensayos. Estas consideraciones permitieron determinar el tamaño de la muestra asegurando que esta sea lo más representativa y confiable posible, que corresponde a 1 Kg de muestra y de la cantidad de lodo total que genera la fosa séptica de la PTAR “El Peral”.

2.1.5 Selección de muestra

La selección de la muestra se basó en una técnica de muestreo al azar compuesto, en la cual se dividió la superficie ocupada por el lodo residual en subunidades, y se tomaron muestras puntuales de cada subunidad. Estas muestras se homogenizaron y se tomaron muestras puntuales de peso menor a las anteriores. Este procedimiento se repite hasta obtener el tamaño de la muestra deseado.

2.2 Metodología

2.2.1 Localización de la experimentación

La experimentación del presente trabajo de titulación se llevó a cabo tanto en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Doméstica “El Peral” del cantón Ambato, en donde se realizaron los ensayos constituidos por lechos para la obtención del bioabono y en las instalaciones del Laboratorio de Ciencias Biológicas de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH se realizó los ensayos de verificación de las características nutritivas del bioabono.

Durante la fase experimental también se realizaron una serie de caracterizaciones de los parámetros de control físicos, químicos, microbiológicos y bromatológicos, a fin de evaluar la eficiencia del tratamiento dado; éstas tuvieron lugar en el Laboratorio de Suelos y en el

Laboratorio de Ciencias Biológicas pertenecientes a la Facultad de Recursos Naturales, y en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

2.2.2 Lugar del muestreo

El muestreo del lodo residual utilizado en el trabajo de titulación tuvo lugar en las cámaras de secado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “El Peral”, la cual está bajo la administración de la EP-EMAPA-A, considerada de tipo doméstica por las características del afluente que trata, dando lugar a la posible reutilización y tratamiento del lodo deshidratado, mediante lombricultura que fue la técnica biotecnológica utilizada en esta investigación.

2.2.3 Caracterización preliminar del lodo residual

El lodo residual deshidratado obtenido como subproducto del tratamiento de la PTAR “El Peral” que recibe las aguas residuales del sistema de alcantarillado de la parroquia Atocha-Ficoa del cantón Ambato, considerado como un afluente doméstico en función de su caracterización física, química y microbiológica realizada por el Laboratorio de Aguas Residuales de la EP-EMAPA-A, se caracterizó el lodo residual (física, química y microbiológica) de acuerdo a normas nacionales e internacionales que permitieron identificar la calidad, considerado como potencial desecho sólido peligroso o especial y se seleccionó la lombricultura como técnica biotecnológica a partir del diseño de lechos de tratamiento.

La caracterización se desarrolló de la siguiente manera:

- Acondicionamiento de la cámara de secado de lodos.
- Medición del volumen de la cámara de secado de lodos.
- Ubicación de los puntos de muestreo.
- Muestreo del lodo residual.
- Análisis de la muestra de lodo residual.

Acondicionamiento de la cámara de secado de lodos

El equipo encargado de la operación y mantenimiento de la PTAR de EP-EMAPA-A, realizó el mantenimiento a la cámara de secado de lodos, retirando desechos o cualquier tipo de material acarreado que pudiera estar presente en la cámara. Una vez limpia la cámara de secado de lodos se descargó el lodo húmedo contenido en la fosa séptica para su deshidratación.

Medición del volumen de la cámara de secado de lodos

La medición del volumen consistió en determinar la cantidad de lodo residual deshidratado depositado en las cámaras de secado que sale de la fosa séptica de la PTAR “El Peral” tomando en consideración la geometría de la misma.

Materiales

Los materiales utilizados para medir el volumen fueron los siguientes:

- Flexómetro.
- Varilla.
- Guantes de látex.
- Mandil.

Procedimiento

El método para el cálculo del volumen fue desarrollado de la siguiente manera:

- Se procedió a la descarga del lodo residual de la fosa séptica de la PTAR “El Peral”, para su deshidratación.
- Una vez deshidratado el lodo residual, con el flexómetro se tomó las medidas (largo, amplitud) de la cámara de secado.
- Se colocó una varilla en el interior de la cámara con el fin de medir la altura del lodo residual deshidratado.
- Se restó la altura total de la cámara con la altura del lodo residual para obtener el valor de la altura del lodo deshidratado.
- Se calculó el volumen del lodo residual deshidratado.

Ubicación de los puntos de muestreo

En la cámara de secado de lodos se ubicó los puntos para la recolección de las muestras que posteriormente fueron sometidas a los análisis respectivos.

Muestreo de lodo residual

La toma de muestra se basó en una técnica de muestreo al azar compuesto, ubicando los puntos de referencia en la cámara de secado de lodos.

Materiales

Los materiales utilizados para el muestreo fueron los siguientes:

- Lona.
- Funda ziploc.
- Pala.
- Cooler.
- Gel refrigerante.
- Guantes de látex.
- Mascarilla.
- Mandil.
- Botas de caucho.

Procedimiento

El muestreo compuesto se realizó de la siguiente manera:

- De acuerdo al periodo de deshidratación del lodo residual se estableció el día de muestreo en la cámara de secado de lodos.
- Utilizando una pala se recolectó 4 submuestras del lodo residual deshidratado colocado en una lona para su homogenización, tomándose dos muestras una para el análisis físico-químico y la otra para el análisis microbiológicos.
- Para el análisis físico-químico se tomó 1 Kg de muestra y se reservó en una funda ziploc, la cual se almacenó en un cooler a una temperatura de 4 °C.
- Para el análisis microbiológico se tomó 1 Kg de muestra en una funda ziploc, y se almacenó en un cooler a una temperatura de 4 °C.
- Inmediatamente tomada la muestra, se identificó cada una de las muestras con información puntual como el lugar de muestreo, el proceso del cual se obtiene la muestra, el personal responsable del muestreo y la hora del muestreo.

Las muestras de lodo residual recolectadas fueron trasladadas al Laboratorio de Suelos y al Laboratorio de Ciencias Biológicas en la Facultad de Recursos Naturales, en un tiempo de 1 hora luego de su muestreo, para su respectivo análisis.

Análisis preliminar de la muestra de lodo residual

- Análisis físico-químico de la muestra de lodo residual

En la siguiente tabla se detalla el parámetro, la unidad, y el método para cada parámetro analizado:

Tabla 1-2. Parámetros analizados en la muestra del lodo residual de la PTAR "El Peral".

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO		
Parámetro	Unidad	Método
pH	UpH	APHA
Materia Orgánica	%	OLSEN
Conductividad Eléctrica	mS/cm	APHA
Humedad	%	APHA
Nitrógeno	%	OLSEN
Fósforo	%	OLSEN
Potasio	%	OLSEN
Calcio	%	OLSEN
Relación Carbono:Nitrógeno		OLSEN

Fuente: Departamento de Suelos, 2016, p. 1.

- Análisis microbiológico preliminar de la muestra de lodo residual

- *Cuantificación de Nematodos*

Materiales

Los materiales utilizados para la determinación de los nematodos fueron los siguientes:

- Balanza.
- Cuchara plástica.
- Embudos de vidrio.
- Tubos recolectores.
- Malla de acero inoxidable.
- Pañuelos desechables.

- Piseta.
- Botellas de 2L.
- Agua destilada.
- Caja Petri de vidrio.
- Microscopio.

Procedimiento

La cuantificación de los nematodos se realizó de la siguiente manera:

- De la muestra recolectada se pesó 50g los cuales se colocaron en un pañuelo desechable.
- Previamente se colocó un embudo en una botella y en el interior del embudo se depositó la malla que servirá como soporte.
- El pañuelo se colocó sobre la malla y se dispensó agua destilada con la ayuda de la piseta hasta cubrir totalmente el pañuelo.
- A las 24 horas de instalado el ensayo se vertió el contenido del tubo recolector en una caja Petri de vidrio y se visualizó en el microscopio óptico realizando el conteo de los mismos.

- *Determinación de las UFC y cuantificación de Enterobacterias*

Materiales

Los materiales utilizados para la determinación de las UFC y la cuantificación de Enterobacterias fueron los siguientes:

- Tubos de 20 mL.
- Tapa rosca para tubos.
- Balanza.
- Gradilla.
- Autoclave.
- Micropipeta de 1000 μ L y 100 μ L.
- Tips de 1000 μ L y 100 μ L.
- Cajas Petri desechables.
- Incubadora.

Reactivos

- Agua destilada.
- Agar MacConkey.
- Agar Eosina Azul de Metileno (EMB)

Procedimiento

- De las diluciones que se obtuvieron desde la 10^{-1} hasta la 10^{-6} , se colocó una alícuota de 100 μL de cada una de las diluciones en cajas Petri con Agar MacConkey y Agar EMB, previamente rotuladas.
- Mediante difusión en placa se realizó la inoculación en el medio.
- Una vez fijado el inóculo, se colocó en la incubadora a una temperatura promedio de $36.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h.
- Posteriormente, se contó las colonias de cada una de las cajas Petri, así como de la identificación de las Enterobacterias de las mismas de acuerdo a su coloración, establecido en las instrucciones de los medios respectivamente.
- Con la cuantificación de las colonias se realizó el cálculo para obtener el valor de las UFC/g.

$$\frac{UFC}{g} = \frac{\bar{X} \times 10^x}{0.1}$$

(Ec. 4-2)

2.2.4 *Diseño de los lechos de tratamiento de los lodos residuales*

El diseño de los lechos de tratamiento de lodos residuales se basó en estudios realizados anteriormente, tomando en consideración el volumen de lodo residual así como el número de ensayos a realizarse.

Para el diseño de los lechos, se realizaron cálculos con valores teóricos, y la construcción conforme al espacio físico utilizable en la PTAR “El Peral” y la disponibilidad económica.

Procedimiento

El diseño de los lechos se realizó de la siguiente manera:

- Se realizó la revisión de información bibliográfica acerca de los lechos.
- En base a la caracterización del lodo residual preliminar de la PTAR “El Peral” y a los parámetros de diseño, se realizaron los lechos para el tratamiento de los lodos residuales y así obtener el bioabono.
- Se dibujó los planos de los lechos empleando los valores de construcción obtenida.

2.2.5 Construcción de lechos para el tratamiento de lodos residuales

Los lechos para el tratamiento de lodos residuales se realizaron a partir del dimensionamiento teórico utilizando ecuaciones y parámetros de diseño acorde al volumen de lodo. En base a las dimensiones de construcción obtenidas se elaboró planos de construcción con la finalidad de asegurar que los lechos construidos tengan exactamente las mismas dimensiones obtenidas en los cálculos. La construcción de los lechos se realizó en las instalaciones de la PTAR “El Peral”.

Materiales

Los lechos para el tratamiento de los lodos residuales ocuparon los siguientes materiales y equipos para su construcción:

- Planchas de madera de 10 mm de espesor.
- Pingos de madera.
- Plástico de invernadero.
- Tachuelas de uña de 1.2 pulgadas.

Para el medio filtrante de los lechos se ocupó los siguientes materiales y equipos:

- Malla de acero inoxidable.
- Silicona.
- Tubo roscable de 1/2 pulgada de diámetro.
- Arena.
- Grava fina.
- Grava gruesa.
- Piedra.

Una vez terminada la fase de construcción de los lechos para el tratamiento de lodos residuales se realizó ensayos de funcionamiento preliminares para realizar las respectivas pruebas experimentales.

2.2.6 Formulación de las pruebas experimentales para la obtención de bioabono a partir del lodo residual

Para el tratamiento de lodo residual procedente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Doméstica se realizaron las siguientes formulaciones:

Tabla 2-2. Ensayos en estudio

Tratamiento	Códigos	Descripción
T1	T1R1	Lodo + lombrices
	T1R2	
	T1R3	
T2	T2R1	Lodo + lombrices + M.O 50:50
	T2R2	
	T2R3	
T3	T3R1	Lodo + lombrices + M.O 30:70
	T3R2	
	T3R3	
T4	T4R1	Lodo + lombrices + M.O 70:30
	T4R2	
	T4R3	

Fuente: Realizado por, Ortiz, Lisseth, 2017.

2.2.7 Pruebas experimentales para la obtención del bioabono a partir de lodo residual

Una vez que los lechos fueron ubicados en la PTAR “El Peral” se procedió a implantar pruebas experimentales con la finalidad de verificar la eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para la obtención de bioabono generado a partir del lodo residual mediante lombricultura y así obtener datos que permitan evidenciar la eficiencia del tratamiento.

2.2.7.1 Caracterización inicial del bioabono

La caracterización se desarrolló de la siguiente manera:

- Muestreo del bioabono de cada uno de los ensayos.
- Análisis físico, químico y microbiológico de las muestras del bioabono obtenido.

- **Recolección del bioabono**

La recolección del bioabono se llevó a cabo en los lechos ubicados en la PTAR “El Peral” perteneciente a la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Parroquia Atocha-Ficoa, en donde se tomó un peso de lodo residual de 1 Kg de muestra de cada uno de los ensayos.

Materiales

Los materiales utilizados para recolección del bioabono fueron los siguientes:

- Funda ziploc.
- Guantes de látex.
- Mascarilla.
- Mandil.
- Marcador indeleble.
- Pala pequeña de jardinería.

Procedimiento

La recolección del bioabono se realizó de la siguiente manera:

- Se identificó los puntos de muestreo en el interior de los lechos y se recolectaron submuestras hasta obtener una muestra homogénea.
- Utilizando una pala se recolectó 4 submuestras del bioabono en una lona para su homogenización, tomándose dos muestras una para el análisis físico-químico y la otra para el análisis microbiológicos de cada uno de los lechos.
- Para el análisis físico-químico se tomó 1 Kg de muestra y se reservó en una funda ziploc, la cual se almacenó en un cooler a una temperatura de 4 °C.
- Para el análisis microbiológico se tomó 1 Kg de muestra en una funda ziploc, y se almacenó en un cooler a una temperatura de 4 °C.
- Inmediatamente tomada la muestra, se identificó cada una de las muestras con información puntual como el lugar de muestreo, el proceso del cual se obtiene la muestra, el personal

responsable del muestreo y la hora del muestreo (este proceso se realizó con los 12 ensayos instalados)

Las muestras de bioabono recolectadas fueron trasladadas al Laboratorio de Suelo y al Laboratorio de Ciencias Biológicas en la Facultad de Recursos Naturales, para su respectivo análisis.

- **Análisis físico-químico inicial del bioabono**

En la siguiente tabla se detalla el parámetro, la unidad, y el método para cada parámetro analizado:

Tabla 3-2. Parámetros analizados en la muestra de bioabono.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO		
Parámetro	Unidad	Método
pH	UpH	APHA
Materia Orgánica	%	OLSEN
Conductividad Eléctrica	mS/cm	APHA
Humedad	%	APHA
Nitrógeno	%	OLSEN
Fósforo	%	OLSEN
Potasio	%	OLSEN
Calcio	%	OLSEN
Relación Carbono:Nitrógeno		OLSEN

Fuente: Departamento de Suelos, 2016, p. 1.

- **Análisis microbiológico inicial del bioabono**

- **Cuantificación inicial de Nematodos**

Inicialmente se realizó la cuantificación de nematodos en el lodo residual preliminar, para el control intermedio se procedió a la cuantificación de cada una de las muestras de los ensayos.

Materiales

Los materiales utilizados para la determinación de los nematodos fueron los siguientes:

- Balanza.
- Cuchara plástica.

- Embudos de vidrio.
- Tubos recolectores.
- Malla de acero inoxidable.
- Pañuelos desechables.
- Botellas de 2L.
- Agua destilada.
- Caja Petri de vidrio.
- Microscopio.

Procedimiento

La cuantificación de los nematodos se realizó de la siguiente manera:

- De la muestra recolectada se pesó 50g, dicha cantidad se colocó en un pañuelo desechable.
 - El pañuelo desechable se dobló evitando que se salga la muestra.
 - Previamente se colocó el embudo con una malla en el interior de la botella.
 - El pañuelo se colocó en el embudo y se vertió agua destilada hasta cubrir totalmente el pañuelo.
 - A las 24 horas de instalado el ensayo se depositó el contenido del tubo recolector en una caja Petri de vidrio y posteriormente se visualizó en el microscopio.
 - Este procedimiento se realizó para cada una de las muestras recolectadas.
- Determinación de las UFC y cuantificación de Enterobacterias

Materiales

Los materiales utilizados para la determinación de las UFC y la cuantificación de Enterobacterias del bioabono intermedio fueron los siguientes:

- Tubos de 20 mL.
- Tapa rosca para tubos.
- Balanza.
- Gradilla.
- Autoclave.
- Micropipeta de 1000 μ L y 100 μ L.
- Tips de 1000 μ L y 100 μ L.

- Cajas Petri desechables.
- Incubadora.

Reactivos

- Agua destilada.
- Agar MacConkey.

Procedimiento

- De las diluciones realizadas desde la 10^{-1} hasta la 10^{-5} , se procedió a colocar una alícuota de la dilución 10^{-5} en cajas Petri con Agar MacConkey, previamente rotuladas.
- Mediante difusión en placa se realizó la inoculación en el medio.
- Luego se colocó en la incubadora a una temperatura promedio de $36.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Posteriormente se contó las colonias en cada uno de los medios así como la identificación de las mismas de acuerdo a su coloración, establecido en las instrucciones del medio.
- Con la cuantificación de las colonias se realizó el cálculo para obtener el valor de las UFC.

2.2.7.2 Caracterización intermedia del bioabono

La caracterización se desarrolló de la siguiente manera:

- Muestreo del bioabono de cada uno de los ensayos.
- Análisis físico, químico y microbiológico de las muestras del bioabono obtenido.

Muestreo del bioabono

El muestreo del bioabono se realizó una vez transcurrido el período de tiempo de tratamiento (6 meses).

Materiales

Los materiales utilizados para el muestreo fueron los siguientes:

- Fundas ziploc.

- Guantes de látex.
- Mascarilla.
- Mandil.
- Marcador indeleble.
- Pala pequeña de jardinería.

Procedimiento

El procedimiento fue desarrollado de la siguiente manera:

- Una vez identificado los puntos de muestreo se recolectaron 4 submuestras del bioabono hasta obtener una muestra homogénea.
- Para el análisis físico-químico se tomó 1 Kg de muestra de cada uno de los ensayos y se reservaron en fundas ziploc, mismas que se almacenaron en un cooler a una temperatura de 4 °C.
- Para el análisis microbiológico se tomó 1 Kg de muestra de cada uno de los ensayos y se reservaron en fundas ziploc, y se almacenaron en un cooler a una temperatura de 4 °C.
- Inmediatamente recolectadas las muestras, se identificó cada una de las muestras con información puntual como el lugar de muestreo, el proceso del cual se obtiene la muestra, el personal responsable del muestreo y la hora del muestreo.

Las muestras de bioabono recolectados fueron trasladadas al Laboratorio de Suelos y al Laboratorio de Ciencias Biológicas en la Facultad de Recursos Naturales, para su respectivo análisis.

- **Análisis físico-químico intermedio del bioabono**

En la siguiente tabla se detalla el parámetro, la unidad y el método para cada parámetro analizado:

Tabla 4-2. Parámetros analizados en la muestra de bioabono.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO		
Parámetro	Unidad	Método
pH	UpH	APHA
Materia Orgánica	%	OLSEN
Conductividad Eléctrica	mS/cm	APHA
Humedad	%	APHA

Nitrógeno	%	OLSEN
Fósforo	%	OLSEN
Potasio	%	OLSEN
Calcio	%	OLSEN
Relación Carbono:Nitrógeno		OLSEN

Fuente: Laboratorio de Suelos, 2016, p. 1.

• **Análisis microbiológico intermedio del bioabono**

La muestra de lodo residual tomada en la PTAR “El Peral” fue trasladada al Laboratorio de Ciencias Biológicas, manteniendo las condiciones adecuadas, a fin de obtener resultados confiables.

Todos los procedimientos fueron realizados de la misma manera como se describe en el procedimiento inicial para la cuantificación de Nematodos y la determinación de las UFC y cuantificación de Enterobacterias.

2.2.8 Ensayo para el análisis de la calidad del bioabono

2.2.8.1 Establecimiento de ensayo en laboratorio de cultivo de rábano Crimson Giant.

Una vez obtenidos los análisis físico-químicos y microbiológicos intermedios del bioabono se procedió a la aplicación del mismo, para la verificación de las características nutritivas del bioabono.

Materiales

Los materiales utilizados para el análisis de la calidad nutritiva del bioabono fueron los siguientes:

- Balanza.
- Cucharas plásticas.
- Tarrinas plásticas desechables.
- Tapas plásticas desechables.

Reactivos

- Semillas de rábano Crimson Giant.

- Bioabono.
- Agua del grifo.

Procedimiento

- Antes de ser colocadas las semillas en el bioabono, se realizó un tratamiento pre-germinativo de choque térmico.
- En cada uno de los recipientes plásticos se colocó 300 g de bioabono, previamente identificado.
- Posteriormente, se colocó 3 semillas en cada uno de los recipientes.
- Finalmente, se dispuso una cantidad de agua del grifo en cada uno de ellos.

*2.2.8.2 Caracterización bromatológica de rábano Crimson Giant (*Raphanus Sativus major*)*

Determinación de humedad

Materiales

Los materiales utilizados para la determinación de la humedad fueron los siguientes:

- Rábanos Crimson Giant (*Raphanus Sativus major*)
- Vidrio reloj.
- Papel aluminio.

Equipos

- Balanza.
- Estufa.
- Desecador.

Procedimiento

- Se pesó 10 g de muestra triturada en la cápsula de porcelana, previamente tarada.
- La muestra se colocó en la estufa a 103 °C +/- 3 por un lapso de 2 a 3 h, hasta obtener un peso constante.

- Se dejó enfriar en el desecador hasta temperatura ambiente y luego se pesó.

Determinación de cenizas

Materiales

Los materiales utilizados para la determinación de cenizas fueron los siguientes:

- Muestra seca.
- Crisol de porcelana.

Equipos

- Balanza.
- Mufla.
- Desecador.

Procedimiento

- Se pesó la muestra seca y se anotó el valor.
- El crisol se transfirió a la mufla y se incineró a 500 °C – 550 °C, hasta que se obtuvo cenizas libres de residuo carbonoso con peso constante.
- La cápsula se secó y fue colocada en el desecador, se enfrió y luego se pesó.

Determinación de proteína cruda

Materiales

- Tubo de digestión MacroKjeldhal.
- Bureta de 25 mL.
- Erlenmeyer de 250 mL.
- Soporte y pinza de bureta.
- Pipeta de 50 mL.

Equipos

- Balanza.

- Digestor y destilador MacroKjeldhal.

Reactivos

- Sulfato de potasio (K_2SO_4).
- Sulfato cúprico ($CuSO_4$).
- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4).
- Hidróxido de sodio (NaOH) al 40 %.
- Ácido bórico (H_3BO_3) al 4 %.
- Ácido clorhídrico (HCl) / 1u.
- Indicador mixto rojo de metilo y verde de bromocresol.

Procedimiento

- Se pesó 0.5 g de la muestra seca en papel aluminio.
- Se agregó 1.8 g de sulfato de sodio y 0.2 g de sulfato cúprico 0.2 g de la mezcla catalizadora (sulfato de sodio y sulfato cúprico).
- Este contenido se colocó en cada tubo del digestor y añadir 20 mL de H_2SO_4 concentrado.
- El contenido de cada tubo se agitó y se llevó al digestor del MacroKjeldhal para su oxidación y/o digestión, a una temperatura graduada en 80 por un tiempo de 90 minutos o hasta que se clarifique el contenido.
- Luego de este tiempo se dejó enfriar el digestor.
- Una vez terminada la fase de digestión se procedió a preparar la etapa de destilación para lo cual se colocó en los matraces Erlenmeyer de 250 cm³, 50 cm³ de H_3BO_3 al 4 % más 2 - 4 gotas del indicador mixto (rojo metilo y verde de bromocresol) y se colocó en la terminal correspondiente del equipo de destilación.
- En cada tubo con la muestra clarificada se colocó 25 cm³ de agua destilada, se agitó hasta homogenizar.
- Se encendió el equipo para iniciar la destilación que duró hasta que el contenido del matraz adquiriera un color verde esmeralda. Se retiró el tubo con su contenido y se desechó.
- Para la fase de titulación se armó el soporte universal con la bureta con HCl al 0.1 N.
- Se tituló hasta obtener un color grisáceo transparente que fue el punto final de la titulación.

Determinación de grasa cruda

Materiales

- Equipo Soxhlet.
- Soporte universal.
- Pinzas universales.
- Mangueras.
- Dedal.

Equipos

- Balanza.

Reactivos

- Éter etílico o éter de petróleo.
- Sulfato cúprico (CuSO_4).

Procedimiento

- Se pesó 2 g de muestra seca y se colocó en el dedal, luego se introdujo en la cámara de sifonación.
- En el balón previamente tarado, se adicionó 50 mL de éter etílico o éter de petróleo (cantidad adecuada dependiendo del tamaño del equipo).
- Se colocó el condensador con las mangueras sobre la cámara de sifonación.
- En el baño maría se controló la entrada y salida de agua y se realizó la extracción por 8 a 12 h.
- Al terminar el tiempo, se retiró el balón con el solvente más el extracto graso y se destiló el solvente.
- El balón con la grasa bruta o cruda se colocó en la estufa por media hora, se dejó enfriar en el desecador y se pesó.

Determinación de fibra cruda

Materiales

- Balón esmerilado.
- Soporte universal.
- Pinzas universales.
- Mangueras.
- Muestra seca y desengrasada.
- Núcleos de ebullición.

Equipos

- Baño termostático.

Reactivos

- Ácido sulfúrico 1.25 %.

Procedimiento

- Se pesó 2 g de muestra seca y desengrasada y se colocó en el balón, con núcleos de ebullición y 250 mL de ácido sulfúrico 1.25 %.
- Se colocó el vaso en el equipo ajustando el condensador, y se calentó hasta ebullición por 30 min.
- Se retiró el vaso del condensador, esperando hasta que se enfríe y se filtró al vacío.

*2.2.8.3 Caracterización microbiológica del rábano Crimson Giant (*Raphanus sativus Major*)*

Materiales

- Cajas Petri.
- Pipeta de 10 mL.
- Micropipeta de 1000 μ L.

- Placas Petrifilm 3M (*E. coli*)
- Muestra de plántula de rábano (hojas, tallo, raíz)

Equipos

- Balanza.
- Incubadora.
- Autoclave.

Reactivos

- Agua de Peptona.
- Agar EMB.

Procedimiento

- Se pesó 3 g de la muestra en papel aluminio.
- La muestra se colocó en 17 mL de agua de peptona de cada uno de los tratamientos y se colocó en la incubadora a 33.7 °C por 24 horas.
- En las cajas Petri se dispensó el medio EMB y se esperó hasta que el medio se solidifique.
- Se realizó diluciones seriadas hasta 10^{-4} , se agitó bien y con la ayuda de la micropipeta se colocó una alícuota de 100 μ L en cada una de las cajas Petri previamente rotuladas.
- En cada una de las placas Petrifilm se colocó una alícuota de 1000 μ L.
- Las cajas y las placas se las colocó en la incubadora a 33.7 °C por 72 horas y se realizó la cuantificación.

2.2.8.4 Caracterización final del bioabono

La caracterización se desarrolló de la siguiente manera:

- Muestreo del bioabono de cada uno de los ensayos.
- Análisis físico, químico y microbiológico de las muestras del bioabono obtenido.

Muestreo del bioabono

El muestreo del bioabono se realizó una vez que se retiró las plántulas, es decir, a los 28 días.

Materiales

Los materiales utilizados para el muestreo fueron los siguientes:

- Fundas ziploc.
- Guantes de látex.
- Mascarilla.
- Mandil.
- Pala pequeña de jardinería.

Procedimiento

El procedimiento fue desarrollado de la siguiente manera:

- Se recolectaron las muestras del bioabono de cada una de los recipientes y se homogenizó.
- Para el análisis físico-químico se tomó 1 Kg de muestra de cada uno de los ensayos y se reservaron en fundas ziploc, mismas que se almacenaron en un cooler a una temperatura de 4 °C.
- Para el análisis microbiológico se tomó 1 Kg de muestra de cada uno de los ensayos y se reservaron en fundas ziploc, y se almacenaron en un cooler a una temperatura de 4 °C.
- Inmediatamente recolectadas las muestras, se identificó de cada una de las muestras con información puntual como el lugar de muestreo, el proceso del cual se obtiene la muestra, el personal responsable del muestreo y la hora del muestreo.

Las muestras de bioabono recolectados fueron trasladadas al Laboratorio de Suelos y al Laboratorio de Ciencias Biológicas en la Facultad de Recursos Naturales, para su respectivo análisis.

- **Análisis físico-químico final del bioabono**

En la siguiente tabla se detalla el parámetro, la unidad y el método para cada parámetro analizado:

Tabla 5-2. Parámetros analizados en la muestra de bioabono.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO		
Parámetro	Unidad	Método
pH	UpH	APHA
Materia Orgánica	%	OLSEN
Conductividad Eléctrica	mS/cm	APHA
Humedad	%	APHA
Nitrógeno	%	OLSEN
Fósforo	%	OLSEN
Potasio	%	OLSEN
Calcio	%	OLSEN
Relación Carbono:Nitrógeno		OLSEN

Fuente: Laboratorio de Suelos, 2016, p. 1.

- **Análisis microbiológico final del bioabono**

Las muestras de bioabono obtenidas de cada uno de los ensayos para la verificación de la calidad fueron realizadas en el Laboratorio de Ciencias Biológicas. Los procedimientos para la cuantificación de Nematodos y la determinación de las UFC y Enterobacterias fueron realizados de la misma manera como se detalla en el procedimiento inicial.

2.2.9 Análisis estadístico

De cada sitio de muestreo se tomó cinco réplicas ($n = 5$), realizándose las comparaciones de los tratamientos (T1, T2, T3, T4) de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos por pruebas no paramétricas debido que los datos no son normales ni homogéneos, utilizando el test de Kruskal - Wallis se determinó si las medianas entre tratamientos difieren entre sí para $p < 0.05$.

CAPÍTULO III

3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Localización de la experimentación

La experimentación del presente trabajo de titulación se llevó a cabo en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Doméstica “El Peral” ubicado en las coordenadas 17M 9863047.72 m Sur 763693.43 m Este 2552 m s.n.m, perteneciente a la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Parroquia Atocha-Ficoa, en dónde se realizaron los ensayos constituidos por lechos para la obtención del bioabono; en las instalaciones del Laboratorio de Ciencias Biológicas de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicado en las coordenadas 17M 158247.00 m Este 9816895.00 m Sur 2821 m s.n.m, perteneciente a la Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Parroquia Lizarzaburu, en dónde se realizó los ensayos de verificación de las características nutritivas del bioabono.

3.2 Lugar del muestreo

El muestreo del lodo residual utilizado en el trabajo de titulación tuvo lugar en las cámaras de secado de la PTAR “El Peral”, considerada de tipo doméstica por las características del afluente que trata dando lugar a la posible reutilización y tratamiento del lodo deshidratado, mediante lombricultura que fue la técnica biotecnológica utilizada en esta investigación.

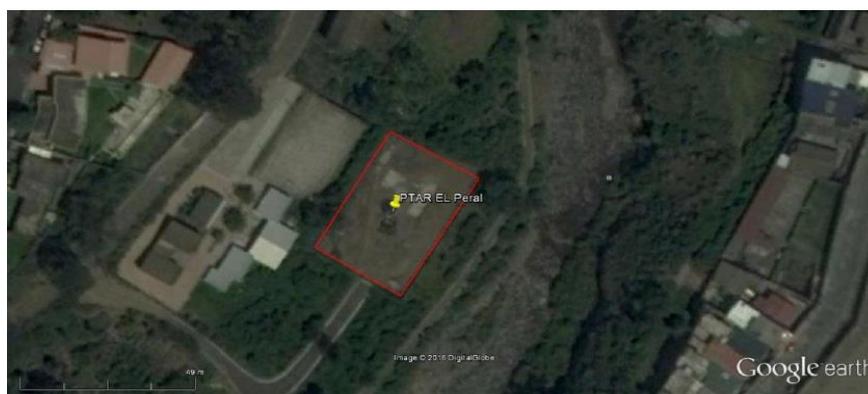


Ilustración 1-3. Ubicación PTAR “El Peral”.

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2017.

3.2.1 Caracterización preliminar del lodo residual húmedo

Tabla 1-3. Caracterización físico-química y microbiológica de lodo residual húmedo.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO			
Parámetros	Unidades	Método utilizado	Resultados
Carbonatos	mg/L CaCO ₃	APHA 2320-B	0
Cadmio	mg/L	HACH 8642	0.03
Cobre	mg/L	HACH 8506	0.05
Cloruros	mg/L	APHA 4500 CI-D	80.0
Cromo Hexavalente	mg/L	HACH 8023	0.082
Fósforo Total	mg/L	HACH 8091	14.25
Fluoruros	mg/L	HACH 8029	0
Mercurio	mg/L	HACH 8341	0.01
Hierro	mg/L	HACH 8008	0.14
pH	UpH	APHA 4500H+B	7.69
Sulfatos	mg/L	HACH 8051	58
Sulfuros	mg/L	HACH 8131	0.737
Tensoactivos	mg/L	HACH 8028	7.028
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
Coliformes fecales	NMP/100mL	COLILERT	10 198 000
Coliformes totales	NMP/100mL	COLILERT	4 830 000

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad, EP – EMAPA - A, 2016, p. 1.

En la Tabla 1-3., se muestran los resultados del análisis físico, químico y microbiológico del lodo residual húmedo obtenido como subproducto del tratamiento de la PTAR “El Peral” que recibe las aguas residuales del sistema de alcantarillado de la parroquia Atocha-Ficoa del cantón Ambato, por lo cual es considerado como un afluente doméstico según el TULSMA Anexo 1.

Tabla 2-3. Caracterización físico-química del lodo residual preliminar de la PTAR "El Peral".

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO			
Parámetro	Unidad	Valor	Interpretación
pH	UpH	6.92	Neutro
Materia Orgánica	%	3.7	Medio
Conductividad eléctrica	mS/cm	3.27	Salino
Humedad	%	51.99	Aceptable
Contenido de nitrógeno	%	1	Bajo
Contenido de fósforo	%	0.54	Bajo
Contenido de potasio	%	0.07	Bajo
Contenido de calcio	%	0.91	Bajo
Relación C:N		2.1	

Fuente: Laboratorio de Suelos, 2016, p. 1.

En la Tabla 2-3., se muestra los resultados de la caracterización físico-química del lodo residual que se empleó para el tratamiento mediante lombricultura, obteniéndose un valor de pH de 6.92 que corresponde a un lodo neutro, según Espinoza (2007), este pH es idóneo para el crecimiento y reproducción de las lombrices; el valor de la conductividad fue de 3.27 mS/cm considerado como ligeramente salino y favorable para el desarrollo de los anélidos según Ortiz-Hernández (1994). El contenido de materia orgánica fue de 3.7 % considerado como óptimo o adecuado. El porcentaje de humedad fue de 51.99 %, según González (2005), lo clasifica como aceptable.

En cuanto al contenido de Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Calcio fueron de 1 %, 0.054 %, 0.07 % y 0.91 % respectivamente. Respecto a relación C:N fue de 2.1, los cuales demuestran la calidad del lodo como material en macronutrientes necesarios para las plantas Ortiz-Hernández (1994).

Tabla 3-3. Caracterización microbiológica del lodo residual preliminar de la PTAR "El Peral".

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
Parámetro	Unidad	Valor
Coliformes fecales	UFC/g	2x10 ⁷
<i>Salmonella</i>	UFC/g	2x10 ⁶
Nematodos	Nematodos/g	1860

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

La Tabla 3-3., muestra los resultados del conteo de microorganismos del lodo residual, se obtuvo 2x10⁷ UFC/g de coliformes fecales, del género *Salmonella* 2x10⁶ UFC/g y el valor de la cuantificación de nematodos fue de 1860 Nematodos/g. Dichos valores se encuentran por encima de los criterios establecidos por la NOM-004-SEMARNAT-2002 para un lodo residual crudo clase "C" por lo tanto, restringe su uso, así como también confirma el riesgo a la salud que presentan estos lodos sin previa estabilización por ser catalogado como un desecho biológico peligroso por rebasar la concentración máxima permitida establecida en la Norma Técnica de Desechos Peligrosos y Especiales.

3.2.2 *Diseño y construcción de lechos para el tratamiento de lodos residuales*

3.2.2.1 *Diseño y construcción de lechos*

El diseño de los lechos para el tratamiento de los lodos residuales mediante lombricultura fue desarrollado al realizar los siguientes cálculos:

- Cálculo de la altura total del lecho (H_{IT}):

Para calcular la altura del lecho se aplicó la Ec. 1-1:

Datos:

$$H_{IU} = 0.40 \text{ m}$$

$$H_{IS} = 0.20 \text{ m}$$

$$H_{IT} = 0.40 \text{ m} + 0.20 \text{ m}$$

$$H_{IT} = 0.60 \text{ m}$$

- Cálculo de la pendiente longitudinal del lecho ($h_l \alpha_L$):

Para el cálculo de la pendiente se aplicó la Ec. 2-1:

$$\alpha_L = 3^\circ$$

$$L_l = 0.80 \text{ m}$$

$$h_l \alpha_L = \text{tg}(\alpha_L) \times L_l$$

$$h_l \alpha_L = \text{tg}(3) \times 0.80 \text{ m}$$

$$h_l \alpha_L = 0.06 \text{ m}$$

- Cálculo de la pendiente en amplitud del lecho ($h_l \alpha_A$):

La pendiente en amplitud se calculó aplicando la Ec.3-1:

Datos:

$$\alpha_A = 2^\circ$$

$$A_l = 0.50 \text{ m}$$

$$h_l \alpha_A = \text{tg}(\alpha_A) \times A_l$$

$$h_l \alpha_A = \text{tg}(2) \times 0.50 \text{ m}$$

$$h_l \alpha_A = 0.02 \text{ m}$$

Tabla 4-3. Parámetros del diseño de lechos para el tratamiento de lodos residuales.

Parámetro	Unidad	Valor de construcción
Altura total del lecho de lombricultura	m	0.60
Pendiente longitudinal del lecho	m	0.06
Pendiente en amplitud del lecho	m	0.02

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

El diseño y construcción de los lechos para el tratamiento de lodos residuales representados en la Tabla 4-3., corresponden a los valores de construcción, para ello se consideró la cantidad de lodo residual para la realización del ajuste de los parámetros de diseño, la disponibilidad del espacio físico, y el aporte investigativo.

Los lechos se construyeron con materiales manejables, entre ellos tenemos madera, plástico de invernadero y tubería sanitaria de PVC, los cuales brindan seguridad y eficiencia durante la operación del mismo.

3.2.3 Caracterización inicial, intermedia y final del bioabono

Tabla 5-3. Caracterización físico-química inicial, intermedia y final del bioabono.

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS					
Identificación	Parámetro	Unidad	Inicial	Intermedia	Final
T1	pH	UpH	5.58	5.87	6.10
	Materia Orgánica	%	3.40	3.50	3.40
	Conductividad eléctrica	mS/cm	2.96	3.20	3.30
	Humedad	%	52.98	52.85	53.10
	Contenido de nitrógeno	%	0.39	0.43	0.36
	Contenido de fósforo	%	2.01	2.20	2.00
	Contenido de potasio	%	0.17	0.21	0.12
	Contenido de calcio	%	0.64	0.90	0.89
	Relación C:N		1.10	1.30	1.30
T2	pH	UpH	5.78	6.10	6.92
	Materia Orgánica	%	4.10	4.20	4.00
	Conductividad eléctrica	mS/cm	3.03	3.38	3.41
	Humedad	%	57.46	56.89	58.02
	Contenido de nitrógeno	%	0.43	0.54	0.31
	Contenido de fósforo	%	2.35	2.70	2.00
	Contenido de potasio	%	0.23	0.26	0.19
	Contenido de calcio	%	1.29	1.70	1.00
	Relación C:N		1.54	1.80	1.40

Tabla 5-3. Caracterización físico-química inicial, intermedia y final del bioabono “Continuación”.

T3	pH	UpH	5.53	5.56	6.76
	Materia Orgánica	%	5.98	6.10	5.8
	Conductividad eléctrica	mS/cm	3.38	3.40	3.43
	Humedad	%	58.66	57.44	59.89
	Contenido de nitrógeno	%	0.49	0.61	0.37
	Contenido de fósforo	%	2.88	3.0	2.76
	Contenido de potasio	%	0.31	0.41	0.33
	Contenido de calcio	%	1.3	2.0	1.2
	Relación C:N		1.42	1.6	1.7
T4	pH	UpH	6.31	6.58	6.98
	Materia Orgánica	%	7.12	7.6	7.4
	Conductividad eléctrica	mS/cm	3.44	3.46	3.50
	Humedad	%	60.53	59.77	61.29
	Contenido de nitrógeno	%	0.51	0.63	0.39
	Contenido de fósforo	%	3.66	3.90	3.01
	Contenido de potasio	%	0.21	0.44	0.38
	Contenido de calcio	%	1.89	2.3	1.96
	Relación C:N		1.87	2.0	1.9

Fuente: Laboratorio de Suelos, 2016, p. 1.

La Tabla 5-3., muestra los resultados de los parámetros físico-químicos del análisis inicial, intermedio y final del bioabono de cada uno de los ensayos luego del tratamiento mediante lombricultura, mostrándose un incremento en cada uno de los valores.

Tabla 6-3. pH del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.

Tratamiento	\bar{X} pH	Rango promedio
T1	6.10	3.00 d
T2	6.92	13.00 b
T3	6.76	8.00 c
T4	6.98	18.00 a

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

Los valores de pH se encuentran en el rango de 6.10 a 6.98, estos se encuentran de acuerdo a los criterios establecidos por Espinoza (2007) en la categoría de ligeramente ácido (6.1-6.5) y neutro (6.6-7.3), observándose un ligero aumento en aquellos tratamientos con material orgánico. Al aplicar la prueba de Kruskal Wallis se comprobó que entre los tratamientos existen diferencias significativas para un nivel significación $p < 0.05$. El T4 con una valor de 6.98 es el más cercano

a los valores establecidos en la norma del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, la Agencia de Protección Ambiental (2001) y por la Comisión Europea (2014) (Tabla 6-3).

Tabla 7-3. Conductividad eléctrica del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.

Tratamiento	\bar{X} CE	Rango promedio
T1	3.30	3.00 d
T2	3.41	8.00 c
T3	3.43	13.00 b
T4	3.50	18.00 a

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

Los valores de conductividad eléctrica, están entre 3.30 a 3.50 mS/cm en los distintos tratamientos experimentales, de acuerdo a los criterios establecidos por Espinoza (2007) en la categoría de muy suavemente salino ($2 < 4$ mS/cm). Al aplicar la prueba de Kruskal Wallis se comprobó que existen diferencias entre todos los tratamientos hay diferencias significativas para un nivel significación $p < 0.05$. El T4 con una valor de 3.50 es el más cercano a los valores establecidos en la norma del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, la Agencia de Protección Ambiental (2001) y por la Comisión Europea (2014) (Tabla 7-3).

Tabla 8-3. Porcentaje de humedad del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.

Tratamiento	\bar{X} Humedad	Rango promedio
T1	53.10	3.00 d
T2	58.02	8.00 c
T3	59.89	13.00 b
T4	61.29	18.00 a

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

Los resultados del análisis de humedad, presentó valores de 53.10 a 61.29 % en los distintos tratamientos experimentales, de acuerdo a los criterios establecidos por González (2005) en la categoría de aceptable (50-75 %). Al aplicar la prueba de Kruskal Wallis se comprobó que entre todos los tratamientos existen diferencias significativas para un nivel significación $p < 0.05$. El T4 con una valor de 61,29 % se encuentra entre los valores establecidos en la norma del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, la Agencia de Protección Ambiental (2001) y por la Comisión Europea (2014) (Tabla 8-3).

Tabla 9-3. Porcentaje de materia orgánica del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.

Tratamiento	Normalidad	\bar{X} M.O	Rango promedio
T1	5	3.40	3.00 d
T2	5	4.00	8.00 c
T3	5	5.80	13.00 b
T4	5	7.40	18.00 a

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

Los valores promedios obtenidos de materia orgánica para los distintos tratamientos varían entre 3.4 a 7.4 %. Según Ortiz-Hernández (1994), se consideran los valores de materia orgánica de los diferentes tratamientos en la categoría de contenido medio (3.1-6.0 %) y contenido alto (> 6.0 %). Al aplicar la prueba de Kruskal Wallis se comprobó que entre todos los tratamientos existen diferencias significativas para un nivel significación $p < 0.05$. El T4 con un valor de 7.40 es el más cercano a los valores establecidos en la norma del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, la Agencia de Protección Ambiental (2001) y por la Comisión Europea (2014) (Tabla 9-3).

Tabla 10-3. Porcentaje de nitrógeno orgánico del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.

Tratamiento	\bar{X} N	Rango promedio
T1	0.36	8.00 c
T2	0.31	3.00 d
T3	0.37	13.00 b
T4	0.39	18.00 a

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

El nitrógeno orgánico obtenido en cada uno de los tratamientos varía entre 0.36 a 0.39 %, considerándose como un alto contenido en el bioabono. Al aplicar la prueba de Kruskal Wallis se comprobó que entre todos los tratamientos existen diferencias significativas para un nivel significación $p < 0.05$. El T4 con una valor de 0.39 es el más cercano a los valores establecidos en la norma del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, la Agencia de Protección Ambiental (2001) y por la Comisión Europea (2014) (Tabla 10-3).

Tabla 11-3. Porcentaje de potasio del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.

Tratamiento	\bar{X} K	Rango promedio
T1	0.12	3.00 d
T2	0.19	8.00 c
T3	0.33	13.00 b
T4	0.38	18.00 a

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

Los tratamientos donde se mezclaron lodo residual con mayor cantidad de materia orgánica (T3 y T4) presentaron un incremento en el contenido de potasio, no obstante, se considera que este aumento se debe a las características de los residuos orgánicos incorporados a cada uno de los sistemas experimentales involucrados y al tratamiento al que fueron sometidos. Los resultados, fueron sometidos a la prueba de Kruskal Wallis se comprobó que entre todos los tratamientos existen diferencias significativas para un nivel significación $p < 0.05$. El T4 con una valor de 0.38 % es el más cercano a los valores establecidos en la norma del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, la Agencia de Protección Ambiental (2001) y por la Comisión Europea (2014) (Tabla 11-3).

Tabla 12-3. Porcentaje de fósforo del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.

Tratamiento	\bar{X} P	Rango promedio
T1	2.00	5.50 c
T2	2.00	5.50 c
T3	2.76	13.00 b
T4	3.01	18.00 a

Al aplicar la prueba de Kruskal Wallis de los datos obtenidos de fósforo se comprobó que existen diferencias entre los tratamientos T3 y T4. Los tratamientos T1 y T2 no presentan diferencias significativas en la medición del fósforo. El T4 con una valor de 3.01 % se encuentra entre los valores establecidos en la norma del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, la Agencia de Protección Ambiental (2001) y por la Comisión Europea (2014) (Tabla 12-3).

Tabla 13-3. Porcentaje de calcio del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.

Tratamiento	\bar{X} Ca	Rango promedio
T1	0.89	3.00 d
T2	1.00	8.00 c
T3	1.28	13.00 b
T4	1.96	18.00 a

Los resultados de los análisis de calcio, fueron sometidos a la prueba de Kruskal Wallis, se comprobó que entre todos los tratamientos existen diferencias significativas del 5 %. El T4 con una valor de 1.96 % es el más cercano a los valores establecidos en la norma del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, la Agencia de Protección Ambiental (2001) y por la Comisión Europea (2014) (Tabla 13-3).

Tabla 14-3. Relación Carbono:Nitrógeno del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.

Tratamiento	\bar{X} RC:N	Rango promedio
T1	1,30	3,00 d
T2	1,40	8,00 c
T3	1,70	13,00 b
T4	1,90	18,00 a

Los resultados de los análisis de la relación C:N, fueron sometidos a la prueba de Kruskal Wallis, se comprobó que existen diferencias significativas para un nivel significación $p < 0.05$ entre todos los tratamientos. El T4 con una valor de 1.90 % es el más cercano a los valores establecidos en la norma del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, la Agencia de Protección Ambiental (2001) y por la Comisión Europea (2014) (Tabla 14-3).

3.2.4 Caracterización microbiológica inicial, intermedio y final del bioabono

Tabla 15-3. Caracterización microbiológica inicial, intermedia y final del bioabono.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO					
Identificación	Parámetro	Unidad	Inicial	Intermedio	Final
T1	Coliformes fecales	UFC/g	2×10^6	5×10^5	5×10^5
	<i>Salmonella</i>	UFC/g	-	-	-
	<i>Nematodos</i>	Nematodos/g	150	50	48

T2	Coliformes fecales	UFC/g	8x10 ⁶	8x10 ⁵	7x10 ⁵
	<i>Salmonella</i>	UFC/g	-	-	-
	<i>Nematodos</i>	Nematodos/g	120	35	33
T3	Coliformes fecales	UFC/g	9x10 ⁶	3x10 ⁶	2x10 ⁶
	<i>Salmonella</i>	UFC/g	-	-	-
	<i>Nematodos</i>	Nematodos/g	83	34	34
T4	Coliformes fecales	UFC/g	3x10 ⁷	4x10 ⁶	3x10 ⁶
	<i>Salmonella</i>	UFC/g	4x10 ⁶	2x10 ⁵	2x10 ⁵
	<i>Nematodos</i>	Nematodos/g	20	18	17

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

La Tabla 15-3., muestra los resultados de los análisis microbiológicos inicial, intermedio y final del bioabono de cada ensayo, entre los cuales se muestra una diversa población bacteriana patógena.

Tabla 16-3. Coliformes fecales en la calidad del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.

Tratamiento	\bar{X} C.f	Rango promedio
T1	500 000	3.00 d
T2	700 000	8.00 c
T3	2 000 000	14.00 b
T4	3 000 000	17.00 a

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

Los resultados del análisis de coliformes fecales, se encuentran en el rango de 5x10⁵ a 3x10⁶ UFC/g. Sin embargo, al aplicar la prueba de Kruskal Wallis se comprobó que entre todos los tratamientos existen diferencias significativas para un nivel significación $p < 0.05$. El T1 con un valor de 5x10⁵ UFC/g, se encuentra entre los valores establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (2001), la Comisión Europea (2014) y la NOM-004-SEMARNAT-2002, lo cual lo clasifica como un sustrato C, es decir, su uso únicamente es con fines forestales. (Tabla 16-3).

Tabla 17-3. Género *Salmonella* en la calidad del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.

Tratamiento	\bar{X} <i>Salmonella</i>	Rango promedio
T1	0	0 b
T2	0	0 b
T3	0	0 b
T4	200 000	18.00 a

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

Los resultados del análisis de esta prueba fueron positivos en 3 de los 4 tratamientos, debido que se evidenció la presencia de este microorganismo únicamente en el T4 que fue de 2×10^5 UFC/g, sin embargo para el T1, T2 y T3 se observó la eliminación total de *Salmonella*. Demostrando de esta manera que la aplicación de técnicas biotecnológicas como la lombricultura en lodos crudos es eficiente en la eliminación de microorganismos patógenos (Tabla 17-3).

Tabla 18-3. Nematodos en la calidad del bioabono obtenido a partir del lodo residual sobre el crecimiento de las plántulas de rábano.

Tratamiento	\bar{X} Nematodos/g	Rango promedio
T1	48	18.00 a
T2	33	8.00 c
T3	34	13.00 b
T4	17	3.00 d

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

Del análisis parasitológico de los distintos tratamientos experimentales se obtuvo: para los tratamientos 1, 2, 3 se observaron 48 Nematodos/g, 33 Nematodos/g y 34 Nematodos/g, respectivamente. Para el tratamiento 4 se observó la reducción en la cantidad de nematodos. Según Chiarpenello (2004) la adición de materia vegetal proporcionó mejores condiciones para la reducción de parásitos. Al aplicar la prueba de Kruskal Wallis se comprobó que entre todos los tratamientos existen diferencias significativas para un nivel significación $p < 0.05$. El T4 con un valor de 17 Nematodos/g, se encuentra entre los valores establecidos en la NOM-004-SEMARNAT-2002, lo cual lo clasifica como un sustrato C, es decir, su uso únicamente es con fines forestales. (Tabla 18-3).

Tabla 19-3. Test de sensibilidad.

MacC	72 Horas			
Código	1 Tstock	2 Pstock	3 Cstock	4 Control
1	-	-	-	-
2	-	11	26	-
3	-	5	-	-
4	-	16	22	-
6	-	8	21	-
7	Sin crecimiento			

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

La Tabla 19-3., muestra que el crecimiento de 4 de los 5 géneros es inhibido por la Polimixina B a excepción del género *Klebsiella* que no presenta halo de inhibición. Lo cual muestra la adaptabilidad así como la resistencia que se presenta en muchos de los géneros bacterianos por su plasticidad genética y rápida replicación. (Labarca, J., & Araos, R. 2009)

3.2.5 Caracterización bromatológica de las plantas de rábano *Crimson Giant*

Tabla 20-3. Caracterización bromatológica de las plantas de rábano *Crimson Giant*.

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO			
Tratamiento	Parámetro	Unidad	Valor
T1	Humedad	%	44.1
	Cenizas	%	3.25
	Grasa	%	0.47
	Proteína cruda	%	8.75
	Fibra	%	23.84
T2	Humedad	%	53.9
	Cenizas	%	4.08
	Grasa	%	1.94
	Proteína cruda	%	9.10
	Fibra	%	24
T3	Humedad	%	54.5
	Cenizas	%	4.26
	Grasa	%	2.94
	Proteína cruda	%	9.63
	Fibra	%	25.00
T4	Humedad	%	55.7
	Cenizas	%	5.01
	Grasa	%	3.44
	Proteína cruda	%	9.73
	Fibra	%	25.00

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

La Tabla 20-3., muestra los análisis bromatológicos de las plantas de rábano *Crimson Giant* de cada uno de los ensayos a los 25 días de haber sido sembradas, obteniéndose que el bioabono obtenido proporciona un aporte nutricional en el crecimiento de las plántulas.

3.2.6 Caracterización microbiológica del producto

Tabla 21-3. Caracterización microbiológica de las plantas de rábano Crimson Giant.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
Tratamiento	Parámetro	Unidad	Valor
T1	<i>E. coli</i>	UFC/g	-
	<i>Enterobacter/Klebsiella</i>	UFC/g	> 300
	<i>Proteus</i>	UFC/g	-
	<i>Salmonella/Shigella</i>	UFC/g	-
T2	<i>E. coli</i>	UFC/g	-
	<i>Enterobacter/Klebsiella</i>	UFC/g	> 300
	<i>Proteus</i>	UFC/g	-
	<i>Salmonella/Shigella</i>	UFC/g	-
T3	<i>E. coli</i>	UFC/g	-
	<i>Enterobacter/Klebsiella</i>	UFC/g	> 300
	<i>Proteus</i>	UFC/g	-
	<i>Salmonella/Shigella</i>	UFC/g	-
T4	<i>E. coli</i>	UFC/g	-
	<i>Enterobacter/Klebsiella</i>	UFC/g	> 300
	<i>Proteus</i>	UFC/g	-
	<i>Salmonella/Shigella</i>	UFC/g	-

Fuente: Realizado por Ortiz, Lisseth, 2016.

La Tabla 21-3., muestra los resultados de los análisis microbiológicos de las plantas de rábano Crimson Giant de cada uno de los ensayos a los 25 días de haber sido sembradas, obteniéndose la presencia de colonias mucoides de color negro-azulado puntiforme y/o colonias mucosas color rosa/púrpura confluentes correspondiente a las bacterias del género *Enterobacter/Klebsiella*.

CONCLUSIONES

- Se obtuvo bioabono a partir de lodo residual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas empleando lombricultura.
- Las características físico, químicas del lodo residual generado en la PTAR Doméstica “El Peral”, están enmarcadas dentro de los parámetros establecidos como aceptables, mientras que la caracterización microbiológica no cumple con los valores de los parámetros establecidos en la Norma Técnica de Desechos Peligrosos y Especiales descartándolo como bioabono.
- El tratamiento T4 con un pH de 6.98, M.O 7.4 %, CE 3.50 mS/cm, humedad 61.29 %, N 0.39 %, P 3.01 %, K 0.38 %, Ca 1.96%, RC:N 1.9, coliformes fecales 3×10^6 UFC/g, *Salmonella* 2×10^5 UFC/g y Nematodos 17 Nematodos/g puede ser considerado un bioabono ya que cumple con los valores de los parámetros establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (2001), la Comisión Europea (2014) y la NOM-004-SEMARNAT-2002, que lo clasifica como un sustrato C, es decir, su uso únicamente es con fines forestales.
- Al utilizar la Lombriz Californiana (*Eisenia foetida*) en el proceso de lombricultura, se determinó que no fue eficiente para obtener un bioabono de calidad, por lo que es necesario la aplicación de procedimientos complementarios que permitan alcanzar los límites permisibles para la incorporación de este material en el suelo.
- El bioabono obtenido si puede ser utilizado como una fuente de nutrientes demostrado en el análisis bromatológico a las plantas de rábano Crimson Giant, sin embargo no hay que descartar la carga microbiana que pudiera incidir de forma negativa.

RECOMENDACIONES

- Realizar un proceso de tinalización para eliminar esporas y bacterias sin alterar la composición química del lodo residual antes de proceder al tratamiento de lombricultura.
- Verificar la operación y mantenimiento de las PTAR, con el objetivo de obtener resultados deseados en el tratamiento de las aguas residuales y la obtención de subproductos de bajo impacto ambiental.
- Es necesario realizar el análisis físico-químico y microbiológico de los subproductos provenientes de las PTAR para conocer la composición de los mismos y su calidad.

BIBLIOGRAFÍA

- 1. ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES (FAO).** [En línea] 2002. [Citado el: 15 de Noviembre de 2016.] <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>.
- 2. COYNE, D. L., NICOL, J. M. y CLAUDIUS-COLE, B.** *International Institute of Tropical Agriculture.* [En línea] 2009. [Citado el: 06 de Enero de 2017.] http://www.spipm.cgiar.org/c/document_library/get_file?p_l_id=17829&folderId=18466&name=DLFE-81.pdf. ISBN 978-131-338-2.
- 3. DÍAZ, Eduardo.** *Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior. Lombricultura una Guía de Producción.* [En línea] Abril de 2002. [Citado el: 07 de Julio de 2016.] <http://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>.
- 4. ESPINOZA, Mayra.** *Edafología.* Riobamba : s.n., 2007. págs. 170-175.
- 5. FERNANDEZ, Cassio.** *Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.* [En línea] 2002. [Citado el: 27 de Septiembre de 2016.] <http://www.cespm.gob.mx/pdf/NOM-004-SEMARNAT-2002.pdf>.
- 6. GARCÍA VÁZQUEZ, E. y MENSA, J.** *Tratamiento de aguas residuales.* [En línea] 2001. [Citado el: 24 de Noviembre de 2016.] https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi-lbLu4cHQAhWG7yYKHWNCBzYQFggeMAA&url=http%3A%2F%2Femergencias.portalsemes.org%2Fdescargar%2Fespectro-antibacteriano-de-cefepima%2Fforce_download%2F&usg=AFQjCNFM7.
- 7. GONZÁLEZ MURILLO, Carlos Alberto.** *Biotecnología en suelos.* [En línea] Marzo de 2006. [Citado el: 12 de Noviembre de 2016.] <http://www.lms.uni.edu.pe/Determinacion%20del%20contenido%20de%20Humedad.pdf>.

- 8. JARA, María Antioneta.** *Manual de Lombricultura.* [En línea] 2007. [Citado el: 24 de Noviembre de 2016.] https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwizsou_9MHQAhUCLSYKHcvdAgwQFggZMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.avancesveterinaria.uchile.cl%2Findex.php%2FACV%2Farticle%2Fdownload%2F915%2F802&usg=AFQjCNFztgJukMCqmp0G4gz.
- 9. LIMÓN MACÍAS, Juan Gualberto.** *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿Problema o Recurso?* [En línea] 2013. [Citado el: 13 de Diciembre de 2016.] http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf.
- 10. LUCERO, Olga.** *Guía de Prácticas de Bromatología. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.* Riobamba : s.n., 2013.
- 11. MUNICIPIO METROPOLITANO DE QUITO.** *Manejo ambientalmente adecuado de lodos provenientes de plantas de tratamiento.* [En línea] 1999. [Citado el: 10 de Septiembre de 2016.] <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/repamar/gtzproye/lodos/lodos.html>.
- 12. METCALF y EDDY.** *Ingeniería de Aguas Residuales.* Tercera. Madrid : McGraw - Hill, 1996. pág. 958. Vol. 1 y 2.
- 13. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.** [En línea] 2016. [Citado el: 27 de Agosto de 2016.] <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-quimicas/es/>.
- 14. ORTIZ RAMOS, Axel Iván.** *Impacto de lodos residuales de la planta de tratamiento de la UAAAN en calabacita tipo zucchini (Cucúrbita pepo L.).* [En línea] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División de Ingeniería, 2013. [Citado el: 12 de Noviembre de 2016.] <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4494/62671%20%20ORTIZ%20RAMOS,%20AXEL%20IVAN%20%20TESIS.pdf?sequence=1>.

- 15. PICAZO, J.** *Composición del suelo*. [En línea] 2000. [Citado el: 24 de Noviembre de 2016.] http://coesant-seimc.org/documents/M%C3%A9todosB%C3%A1sicos_SensibilidadAntibi%C3%B3ticos.pdf.
- 16. PLUIS, Marcelo.** *El suelo y sus características*. [En línea] 15 de Abril de 2010. [Citado el: 29 de Noviembre de 2016.] <http://abonaturaldelombrices.blogspot.com/2010/04/ventajas-de-la-lombriz-roja.html>.
- 17. RAMALHO, Rubens S.** *Tratamiento de Aguas Residuales*. Québec : REVERTÉ, S.A., 2009. pág. 27.
- 18. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto.** *Calidad del Agua*. Tercera. Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. págs. 108-218. ISN 978-958-8060-83-5.
- 19. VADEMECUM.** [En línea] 12 de Marzo de 2015. [Citado el: 24 de Noviembre de 2016.] <http://www.iqb.es/cbasicas/farma/farma04/p037.htm>.
- 20. VARGAS, Lidia.** *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima : REVERTÉ, 2004. pág. 63. Vol. 1. ISBN: 6227016157.

ANEXOS

ANEXO A: MEMORANDO GG-0366-2016, presentada por parte del Jefe de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de la EP- EMAPA-A.



MEMORANDO
GG-0366-2016

PARA : ING. PAUL ACURIO
Jefe de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

DE : ING. FIDEL CASTRO SOLÓRZANO
Gerente General

ASUNTO : ATENDER

FECHA : Ambato, 17 de febrero de 2016

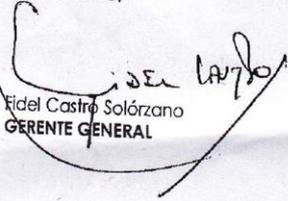
18 FEB 2016

Por medio del presente me permito poner en su conocimiento la parte pertinente a la cláusula vigésimo segunda.- Obligaciones del prestatario / ejecutor (GADM Ambato) y la EP-EMAPA-A, del Convenio de Préstamos y Fideicomiso del Banco de Estado:

- Promover la investigación y aplicar programas para la reutilización de los lodos deshidratados, productos del tratamiento de aguas servidas (tratamiento mediante lodos activos), como por ejemplo, para uso agrícola

Por lo expuesto, solicito se presente en este despacho un informe relacionado con este punto.

Atentamente,


Fidel Castro Solórzano
GERENTE GENERAL

Vanessa J.
2016-02-17
REF: SAD-



ANEXO B: Caracterización preliminar del lodo residual de la PTAR “El Peral”.

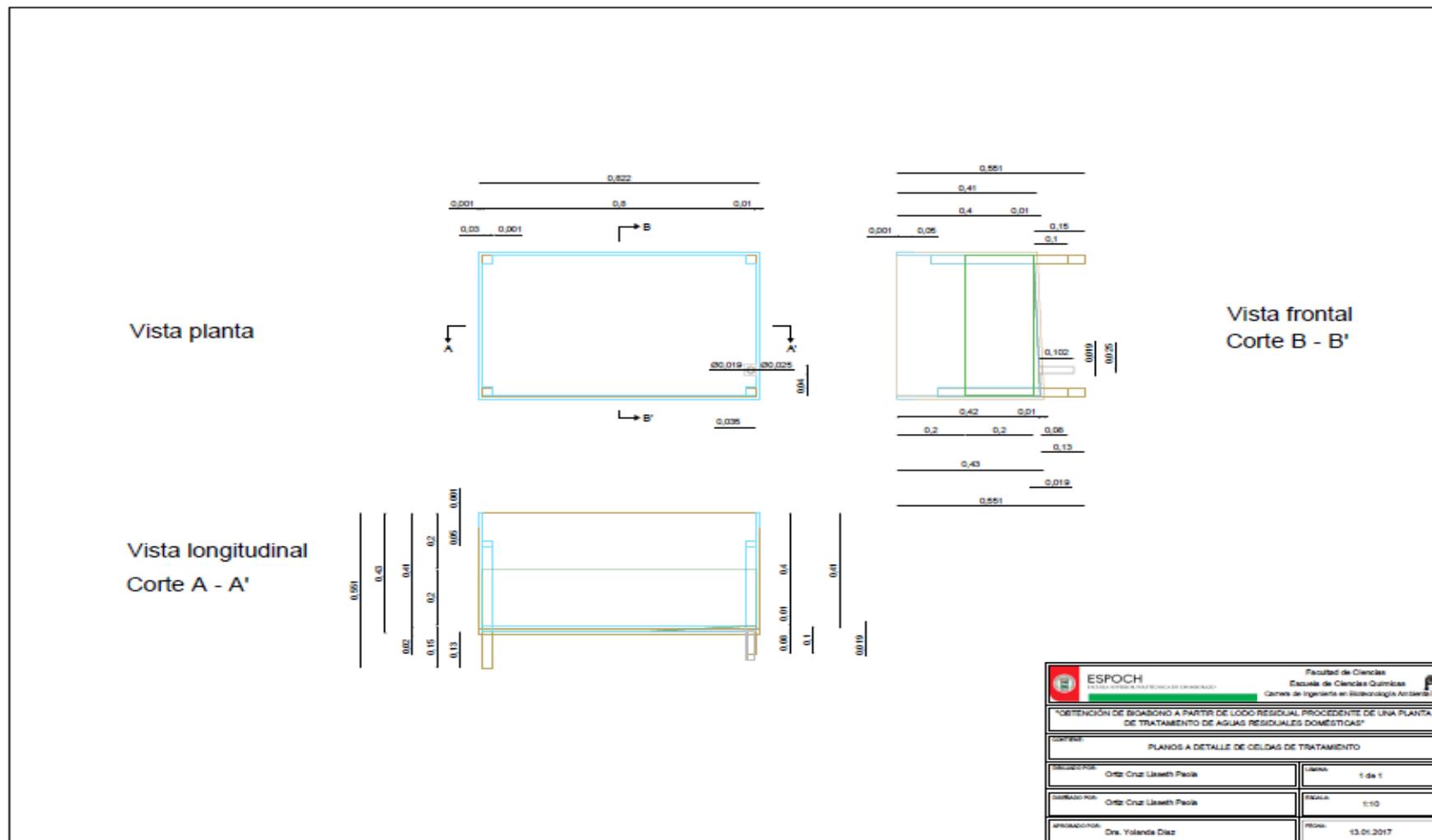


Fotografía 1. Descarga del lodo húmedo de la fosa séptica.



Fotografía 2. Deshidratación del lodo residual en la cámara de secado.

ANEXO C: Planos de construcción de los lechos.



 ESPOCH Escuela Superior Politécnica de Chimborazo		Facultad de Ciencias Escuela de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental	
"OBTENCIÓN DE BIOGASO A PARTIR DE LODO RESIDUAL PROCEDENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS"			
PLANOS A DETALLE DE CELDAS DE TRATAMIENTO			
ELABORADO POR:	Ortiz Cruz Lisbeth Paola	PÁGINA:	1 de 1
REVISADO POR:	Ortiz Cruz Lisbeth Paola	ESCALA:	1:10
APROBADO POR:	Dra. Yolanda Díaz	FECHA:	13.01.2017

ANEXO D: Instalación de los lechos para el tratamiento del lodo residual.



Fotografía 3. Construcción de los lechos.



Fotografía 4. Colocación del lodo residual en los lechos.



Fotografía 5. Adición de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).



Fotografía 6. Adición de materia orgánica en los lechos.



Fotografía 7. Cubierta de los lechos para el tratamiento del lodo residual.

ANEXO E: Análisis microbiológico de la muestra del lodo residual.



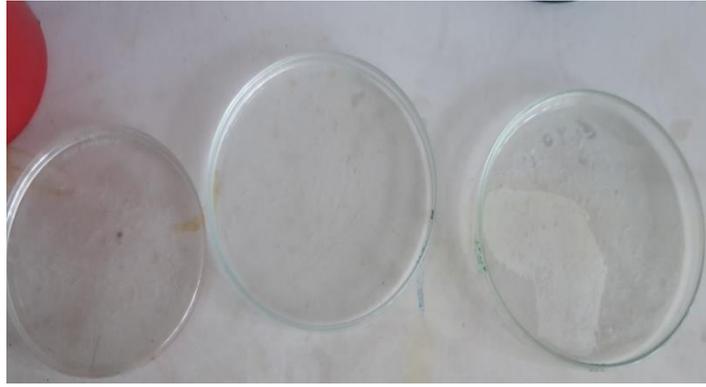
Fotografía 8. Preparación del medio MacCONKEY.



Fotografía 9. Inoculación microorganismos en medio MacCONKEY.



Fotografía 10. Instalación de ensayo para la cuantificación de nematodos.



Fotografía 11. Recolección de muestras para la cuantificación de nematodos.

ANEXO F: Aplicación del bioabono en semillas de rábano Crimson Giant (*Raphanus sativus Major*).



Fotografía 12. Tratamiento pre-germinativo de choque térmico de la semilla de rábano Crimson Giant.



Fotografía 13. Siembra en tarrinas de la semilla de rábano Crimson Giant (*Raphanus sativus Major*).



Fotografía 14. Evaluación de germinación de la semilla de rábano Crimson Giant a los 28 días.



Fotografía 15. Evaluación de germinación de la semilla de rábano Crimson Giant a los 28 días.

ANEXO G: Análisis bromatológico de plántulas.



Fotografía 16. Muestras de plántulas para análisis bromatológico.



Fotografía 17. Preparación de muestras.



Fotografía 18. Obtención de cenizas.



Fotografía 19. Obtención de fibra.



Fotografía 20. Obtención de proteína.

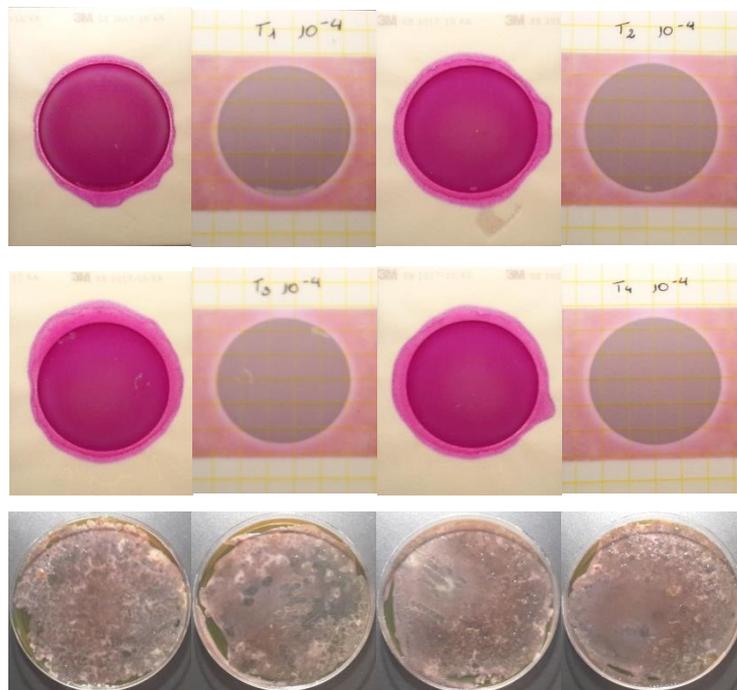


Fotografía 21. Obtención de grasa.

ANEXO H: Análisis microbiológico de plántulas.



Fotografía 22. Preparación de muestras.



T₁ 10⁻⁴

T₂ 10⁻⁴

T₃ 10⁻⁴

T₄ 10⁻⁴

Fotografía 23. Obtención de resultados de inoculación de microorganismos.

APÉNDICE

APENDICE A: Realización de Tinción Gram.

Tabla 1. Realización de Tinción de Gram de cultivos puros.

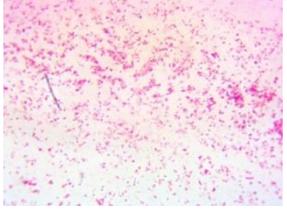
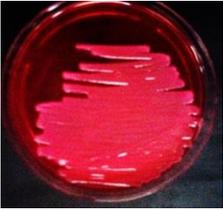
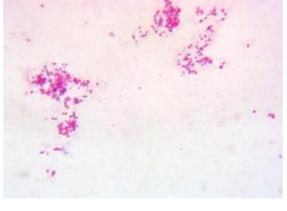
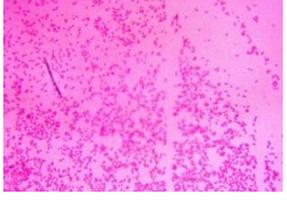
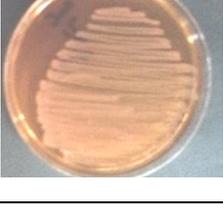
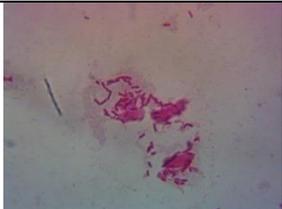
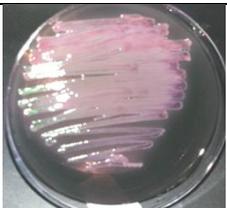
Identificación	Cultivo Puro	Tinción de Gram
<i>Escherichia coli</i> G ⁻ Cocobacilo		
<i>Escherichia coli</i> G ⁻ Cocobacilo		
<i>Escherichia coli</i> G ⁻ Cocobacilo		
<i>Enterobacter / Klebsiella</i> G ⁻ Bacilo		
<i>Proteus / Salmonella</i> G ⁻ Coco		

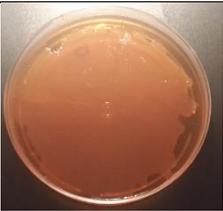
Tabla 22. Realización de Tinción de Gram de cultivos puros “Continuación”.

<p><i>Klebsiella</i> G⁻ Cocobacilo</p>		
<p><i>Escherichia coli</i> G⁻ Bacilo</p>		
<p><i>Enterococcus</i> G⁻ Bacilo</p>		

Fuente: Realizado por, Ortiz, Lisseth, 2017.

APENDICE B: Test de sensibilidad.

Tabla 2. Realización de test de sensibilidad.

Identificación	Cultivo puro	Test de resistencia
1. <i>Shigella</i>		
2. <i>Escherichia coli</i>		
3. <i>Enterobacter</i>		
4. <i>Proteus</i>		
6. <i>Salmonella</i>		

Fuente: Realizado por, Ortiz, Lisseth, 2017.