

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“TRATAMIENTO DE LODO RESIDUAL PROVENIENTE DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A TRAVES
DEL VERMICOMPOSTAJE COMO TECNOLOGIA AMBIENTAL”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

HUAMAN CHIROQUE, LEIDY MAGALY

Villa El Salvador

2019

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada a:

Mi madre por todo el cariño que me ha dado y por absolutamente todo el esfuerzo que ha hecho; no solo para que yo concluya satisfactoriamente la carrera profesional sino también para que no me dé por vencida nunca, en ningún aspecto de la vida.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar le agradezco a Dios por su dirección, cuidado y amor infinito e incondicional a lo largo de mi vida, además quiero agradecer a los profesionales y amigos que de una u otra manera colaboraron en el desarrollo de la presente investigación, sobre todo a mis amigos de la universidad UNTELS y del CITRAR-UNI.

No puedo terminar esta parte sin agradecer a Josue; mi hermano y una de las personas más importantes en mi vida, muchas gracias, por tu apoyo y paciencia, te quiero demasiado, finalmente le agradezco a María, porque aunque ya no esté con nosotros nunca deja de inspirarme.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	2
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	2
1.2. Justificación del problema.....	3
1.3. Delimitación del problema	4
1.3.1. Teórica	4
1.3.2. Temporal.....	4
1.3.3. Espacial.....	5
1.4. Formulación del problema	6
1.4.1. Problema general	6
1.4.2. Problemas específicos.....	6
1.5. Objetivos	7
1.5.1. Objetivo General.....	7
1.5.2. Objetivo específico	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes	8
2.2. Bases teóricas.....	13
2.3. Definición de términos básicos	27
CAPITULO III	29
DESARROLLO DEL TRABAJO	29
3.1. Modelo de solución propuesto	29
3.2.1. Población y muestra.....	29
3.2.2. Metodología del trabajo de investigación	30
3.2. RESULTADOS	44
3.2.1. Análisis fisicoquímico de lodo residual inicial y humus final.....	44
3.2.2. Monitoreo de pH, Temperatura y conductividad en el tratamiento de lodo residual	46
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	56

LISTADO DE FIGURAS

Figura N° 1: Digestión Anaerobia	17
Figura N° 2: Lodos anaerobios granulados	18
Figura N° 3: Gránulos anaerobios	18
Figura N° 4: Vermicompostaje.....	25
Figura N° 5: Eisenia Foetida o Roja Californiana	25
Figura N° 6: Ubicación de la toma de muestra	30
Figura N° 7: Toma de muestra de Lodo residual.....	31
Figura N° 8: Implementación del sistema	32
Figura N° 9: Mezcla lodo residual compost	33
Figura N° 10: Tratamientos	34
Figura N° 11: Monitoreo de temperatura In Situ	35
Figura N° 12: Secado de muestras	36
Figura N° 13: Molienda y tamizado de muestras.....	37
Figura N° 14: Pesado y dilución de las muestras	37
Figura N° 15: Agitación y lectura de pH	38
Figura N° 16: Agitación, filtración y lectura de C.E.....	39
Figura N° 17: Control de humedad.....	39
Figura N° 18: Pesado de crisoles	41
Figura N° 19: Secado, calcinación y pesado final	41
Figura N° 20: Resultados de materia orgánica.....	45
Figura N° 21: Resultados de Carbono orgánico Total	45
Figura N° 22: Resultados de Nitrógeno Total.....	46
Figura N° 23: Resultados de Relación C/N	46
Figura N° 24: Grafica de Monitoreo de pH	47
Figura N° 25: Grafica del monitoreo de Temperatura.....	48
Figura N° 26: Grafica de resultados del monitoreo de C.E.....	50

LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 1: Estabilización de lodos	13
Tabla N° 2: Parámetros de toxicidad química en biosolidos de clase A y de clase B	14
Tabla N° 3: Parámetros de higienización de biosolidos	14
Tabla N° 4: Composición de unidades experimentales	35
Tabla N° 5: Resultados del análisis fisicoquímico de lodo residual inicial Informe de ensayo I.E-19-1180 y humus final	44
Tabla N° 6: Resumen de resultados del monitoreo de pH	47
Tabla N° 7: Resumen de resultados del monitoreo de Temperatura.....	49
Tabla N° 8: Resumen de resultados del monitoreo de C.E	50

INTRODUCCIÓN

El reúso de lodos residuales es actualmente poco valorado a nivel nacional, este residuo suele ser dispuesto finalmente en rellenos sanitarios, al realizar una investigación de la situación actual del manejo de lodos residuales en nuestro país, se encontró escasa información al respecto, el enfoque actualmente está sobre las aguas residuales lo cual está muy bien, pero no puede dejarse de lado la problemática de los lodos residuales ya que este residuo suele ser una constante en cada Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, no solo en las unidades de tratamiento anaerobias como se estudia en esta investigación sino también y en mayor medida en las unidades de tratamiento aerobias .

La idea de desarrollar esta investigación, surge de la necesidad de desarrollar tecnologías limpias eficientes y económicamente viables para el tratamiento de lodos residuales, además de la oportunidad de reutilizar este tipo de residuo generado en el tratamiento de aguas residuales, en este caso, un proceso anaerobio, con el fin de convertirlo en un subproducto ecológico y amigable con el medio ambiente.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Quizás el problema de tratamiento de agua más urgente en este momento tiene que ver con el lodo colectado o producido durante el tratamiento del agua residual. Encontrar un lugar seguro para evacuar el lodo o un uso para el mismo, es una cuestión problemática, que se incrementa por el número creciente de plantas de tratamiento de agua. (Manahan, 2007)

Sumado a este problema, la degradación de suelos y la pérdida de cobertura vegetal es también una problemática cada vez más notoria; no solo en zonas rurales sino también en áreas urbanas, la preocupación mundial es la recuperación de estas áreas que permiten no solo la mejora paisajística, sino también el desarrollo de la agricultura y en zonas urbanas una mejor calidad de vida para la población cercana.

Debido a la situación actual tan crítica respecto a este tema, la presente investigación pretende evaluar una alternativa de solución basada en el uso de lombrices de la especie *Eisenia Foetida* como productoras de vermicompost a partir de lodo residual y con ello tratar estos lodos residuales hasta convertirlos en un subproducto ecológico que se pueda utilizar como acondicionador de suelo o abono orgánico el cual en un futuro permita tener la ventaja de recuperar periódicamente zonas de suelo degradadas en áreas urbanas y también en terrenos agrícolas, ya que esta tecnología es ideal para este fin, puesto que no solo permite la eliminación de un problema ambiental sino que además como se mencionó anteriormente; brinda un subproducto de mucha importancia ecológica.

1.2. Justificación del problema

Aunque existen distintos tipos de tratamiento de lodos residuales, la mayoría de ellos suelen ser muy costosos y en muchos casos solo generan la estabilización del lodo residual, para luego disponerlo en rellenos sanitarios, actualmente en el país no contamos con una correcta disposición de Residuos Sólidos, esto incluye también a los lodos residuales generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

En la presente investigación se escogió el uso de la tecnología ambiental del vermicompostaje, para realizar el tratamiento de lodos residuales, esta es una tecnología limpia, la cual cuenta con resultados comprobados en distintas investigaciones.

El proceso de vermicompostaje es considerado como una eco tecnología, sin impacto ambiental y cuyos costes de inversión, energéticos y de mantenimiento son moderadamente bajos. Su empleo aporta como beneficios la eliminación de residuos orgánicos nocivos y la generación de un producto final útil llamado Vermicompost el cual cuenta con un gran valor como enmienda orgánica del suelo, además es de alta calidad y puede funcionar como un abono químico. (Dominguez & Perez Diaz, 2011)

La investigación de nuevas tecnologías ambientales de tratamiento de lodo residual como lo es la del vermicompostaje no solo disminuirá este contaminante como tal, sino que facilitará su utilización como acondicionador de suelo o abono orgánico usándolo en un futuro en distintos terrenos agrícolas o zonas urbanas que requieran ser recuperadas como áreas verdes.

Cabe precisar que una sociedad donde la población recicle la materia orgánica, hoy en día no es sólo una alternativa, sino una necesidad dada la situación ambiental en la que nos encontramos actualmente. Por ello, no sería lógico que se pierdan o se desperdicien residuos con contenido orgánico tan valiosos como el lodo residual proveniente de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales; cuando podrían ser usados como abono

orgánico en otras áreas del país donde la pérdida de suelo aumenta día a día.

Finalmente, aunque esta investigación se enfoca en tratar lodo residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas de CITRAR – UNI, en base a esta investigación se podrían desarrollar otras en distintas Plantas de Tratamiento de aguas residuales que generen lodo como residuo.

1.3. Delimitación del problema

1.3.1. Teórica

La presente investigación abarca los temas teóricos del tratamiento de lodos residuales provenientes de un reactor anaerobio de flujo ascendente y estudia la tecnología ambiental del vermicompostaje como tratamiento de este lodo residual, además se basa en estudios e investigaciones teóricas y experimentales al respecto.

1.3.2. Temporal

La presente investigación se desarrolló durante los meses de febrero a marzo del año 2019, para reducir el tiempo de vermicompostaje se efectuaron volteos diarios. Además se mezcló el lodo residual con compost en proporción 1:2. Para acelerar el proceso y para reducir la humedad del lodo.

Teóricamente según la Asociación Grama en su manual de vermicompostaje una vez inoculadas las lombrices *Eisenia Foetida*, pasa un tiempo de 7 a 15 días hasta que estas consuman el sustrato, dependiendo de la cantidad de alimento y densidad de población, además estas lombrices son muy prolíficas y cada una puede producir 0,3 gr diario de humus.

1.3.3. Espacial

La presente investigación se realizó la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS) ubicada en el distrito de Villa El Salvador, provincia y departamento de Lima. La muestra de lodo residual fue tomada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales CITRAR- UNI, ubicada en el distrito del Rímac, el análisis de la muestra inicial se realizó en el laboratorio ALAB (Analytical Laboratory E.I.R.L.) y finalmente los monitoreos periódicos se llevaron a cabo en el laboratorio de química de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS).

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

- ¿De qué manera la técnica del vermicompostaje como tecnología ambiental favorece en el tratamiento de lodo residual proveniente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales?

1.4.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la calidad del humus obtenido a través del vermicompostaje de una muestra de lodo residual proveniente de una Planta de Tratamiento de Aguas residuales?
- ¿De qué manera influye el porcentaje de compost y el tiempo en el tratamiento de lodo residual proveniente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales a través del vermicompostaje como tecnología ambiental?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Evaluar el vermicompostaje como tecnología ambiental en el tratamiento de una muestra de lodo residual proveniente de una Planta de Tratamiento de Aguas residuales.

1.5.2. Objetivo específico

- Evaluar la calidad del humus obtenido a través del vermicompostaje de una muestra de lodo residual proveniente de una Planta de Tratamiento de Aguas residuales.
- Evaluar los niveles de compost y el tiempo necesario para el tratamiento a través del vermicompostaje de una muestra de lodo residual proveniente de una Planta de Tratamiento de Aguas residuales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Gonzales D,L (2017) “Evaluación de vermicompostaje como tratamiento de lodos provenientes de industria celulosa” esta investigación realizada en Chile, presentó los resultados al tratar lodo generado en una PTAR de industria celulosa, a través del vermicompostaje, esto con la finalidad de obtener humus como subproducto, se prepararon 12 lechos, 6 se utilizaron para la obtención de muestras; divididos en 2 tratamientos (T1 y T2), en estos se analizó el crecimiento poblacional, análisis físico y químico, se compararon los resultados con la normativa, como resultado obtuvieron un aumento de población de 10.000 a más de 1.500.000 lombrices en unos de los lechos (lecho 3), hubo cerca de 30 mil lombrices por m², los lechos tuvieron una medida de 20 metros de largo por 1 metro de ancho y la altura de este fue de aproximadamente 30 cm, a los 16 meses se generó humus.

En esta investigación el vermicompostaje generó cambios físicos, como la disminución del tamaño de partícula, variación de la plasticidad a ligeramente plástico, ligeramente adhesivo. El análisis químico mostró que existen diferencias significativas en carbono, relación carbono – nitrógeno, materia orgánica, lo que demostró mineralización de materia orgánica.

En los metales pesados el plomo y el cadmio presentaron disminución en sus concentraciones. Las pruebas que mostraron diferencias significativas fueron; pH, nitrógeno (N), Conductividad eléctrica (C.E.) y cadmio (Cd) en T1, C.E. y plomo (Pb) en T2. En los

nutrientes se observó variación del humus respecto del lodo, a pesar de que N, P, K totales no mostraron aumento o disminución, las formas solubles de estos N-NO₃, P₂O₅, K₂O, aumentaron en el humus, demostrando transformaciones químicas en estos nutrientes.

El humus generado por este proceso tuvo un bajo valor nutricional, pero cuenta con nutrientes disponibles y con propiedades físicas que le permiten una buena retención de agua. Su bajo nivel nutricional se debe a la carencia de nutrientes en los lodos generados en la producción de celulosa.

Montoya Moreno & Buitrago (2011); Realizaron la investigación “Producción de humus a través del tratamiento de biosólidos con vermicompostaje, una mirada al futuro” En este proyecto se realizó una investigación bibliográfica del estado del arte del vermicompostaje o lombricultura en Latinoamérica, específicamente en Colombia y Brasil con el objetivo de comparar el desarrollo de tratamiento de biosólidos con vermicompostaje. Los biosólidos se clasifican en A o B, de acuerdo a su composición química y biológica determinada por la EPA, la cual restringe su uso de acuerdo a los niveles de las diferentes sustancias que la componen, con el fin de evitar efectos nocivos. Para el tratamiento de biosólidos existen diferentes métodos de transformación, para convertirlos en un material útil, siendo de total beneficio para el suelo y el medio ambiente.

Se pudo concluir que el vermicompostaje es una de las mejores alternativas y herramientas para el tratamiento de biosólidos a partir de una serie de fases que permite el aprovechamiento de esto.

Droppelmann, Gaete, & Miranda, (2009) realizaron la investigación que lleva como título “Remoción mediante vermicomposteo de los coliformes fecales presentes en lodos biológicos” ellos buscaron establecer el efecto de la densidad inicial de lombrices en la remoción de patógenos, mediante vermicomposteo

de lodo, usando como indicador el número más probable de coliformes fecales (NMPCF). El lodo utilizado se generó en una planta de aireación extendida, se trabajó con 4 densidades: alta con 0,2 kg lombrices/kg lodo, media con 0,1 kg lombrices/ kg lodo, baja con 0,05 kg lombrices/kg lodo y un blanco sin la adición de lombrices al lodo.

Al segundo día de experimentación con la densidad media se logró una mayor remoción, estadísticamente significativa, del NMPCF que la obtenida con la densidad alta. El mismo día, todas las densidades lograron la clasificación de lodo clase B según United States Enviroment Protection Agency. Entre el día 13 y el 20 las muestras con densidades alta, baja y media lograron la clasificación clase A, clasificación que no se pudo alcanzar en el blanco. Al día 20 la densidad media y densidad alta lograron el 100% de remoción de los coliformes fecales.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Marquina T, L & Martínez F, J (2016) "Obtención de abonos orgánicos por medio de las lombrices *Eisenia foetida* de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo Lima Perú" el objetivo de esta tesis fue determinar la calidad del abono orgánico obtenido por medio de la lombricultura a partir de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo.

El efecto de la actividad de la lombriz (*Eisenia foetida*) sobre los lodos residuales, se evaluó mediante un diseño cuasi experimental con cuatro mezclas: m1 (Lodo residual + lombrices), m2 (Lodo residual + compost + lombrices), m3 (Lodo residual + estiércol de conejo + lombrices), y m4 (Lodo residual + compost + estiércol de conejo + lombrices) y una muestra de 1 Kg de lodo residual sin recibir el estímulo, el cual fue caracterizado.

Al término del proceso de lombricultivo se observó que la m3 (Lodo residual + estiércol de conejo + lombrices), cumplió con los parámetros de pH, color del abono orgánico y la cantidad de lombrices, lo que determinó el ecosistema óptimo para el desarrollo de la lombriz "*Eisenia foetida*".

Luego se cogió una muestra de 1 kg de mezcla m3 (Lodo residual + estiércol de conejo + lombrices) con la finalidad de conocer sus características Fisicoquímicas ya que fue el tratamiento que cumplió con los parámetros, obteniéndose que el abono orgánico posee un alto contenido de materia orgánica así como los nutrientes adecuados.

Como conclusión general la lombricultura con *Eisenia Foetida* influyó significativamente en la calidad del abono orgánico obtenido a

partir de lodos Residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo, aportando de tal forma con el avance de la ciencia y la tecnología.

Castro Y, S (2016) En su trabajo de investigación “Vermicompostaje utilizando *Eisenia Foetida* y bioabonos para la reducción de Huevos de Helmintos de lodos residuales – planta de tratamiento CITRAR 2016”. Se caracterizaron lodos de la PTAR CITRAR para determinar la calidad de lodos generados, obteniendo como resultado de los análisis que había gran cantidad de Huevos de Helminto (69 N°/4g) presente en los lodos. Por lo que se realizó el tratamiento de vermicompostaje utilizando la lombriz *Eisenia foetida* sobre los lodos residuales, se evaluó mediante un diseño experimental con tres tratamiento: T1 (Lodo residual + compost + lombrices) , T2 (Lodo residual + estiércol de vaca + lombrices) y T3 (Lodo residual + estiércol de caballo + lombrices) cuyos resultados finales fueron para T1 de 14n°/4g; T2 obtuvo un resultado de 11 n°/4g y T3 obtuvo un resultado de 9 n°/4g. Comprobando así que el vermicompostaje es efectivo en la remoción de Huevos de Helminto para cada tratamiento considerado permitiendo así reutilizar como abono orgánico sin peligro al estar en contacto con personas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Marco Normativo

A nivel nacional, actualmente contamos con el D.S N° 015-2017-VIVIENDA Decreto Supremo que aprueba el reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de Aguas residuales.

Este Reglamento tiene por finalidad promover el reaprovechamiento de los lodos generados en las PTAR, que luego de ser transformados en biosólidos, pueden ser utilizados en actividades agrícolas, forestales, industria cerámica, entre otras, considerando los riesgos a la salud y el ambiente.

En este Reglamento se especifican los siguientes criterios con los que deberán cumplir los lodos residuales para ser reaprovechados:

Artículo 12.- Parámetro de estabilización

12.1. Los lodos generados en las PTAR para ser estabilizados y calificados como biosólidos de Clase A y de Clase B deben cumplir con el siguiente parámetro:

Tabla N° 1: Estabilización de lodos

Tabla N°1 Estabilización de lodos
<u>Concentración de materia orgánica :</u> Materia orgánica (SV) ≤ 60% de Materia seca (ST)

Fuente: D.S 015-2017-VIVIENDA

Artículo 13.- Parámetro de toxicidad química

13.1. Los biosólidos de Clase A y de Clase B deben cumplir con los siguientes parámetros de toxicidad química:

Tabla N° 2: Parámetros de toxicidad química en biosólidos de clase A y de clase B

Tabla N°2								
Parámetros de toxicidad química en biosólidos de Clase A y de Clase B								
Mg/kg ST Materia seca	Arsénico	Cadmio	Cromo	Cobre	Plomo	Mercurio	Níquel	Zinc
Clase A y Clase B	40	40	1200	1500	400	17	400	2400

Fuente: D.S 015-2017-VIVIENDA

Artículo 14.- Parámetros de higienización

14.1. Los biosólidos de Clase A y de Clase B deben cumplir con los parámetros de higienización siguientes:

Tabla N° 3: Parámetros de higienización de biosólidos

Tabla N°3		
Parámetros de higienización de biosólidos		
Indicador	Clase A	Clase B
Indicadores de contaminación fecal	<i>Escherichia coli</i> < 1000 NMP/ 1g ST o <i>Salmonella sp.</i> < 1 NMP / 10g ST	El nivel de higienización se puede demostrar con el cumplimiento de los procesos previstos en el Anexo I, en su defecto, mediante alguna de las tecnologías indicadas para la higienización, en la Sección B del Anexo N° II.
Indicador de huevos de helmintos	Huevos viables de helmintos < 1/4g ST o prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización	

Fuente: D.S 015-2017-VIVIENDA

El Artículo 10.- Posibilidad de mezclar los lodos con otros componentes para la producción de biosólidos menciona en el inciso 10.1. Que a efectos de los procesos de estabilización y/o de higienización, el productor de biosólidos está habilitado a mezclar los lodos con sustratos de complemento siempre y cuando se garantice que la calidad final del biosólido que se produzca cumpla con los parámetros establecidos en el presente Reglamento.

Adicionalmente el Artículo 11.- Clasificación de biosólidos, inciso 11.3. Indica que en caso que los lodos generados en las PTAR no cumplan con los parámetros de estabilización e higienización al momento de su extracción de la PTAR, dichos parámetros deben ser alcanzados como parte del proceso de producción de biosólidos conforme a las tecnologías de estabilización e higienización previstas en los Anexo I y II, respectivamente.

2.2.2. Lodos residuales

El tratamiento de las aguas residuales, tanto municipales como industriales, tiene como objetivo remover los contaminantes presentes con el fin de hacer estas aguas aptas para otros usos o bien para evitar daños al ambiente. Sin embargo, el tratamiento del agua trae siempre como consecuencia la formación de lodos residuales, subproductos indeseables difíciles de tratar y que implican un costo extra en su manejo y disposición. (Garcia, 2006)

a. Definición de lodos residuales

(Galvis Toro & Rivera, 2013) Nos indica que uno de los principales constituyentes del agua residual; eliminados en las plantas de tratamiento de aguas residuales es el lodo. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamientos de las aguas residuales generalmente suelen ser un líquido o un líquido – semisólido con gran contenido de sólidos entre 0.25 – 12%. Los procedimientos para tratar los lodos varían según la fuente y el tipo de aguas residuales de las que se derivan, del proceso utilizado para tratar las aguas residuales y del último método de disposición a la que se destinan los lodos.

El lodo es, quizás, el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos de aguas residuales. Su tratamiento y evacuación es probablemente, el problema más complejo a tratar en cuanto a residuos en una planta de tratamiento de aguas residuales. (Galvis Toro & Rivera, 2013)

b. Tipos de lodos residuales

Como nos indica; (Galvis Toro & Rivera, 2013) en general la producción de lodos residuales resulta de los distintos procesos y operaciones unitarias que se dan en las plantas de tratamiento de aguas residuales en el tratamiento primario preliminar se obtiene material del cribado y arena para disposición final, en el tratamiento primario y secundario se obtienen lodos de origen aerobio y anaerobio; estos tienen un alto contenido orgánico.

Hay varios tipos de lodos residuales generados en una planta de tratamiento de aguas residuales. El primero de estos es el llamado lodo primario separado al inicio de tren de tratamiento. Después está el lodo orgánico o biomasa de los reactores de lodos activados o lodo activo, de filtros percoladores o de

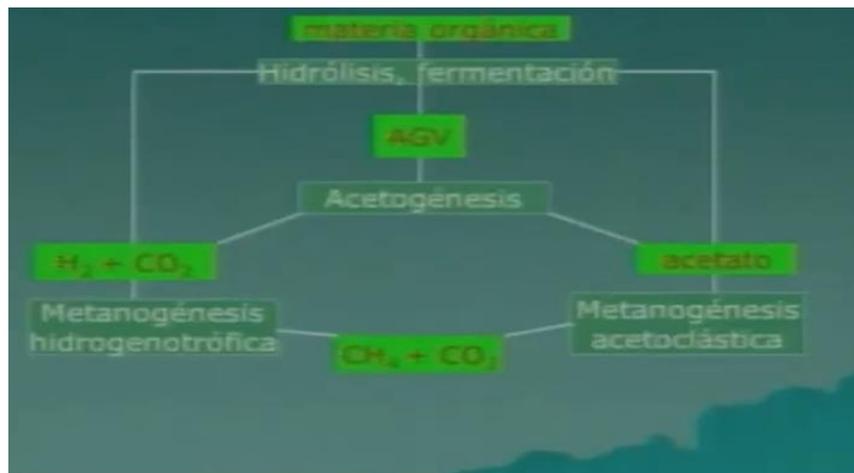
reactores biológicos rotatorios. El tercero es el lodo inorgánico proveniente de la adición de productos químicos (Manahan, 2007).

El lodo está formado principalmente por las sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas. La fracción del lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente de materia orgánica y solo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida. (Galvis Toro & Rivera, 2013)

c. Lodos residuales anaerobios

La digestión anaerobia que se genera en un Reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (RAMLFA-UASB) se da de la siguiente manera. (Universidad Autónoma Metropolitana, 2012)

Figura N° 1: Digestión Anaerobia



Fuente: (Universidad Autónoma Metropolitana, 2012)

Los lodos anaerobios granulados que se forman en los reactores anaerobios son partículas de 1 mm a 2 mm de diámetro tal como se muestran en la figura.

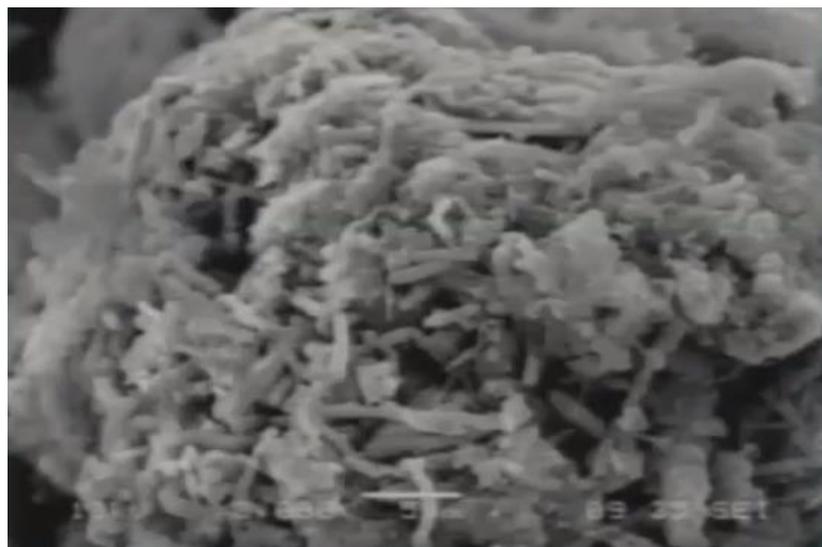
Figura N° 2: Lodos anaerobios granulados



Fuente: (Universidad Autónoma Metropolitana, 2012)

Los Gránulos anaerobios que se forman dentro de esta unidad de tratamiento son polímeros que secretan las bacterias para atarse y realizar las reacciones del proceso anaerobio dentro de un UASB.

Figura N° 3: Gránulos anaerobios



Fuente: (Universidad Autónoma Metropolitana, 2012)

d. Tratamiento de lodos residuales

El lodo es tratado usualmente por algunas técnicas como la incineración, la digestión anaerobia y la digestión alcalina; la primera es muy costosa además que implica un pre tratamiento de lodo ya que este contiene un alto porcentaje de humedad y le es imposible arder por sí solo, el segundo método contempla dos fases; la primera de degradación de la materia orgánica y la segunda de producción de metano por bacterias anaerobias, por último la estabilización alcalina de lodos normalmente suele implementarse en pequeñas plantas de tratamiento, es un último tipo de tratamiento y limita el uso de lodo como acondicionador del suelo debido a su elevada alcalinidad. (Vera Reza, Sanchez Salinas, Ortiz Hernandez, Peña Camacho, & Ortega Silva, 2015)

En EE.UU y Europa la tecnología de tratamiento para lodos residuales generados en PTAR asegura (Garcia, 2006); se realiza utilizando los siguientes 4 procesos

- **Digestión anaerobia:** Comprendida por la fase formativa de ácidos volátiles y como segunda fase las bacterias anaerobias producen gas metano a partir de dichos ácidos, todo esto en ausencia de Oxígeno.
- **Digestión aerobia:** Proceso de aireación prolongada para provocar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta sobrepasar el periodo de síntesis de las células y llevar a cabo su propia auto-oxidación, reduciendo así el material celular.
- **Tratamiento químico:** Realiza principalmente una acción bactericida, llevando al bloqueo temporal de fermentaciones acidas, la cal es el reactivo que más se utiliza por su reducido costo y alcalinidad.

- Incineración: Conduce a la combustión de materias orgánicas de lodos, con este proceso se consigue un producto residual de menor masa, las cenizas constituidas únicamente por materias minerales del lodo.

Otra clasificación en cuanto a las alternativas de tratamiento de lodo residual según (Hernandez, 2009), se da de la siguiente manera:

- Tratamiento Físico: Dentro de este tipo de tratamiento se ubican las tecnologías de espesamiento y desecado la primera se utiliza para concentrar el contenido de sólido de los lodos mediante la eliminación de su fracción líquida, consiguiendo una disminución importante en su volumen, esto se lleva a cabo mediante procedimientos físicos que incluyen el espesamiento por gravedad, flotación, centrifugación y filtro de banda por gravedad. En cuanto a la técnica de desecado consiste en la remoción de agua del lodo, la técnica se basa en la evaporación y percolación natural o en la aplicación de medios mecánicos como filtros, centrifugas, canchas de secado y lagunaje.
- Tratamiento Químico: Este incluye el Acondicionamiento químico y la Estabilización con óxido de calcio o cal, en el primero se reduce la humedad desde un 90-99% a un 65-85% dependiendo de la naturaleza de los sólidos a tratar, ello permite la coagulación de los sólidos y la alteración de agua absorbida por lo cual se realiza antes de la deshidratación, los productos químicos más usados son el cloruro férrico, la cal, el aluminio y los polímeros orgánicos. Su dosificación debe ser en forma líquida. La estabilización con cal consiste en aumentar y mantener el lodo a pH 12 mediante la adición de cal esta adición se

puede realizar antes de la deshidratación o después de ella, como consecuencia no se degradara la materia orgánica, no se generaran olores y se combatirá los microorganismos patógenos.

- Tratamiento Térmico : Este tipo de tratamiento incluye 04 técnicas las cuales se detallan a continuación:
 - ✓ Secado térmico: Se elimina el agua mediante la aplicación de calor extremo. El producto resultante contiene prácticamente todo el material sólido y su contenido de humedad es del orden del 5 al 10%.
 - ✓ Incineración: Es el proceso térmico en el que se realiza una oxidación química con cantidades estequiometrias de oxígeno en exceso. Los productos finales incluyen gases calientes (nitrógeno, anhídrido carbónico y vapor de agua), los lodos se convierten en ceniza.
 - ✓ Oxidación por vía húmeda: Consiste en la oxidación de lodo crudo por vía húmeda a presión y a temperaturas elevadas (entre 175 y 360 °C). Este proceso genera como residuos gases, líquidos y cenizas. Los líquidos y las cenizas se reciclan para calentar los lodos y luego se extraen ya estabilizados en forma separada para ser enfriados.
 - ✓ Pasteurización: Es un tratamiento térmico que ocurre a 70°C durante 30 minutos, permitiendo inactivar las larvas y huevos de los parásitos.
- Tratamiento Biológico: En este se detallan 04 técnicas de tratamiento de lodo residual dentro de las cuales se

encuentra la que se ha implementado en la presente investigación, a continuación se explica cada una de ellas:

- ✓ Digestión anaerobia: Este es uno de los procesos más utilizados, en el que la degradación de la materia orgánica ocurre en ausencia de oxígeno y genera biogás, este proceso tiene distintos métodos como la digestión convencional que se realiza en el intervalo mesofilo de temperaturas, entre los 30 y 38°C.

la digestión de una fase y carga alta; proceso que difiere del anterior porque la carga de sólidos en los lodos es mucho mayor y no se produce una separación de biosólidos y de sobrenadante, finalmente se tiene la digestión en dos fases y la digestión anaerobia termofílica, la primera consiste en una acción combinada entre un digestor de alta carga y un estanque, que sirve para almacenar lodos formando un sobrenadante clarificado, y el último método se produce a la temperatura situada entre los 49 y 57 °C, proporcionando condiciones adecuadas para la actividad de bacterias termofónicas.

- ✓ Digestión aerobia: Corresponde a la estabilización de la materia orgánica mediante el suministro de aire (Oxígeno), obteniéndose como producto anhídrido carbónico (CO₂), amoníaco (NH₃) y agua (no genera biogás)
- ✓ Compostaje: Consiste en la descomposición aerobia por parte de bacterias y hongos de la materia orgánica existente en el fango

deshidratado, con formación de un nuevo producto. Para ello se lleva a cabo la mezcla del lodo deshidratado con un agente de textura o material soporte, que sirve para proporcionar porosidad y permitir la circulación de aire en el interior de la masa. Este material de soporte también suele actuar como fuente suplementaria de carbono para las reacciones biológicas.

- ✓ Vermicompostaje: Se trata de un proceso de descomposición aerobio de biooxidación y estabilización de los sustratos orgánicos a través de la acción descomponedora conjunta de lombrices y microorganismos, que lo convierten en un material humificado y mineralizado.

2.2.3. Vermicompostaje

La lombriz siempre ha estado ligada al desarrollo de la humanidad, se reporta su existencia desde hace 700 millones de años. En los años 384 – 322 a. C, Aristóteles, en su obra “Historia Animal”, las enunció como los intestinos de la tierra, que contribuían a su fertilidad. En el año 1775, Sir Gilbert White conoció a través de sus estudios la extraordinaria importancia de la lombriz, y escribió el primer libro sobre el tema “La lombriz promotora de la vegetación” posteriormente; el creador de la teoría de la evolución Charles Darwin se dedicó a su investigación con mucha profundidad. (Trejos Velez & Agudelo Cardona, 2012)

La Técnica del vermicompostaje consiste en un proceso de bio-oxidación y estabilización de la materia orgánica, realizado por la acción combinada de lombrices de tierra y microorganismos, del que se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina denominado vermicompost o humus de lombriz,

muy apreciado en el mercado. La acción de las lombrices modifica las características fisicoquímicas de la materia orgánica, mineralizando un gran porcentaje de ella dependiendo fundamentalmente de la naturaleza y características del residuo orgánico. (Moreno Casco & Moral , 2008)

a. Vermicompostaje en lodos residuales

La investigación sobre el potencial del vermicomposteo de los lodos residuales data de 1970. En ese entonces se demostró, a escala de laboratorio que estos lodos podían emplearse como sustrato de la lombriz *Eisenia Foetida*, además de que en el proceso, el lodo se estabiliza aproximadamente tres veces más rápido que el lodo no vermicompostado y que los olores fétidos desaparecen rápidamente (Hernandez, 2009).

2.2.4. Lombriz *Eisenia Foetida*

Actualmente se conocen aproximadamente 8.000 variedades de lombrices, pero sólo 3.500 de ellas han sido estudiadas y clasificadas desde la cultura egipcia hasta la actualidad. De estas 3.500 variedades, solo unas pocas han sido domesticadas y adaptadas para utilizar en criaderos, y generar un valioso producto como es el humus de lombriz, De las especies domesticadas, sin duda la que ha dado mejor resultado es la *Eisenia Foetida*. (Agroflor Lombricultura)

La lombriz constituye un agente transformador que acelera la descomposición y humificación de la materia orgánica, ya que al procesarlo en su aparato digestivo promueve la ruptura de materiales orgánicos reduciendo el tamaño de partículas, favoreciendo la formación de agregados; además confiere propiedades nutrimentales de gran utilidad para los cultivos. Para la obtención de vermicompost,

la especie de lombriz que comercialmente más se emplea es *Eisenia foetida*. (Pomalaza Salinas & Ramos Paucar, 2016)

a) **Características Físicas de la lombriz *Eisenia Foetida***

Eisenia Foetida es una de las especies domesticadas y adaptadas que ha tenido mejores resultados a lo largo del tiempo, esta posee características únicas que la diferencian del resto de variedades.

Figura N° 4: Vermicompostaje



Fuente: (Salazar Miranda, 2005)

Figura N° 5: Eisenia Foetida o Roja Californiana



Fuente: (Moreno Casco & Moral , 2008)

Este animal tiene un cuerpo alargado cilíndrico, el cual se adelgaza en sus extremos, formado por 94 a 96 anillos donde cada uno tiene una función específica. Son invertebrados que se mueven por contracción de sus anillos y músculos. Cuentan

con 182 aparatos excretores es esta una de las razones fundamentales de su importancia a la hora de trabajar en favor de la formación de humus, esta especie respira a través de la piel es decir no tiene pulmones y aunque la cabeza carezca de ojos son muy sensibles a la luz, esta les matan en pocos segundos. (Salazar Miranda, 2005)

No poseen dientes ni mandíbula por lo que succionan su alimento por la boca ubicada en el primer anillo o también llamado somito, cuando su alimento llega al estómago, unas glándulas especiales segregan carbonato cálcico neutralizando los ácidos presentes en la comida ingerida, finalmente esta comida pasa por todo el aparato digestivo y es expulsada por el ano, que se encuentra en la parte terminal. (Salazar Miranda, 2005)

b) Ventajas de la lombriz especie *Eisenia Foetida*

Esta lombriz es autosuficiente, vive en cautiverio un promedio de 15 años, su pequeño tamaño favorece la calidad de su defecación que elimina en calidad de humus, La longevidad de esta especie es otra ventaja que posee alcanzando aproximadamente alrededor de 15 a 16 años, además esta lombriz no contrae ni transmite enfermedades, es también un especie Eurifoga, es decir se alimenta con los desechos más diversos, especialmente los residuos orgánicos, caracterizándola por su gran voracidad a la hora de alimentarse. Es también una especie que posee una gran tolerancia a la aglomeración, pudiendo cohabitar entre 4000 a 50000 individuos por metro cuadrado (Agroflor Lombricultura).

2.3. Definición de términos básicos

Lodo residual: Son subproductos obtenidos en las estaciones de tratamiento de las aguas residuales, tanto urbanas como industriales, también considerados como residuos sólidos provenientes de procesos de tratamiento de aguas residuales que cuentan con alta concentración de materia orgánica característica que se aplica principalmente a los lodos obtenidos en el tratamiento primario y tratamiento secundario así como a las excretas de instalaciones sanitarias in situ.

Estabilización de lodo: Es el proceso de reducción de fracción orgánica (Sólidos volátiles – SV) en relación a la materia seca (Sólidos Totales – ST) para controlar la degradación biológica en el producto, los potenciales de generación de olores, de atracción de vectores y de patogenicidad aplicados a lodos de PTAR

Sustratos de complemento: Son aquellos sustratos del grupo de residuos orgánicos que cuentan con propiedades que aceleran los procesos de la estabilización y/o higienización; y mejoran las características del biosólido.

Sólidos Totales (ST): Es la materia seca concentrada en los lodos y/o biosólidos que han sido deshidratados hasta alcanzar un peso constante. El valor que se ha evaporado en este proceso corresponde a la humedad.

Sólidos Volátiles (SV): Son los sólidos orgánicos presentes en los Sólidos Totales (ST) que se volatilizan cuando una muestra secada se quema en condiciones controladas.

Agentes Patógenos: Son las bacterias, protozoarios, hongos, virus, huevos de helmintos en lodos y/o biosólidos capaces de provocar enfermedades y epidemias en el ser humano.

Compost: es el producto de la descomposición natural de la materia orgánica, hecho por los organismos descomponedores (bacterias, hongos) y por pequeños animales detritívoros.

Vermicompost: es el producto de la descomposición de la materia orgánica realizado únicamente por la actividad de ciertas especies de lombrices, principalmente las del género *Eisenia*.

Biosólidos: Es el subproducto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de agua residuales con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su reaprovechamiento como acondicionador de suelo.

Abono orgánico: Los abonos orgánicos son sustancias que están constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas.

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1. Modelo de solución propuesto

La presente investigación, ha contemplado un diseño de investigación del tipo investigación aplicada ya que se interesa por la aplicación de los conocimientos teóricos del campo de estudio del tratamiento de lodos residuales específicamente aplicando la tecnología ambiental del vermicompostaje y con ello pretende responder a problemas técnicos referentes a este residuo considerado un problema ambiental.

Además se ha contemplado un diseño experimental, debido a que es una investigación que requiere experimentos de laboratorio y análisis de los mismos.

3.2.1. Población y muestra

Se seleccionó como muestra el lodo residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del CITRAR – UNI la cual tiene una capacidad de tratamiento de 10 lps, este caudal es captado de la red de alcantarillado de SEDAPAL proveniente de los asentamientos humanos El Ángel y El Milagro.

La muestra del lodo residual se tomó específicamente de la purga de lodos de la unidad de tratamiento Reactor Anaerobio de Manto de lodos de Flujo Ascendente (RAMLFA - UASB).

El exceso de lodos que se purgan periódicamente del RAMLFA normalmente se disponen en un lecho de secado para su deshidratación, sin embargo la muestra utilizada en esta investigación fue tomada directamente de la purga de lodos.

3.2.2. Metodología del trabajo de investigación

Para llevar a cabo la presente investigación se realizaron los siguientes procedimientos:

1) Toma de muestra de lodo residual

Se realizó una purga de lodo residual de la unidad de tratamiento Reactor UASB – RAMLFA de la PTAR UNI.

Figura N° 6: Ubicación de la toma de muestra



Fuente: Google earth

Para recolectar la muestra se utilizaron 2 baldes de capacidad de 18 L cada uno; la muestra se tomó directamente de la salida de la purga de lodos, ya que este lodo residual se acumula en una estructura de concreto.

Para el análisis inicial se tomó una muestra de aproximadamente un kilo del lodo para realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del lodo residual, el mismo que se realizó en el laboratorio; ALAB (ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.), por otro lado se tomaron 9 kilos de

muestra para realizar el tratamiento de lodo residual a través de la tecnología ambiental del vermicompostaje.

Figura N° 7: Toma de muestra de Lodo residual



Fuente: Elaboración propia

2) Análisis fisicoquímico de lodo residual inicial

El lodo residual inicial fue analizado para determinar sus características fisicoquímicas iniciales es decir antes de ser sometido al tratamiento mediante la tecnología del vermicompostaje. Este análisis se realizó en el laboratorio ALAB (ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.) el cual está acreditado por INACAL.

Los parámetros analizados en el laboratorio ALAB fueron según lo establece el D.S N° 015-2017-VIVIENDA, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, los cuales fueron los siguientes:

- Sólidos Volátiles
- Sólidos Totales

- Metales totales: Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Níquel, Zinc
- Huevos de helmintos
- E.Coli

3) Implementación del sistema

Después que se tomó la muestra de lodo residual de la PTAR y se trasladó esta muestra hacia la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS).

Figura N° 8: Implementación del sistema



Fuente: Elaboración propia

se procedió a realizar una mezcla en la proporción 1:2 de lodo y compost, esto con la finalidad de disminuir la humedad del lodo residual y acelerar el proceso de vermicompostaje.

Figura N° 9: Mezcla lodo residual compost



Fuente: Elaboración propia

El compost utilizado en la presente investigación tanto para la combinación inicial como para el tratamiento, se obtuvo del vivero de la UNTELS, este compost tiene la siguiente composición:

- 50% restos orgánicos de mercado
- 10% cáscaras de frutas
- 40% estiércol vacuno

Una vez lista la muestra de lodo residual combinada con compost se implementaron tres tratamientos, en cajas de madera las cuales tuvieron las siguientes dimensiones: 40 cm de largo x 30 cm de ancho x 15 cm de altura, a estas cajas se les colocó un plástico color negro como soporte y su respectiva identificación a cada uno, después fueron colocados en serie.

Figura N° 10: Tratamientos



Fuente: Elaboración propia

En las cajas de madera donde se instalaron los tratamientos T1, T2 y T3 se colocaron lombrices especie *Eisenia Foetida*, lodo residual de reactor UASB-RAMLFA y compost en diferentes porcentajes

- En la primera unidad se colocó; lodo residual de un reactor UASB-RAMLFA, lombrices especie *Eisenia Foetida* y compost (5 %)
- En la segunda unidad se colocó; lodo residual de un reactor UASB-RAMLFA, lombrices especie *Eisenia Foetida* y compost (1%)
- En la tercera unidad se colocó; lodo residual de un reactor UASB-RAMLFA, lombrices especie *Eisenia Foetida* y compost (0.5%) el lodo residual utilizado fue el mismo para todas las unidades.

Tabla N° 4: Composición de unidades experimentales

TRATAMIENTO	RELACIÓN (MASA: MASA)		% ADICIONAL DE COMPOST	INOCULACIÓN DE LOMBRICES <i>EISENIA</i> <i>FOETIDA</i> POR UNIDAD EXPERIMENTAL	PERIODO
	LODOS RESIDUALES	COMPOST			
T1	3 Kilos	6 Kilos	5% (450g)	500 gramos	25 días
T2	3 Kilos	6 Kilos	1% (90g)	500 gramos	25 días
T3	3 Kilos	6 Kilos	0.50% (45g)	500 gramos	25 días

Fuente: Elaboración propia

4) Monitoreo de tratamiento de lodo residual

Cada tratamiento fue monitoreado periódicamente con la finalidad de determinar los valores de pH, Temperatura y Conductividad Eléctrica, estos análisis se realizaron en el laboratorio de química de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS), además diariamente se controló la humedad para que esta fuera la humedad óptima de desarrollo de las lombrices.

➤ Temperatura

La temperatura In Situ de cada tratamiento fue monitoreada periódicamente, la medición se realizó 2 veces por semana con un termómetro de suelo.

Figura N° 11: Monitoreo de temperatura In Situ



Fuente: Elaboración propia

➤ pH

Este parámetro se analizó siguiendo el Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos de la Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía Chillán, para este análisis se usaron los siguientes materiales y equipos:

- Estufa
- Agitador Magnético
- Multiparametro HACH
- Mortero
- Vasos precipitados de 100 ml
- Tamiz de 2mm
- Baguetas

Para medir pH y C.E las muestras se secaron y molieron para reducir la variabilidad de las submuestras a usarse en los análisis. El secado se realizó a una temperatura no superior a $40^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$. Hasta que se obtuvo una muestra que se pudo moler y tamizar fácilmente, tal como lo indica el protocolo.

Figura N° 12: Secado de muestras



Fuente: Elaboración propia

Luego las muestras se molieron hasta que pasaron por un tamiz de 2 mm de apertura.

Figura N° 13: Molienda y tamizado de muestras



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se pesó 20 g de muestra de cada tratamiento; T1, T2, T3 y se agregó 50 ml de agua destilada a cada muestra, para tener una dilución de 1:2.5.

Finalmente se agitaron las diluciones con un agitador magnético por 5 minutos y se dejó reposar por 2 horas, pasado este tiempo se procedió a agitar y a leer el pH con el Multiparametro HACH y se anotaron los resultados. Este procedimiento se realizó 2 veces a la semana por 4 semanas aproximadamente.

Figura N° 14: Pesado y dilución de las muestras



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 15: Agitación y lectura de pH



Fuente: Elaboración propia

➤ Conductividad Eléctrica (C.E)

La C.E también se analizó siguiendo el Protocolo de Métodos de Análisis para Suelos y Lodos de la Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía Chillán para este análisis se usaron los mismos materiales que se usaron para determinar el pH y adicional a ello los siguientes materiales:

- Vasos precipitados de 200 ml
- Papel filtro de 8 μ m

En el caso de la C.E luego de secar, moler y tamizar se pesaron 20 g de muestra de cada tratamiento; T1, T2, T3 y se agregó 100 ml de agua destilada a cada muestra, para tener una dilución de 1:5 según protocolo, finalmente se agitaron las diluciones con un agitador magnético por 30 minutos, se filtraron las muestras y se procedió a leer la C.E con el Multiparametro HACH y se anotaron los resultados. Este procedimiento también se realizó 2 veces a la semana por 4 semanas aproximadamente.

Figura N° 16: Agitación, filtración y lectura de C.E



Fuente: Elaboración propia

➤ Humedad

La humedad fue controlada diariamente con la técnica del puño cerrado, con este método se mantuvo la humedad en un 75% aproximadamente en cada tratamiento.

Esto se realizó debido a que la humedad ideal del lecho en vermicompostaje es de 75%. Menos del 50% puede ser peligroso para la supervivencia de la lombriz, un buen método para determinar la humedad in situ, es apretar un puñado de alimento y si caen algunas gotas de agua esto indica que la humedad es óptima. (Agroflor Lombricultura)

Figura N° 17: Control de humedad



Fuente: Elaboración propia

5) Caracterización del vermicompost

Finalmente después de mantener un monitoreo semanal de los parámetros pH, C.E y temperatura, se determinó la cantidad de materia orgánica, Carbono orgánico total, Nitrógeno Total y relación C/N del vermicompost final generado en los 03 tratamientos, el análisis se realizó en el laboratorio de química de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS)

- Materia orgánica

La materia orgánica se analizó de acuerdo al manual de edafología de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS)

Para este análisis se usaron los siguientes materiales y equipos:

- Estufa
- Mufla
- Crisol
- Balanza Analítica

Se procedió a pesar el crisol vacío (K), luego se pesó 5 g de muestra seca de los tres tratamientos, las cuales se mantuvieron en estufa a 105° C por 24 horas, después se retiraron las muestras de la estufa y se colocaron las muestras dentro del crisol (M). Y se repitió el proceso para cada tratamiento.

Luego se colocaron estas muestras dentro de la Mufla a 450°C por 12 horas. Finalmente se pesaron los crisoles conteniendo las cenizas de las muestras (A).

Figura N° 18: Pesado de crisoles



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 19: Secado, calcinación y pesado final



Fuente: Elaboración propia

La determinación del contenido de Materia Orgánica se realizó mediante el siguiente cálculo:

$$\text{MO (g)} = M - A$$

$$\text{MO (\%)} = \frac{M.O \text{ (g)}}{5g} \times 100$$

- T1:

$$\text{MO (g)} = M - A$$

$$\text{MO (g)} = 28.25 - 26.63$$

$$\text{MO (g)} = 1.62$$

$$\text{MO (\%)} = \frac{1.62 \text{ g}}{5g} \times 100$$

$$\text{MO (\%)} = 32.4 \%$$

- T2:

$$\text{MO (g)} = M - A$$

$$\text{MO (g)} = 30.3 - 28.7$$

$$\text{MO (g)} = 1.6$$

$$\text{MO (\%)} = \frac{1.6 \text{ g}}{5 \text{ g}} \times 100$$

$$\text{MO (\%)} = 32 \%$$

- T3:

$$\text{MO (g)} = M - A$$

$$\text{MO (g)} = 28.62 - 25.61$$

$$\text{MO (g)} = 3.01$$

$$\text{MO (\%)} = \frac{3.01 \text{ g}}{5 \text{ g}} \times 100$$

$$\text{MO (\%)} = 60.2 \%$$

- Carbono Orgánico Total

Para la determinación de este parámetro se utilizó el siguiente cálculo, según el manual del laboratorio de edafología de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS)

$$\text{C (g)} = \text{MO (g)} / 1.724$$

$$\text{C (\%)} = \text{MO (\%)} / 1.724$$

- T1:

$$\text{C (g)} = \text{MO (g)} / 1.724$$

$$\text{C (g)} = 1.62 / 1.724$$

$$\text{C (g)} = 0.93$$

$$\text{C (\%)} = \text{MO (\%)} / 1.724$$

$$\text{C (\%)} = 32.4 / 1.724$$

$$\text{C (\%)} = 18.79$$

- T2:
 - $C (g) = MO (g) / 1.724$
 - $C (g) = 1.6 / 1.724$
 - $C (g) = 0.92$
 - $C (\%) = MO (\%) / 1.724$
 - $C (\%) = 32 / 1.724$
 - $C (\%) = 18.56$

- T3:
 - $C (g) = MO (g) / 1.724$
 - $C (g) = 3.01 / 1.724$
 - $C (g) = 1.74$
 - $C (\%) = MO (\%) / 1.724$
 - $C (\%) = 60.2 / 1.724$
 - $C (\%) = 34.92$

- Nitrógeno Total

La determinación del valor de nitrógeno total en el humus obtenido en los 03 tratamientos de lodo residual T1, T2 y T3 se realizó a partir del total de Materia Orgánica, de la cual solo el 5% es nitrógeno total (Cruz & Sanclemente, 2002)

- Relación C/N

Respecto a la relación carbono nitrógeno esta se obtuvo a partir del valor de carbono orgánico total y nitrógeno total antes calculados.

3.2. RESULTADOS

3.2.1. Análisis fisicoquímico de lodo residual inicial y humus final

Los valores obtenidos en el informe de ensayo I.E-19-1180 indican que el lodo residual analizado tiene una relación SV/ST de 2.40, mientras que la norma nos indica un valor límite ≤ 0.6 , en cuanto al arsénico los resultados indican que el lodo residual posee 43 mg/kg MS, lo cual indica que está ligeramente por encima de 40, valor establecido en el D.S 015-2017-VIVIENDA.

Finalmente el parámetro E.coli y huevos de helmintos tienen valores de 1.6×10^{14} y $<1/2gST$ respectivamente, excediendo así la normativa vigente.

Tabla N° 5: Resultados del análisis fisicoquímico de lodo residual inicial Informe de ensayo I.E-19-1180

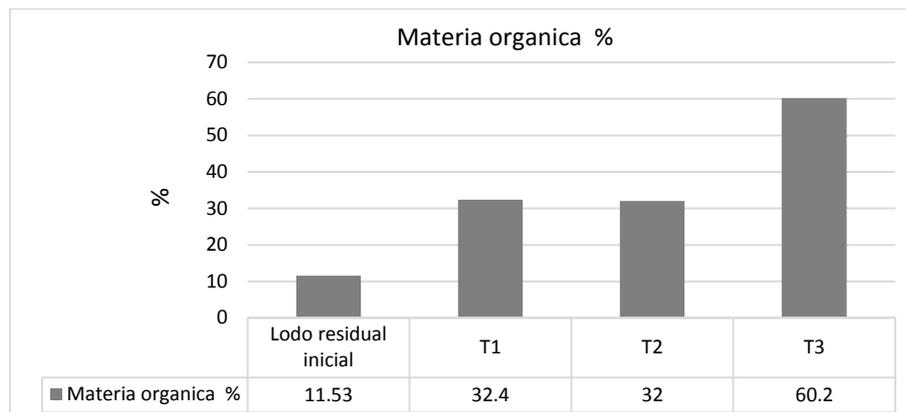
PARAMETROS	UNIDAD	Lodo residual inicial	D.S 015-2017-VIVIENDA
SV/ST	-	2.40	≤ 0.6
Arsénico	mg/kg MS	43	40
Cadmio	mg/kg MS	<0.3	40
Cromo	mg/kg MS	35	1200
Cobre	mg/kg MS	510	1500
Plomo	mg/kg MS	81	400
Mercurio	mg/kg MS	<1	17
Níquel	mg/kg MS	19	400
Zinc	mg/kg MS	2262.4	2400
Escherichia Coli	NMP/100g	16×10^{14}	1000
Huevos de helmintos	H/2gST	<1	$<1/4g ST$

Fuente: Fuente: Elaboración propia

- **Materia Orgánica**

Los resultados de materia orgánica de los 03 tratamientos se compararon con los resultados del informe de ensayo I.E N° 19-1180, los valores finales se encuentran por encima de los obtenidos en el lodo residual inicial siendo el tratamiento T3 el que contiene mayor cantidad de materia orgánica.

Figura N° 20: Resultados de materia orgánica

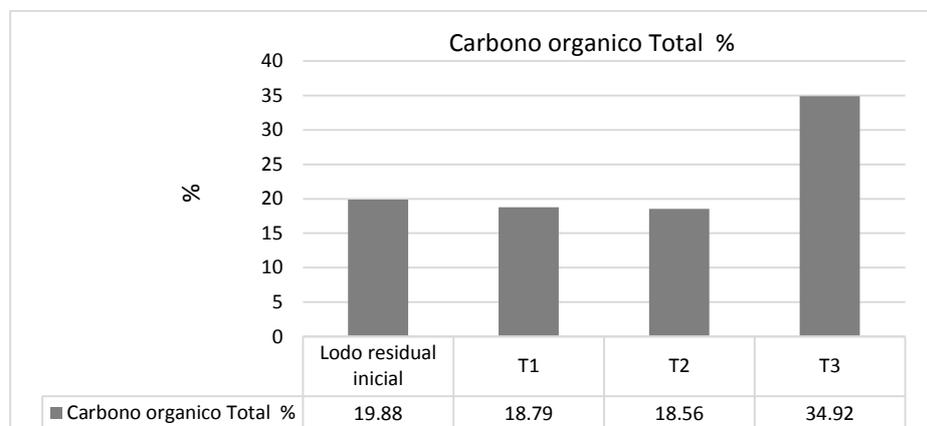


Fuente: Elaboración propia

- **Carbono orgánico total**

Respecto al Carbono Orgánico Total, el tratamiento T3 presenta 34.92 % de COT el cual es el valor más alto obtenido en el tratamiento de lodo, respecto al valor inicial.

Figura N° 21: Resultados de Carbono orgánico Total

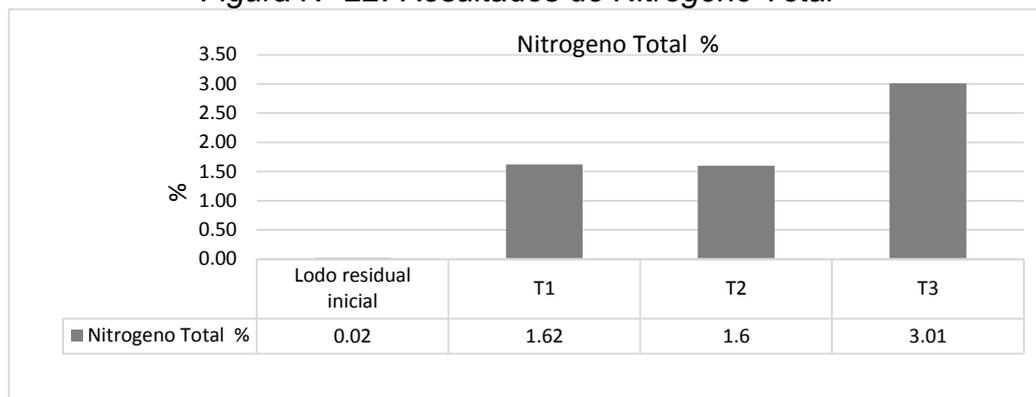


Fuente: Elaboración propia

- **Nitrógeno total**

Los valores de Nitrógeno total finales obtenidos en los tratamientos T1, T2 y T3 es decir en el humus, fueron 1.62, 1.6 y 3.01% respectivamente. Sin embargo en el lodo residual inicial se obtuvo un valor de 0.02 %; al realizar el cálculo a partir de los datos brindados por el laboratorio ALAB en el informe de ensayo I.E N° 19-1180.

Figura N° 22: Resultados de Nitrógeno Total

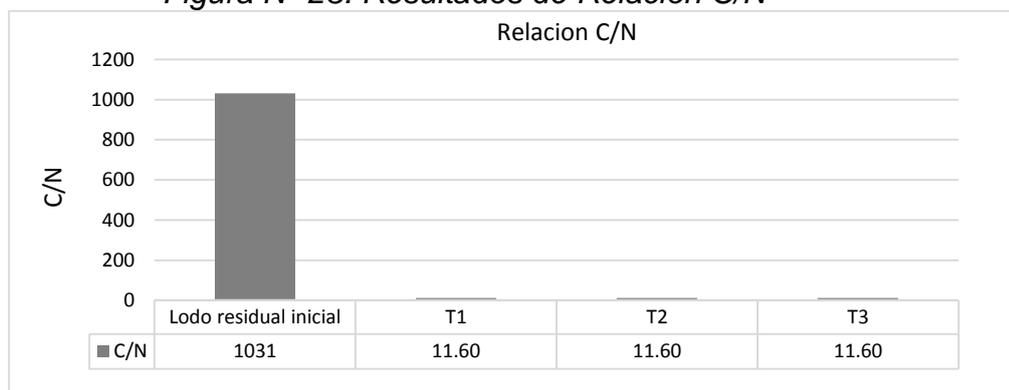


Fuente: Elaboración propia

- **Relación carbono nitrógeno (C/N)**

Finalmente la relación C/N resulto mucho más baja en los 03 tratamientos, el humus en los tratamientos T1, T2 y T3 arrojaron una relación de 11.6, respecto al valor de lodo residual inicial la cual fue de 1031, según el informe de ensayo I.E N° 19-1180.

Figura N° 23: Resultados de Relación C/N



Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Monitoreo de pH, Temperatura y conductividad en el tratamiento de lodo residual

- **Potencial de hidrogeno**

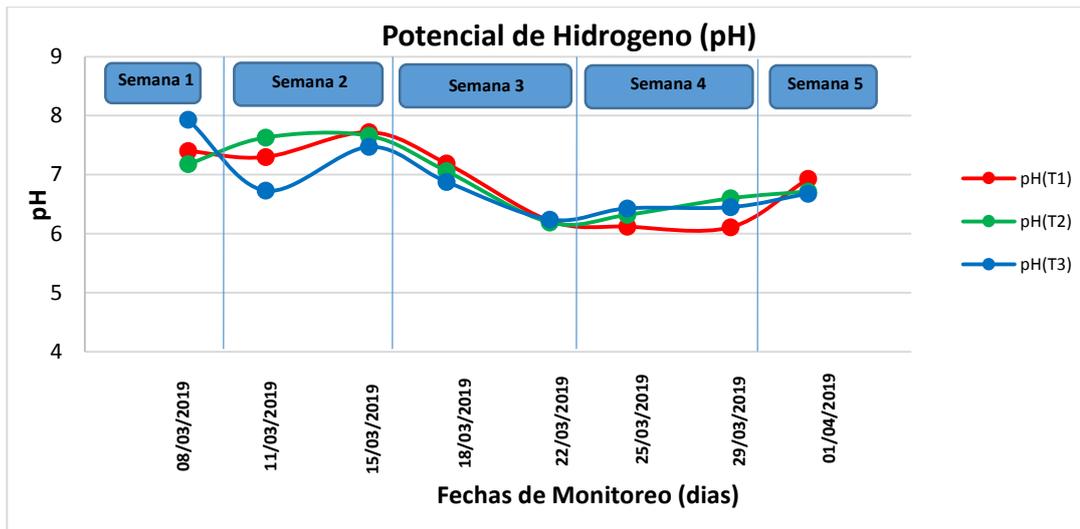
En el tratamiento T1 el pH mínimo fue de 6.11; en la cuarta semana y el pH máximo fue de 7.72 en la segunda semana. Siendo el pH promedio 6.87.

Mientras que en el tratamiento T2 se observa que el pH mínimo fue de 6.19, en la tercera semana, el pH máximo fue de 7.66 en la segunda semana. Siendo el pH promedio 6.91.

Finalmente en el tratamiento T3 se observa que el pH mínimo fue de 6.24, en la tercera semana, el pH máximo fue de 7.93 en la primera semana. Siendo el pH promedio 6.85.

La gráfica muestra que el pH del tratamiento T1 se encuentra ligeramente por debajo del pH en los otros dos tratamientos casi al final del tratamiento, en tanto las tres gráficas tienen una tendencia a descender.

Figura N° 24: Grafica de Monitoreo de pH



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6: Resumen de resultados del monitoreo de pH

Parámetro	Valores	T1	T2	T3
pH	Valor máximo	7.72	7.66	7.93
	Valor mínimo	6.11	6.19	6.24
	Promedio	6.87 ± 0.54	6.91 ± 0.46	6.85 ± 0.43

Fuente: Elaboración propia

- **Temperatura**

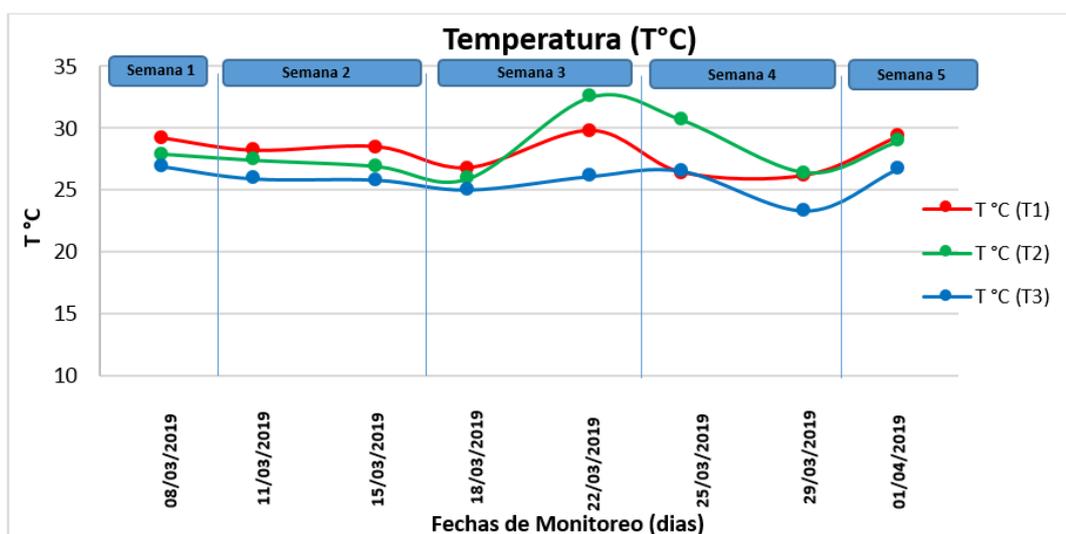
La tabla muestra la variación de la temperatura en los tratamientos T1, T2 y T3 de acuerdo a las mediciones, durante el tiempo de monitoreo. Los resultados del monitoreo, indican que la Temperatura en T1 tuvo un mínimo de 26.2°C y máxima de 29.8°C, Siendo la temperatura promedio en T1 de 28.05°C.

La temperatura en T2 tuvo un mínimo de 25.9 °C y máxima de 32.5°C, Siendo la temperatura promedio en T2 de 28.3°C.

La temperatura en T3 tuvo un mínimo de 23.3 °C y máxima de 26.9°C, Siendo la temperatura promedio en T3 de 25.7°C.

La gráfica muestra que la temperatura en T3 se encuentra ligeramente por debajo de la temperatura de los otros tratamientos de lodo residual, en tanto las tres gráficas tienen una tendencia ligera a aumentar y luego a la estabilización.

Figura N° 25: Grafica del monitoreo de Temperatura



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 7: Resumen de resultados del monitoreo de Temperatura

Parámetro	Valores	T1	T2	T3
Temperatura	Valor máximo	29.8	32.5	26.9
	Valor mínimo	26.2	25.9	23.3
	Promedio	28.05 ± 1.18	28.3 ± 1.76	25.7 ± 0.81

Fuente: Elaboración propia

- **Conductividad eléctrica**

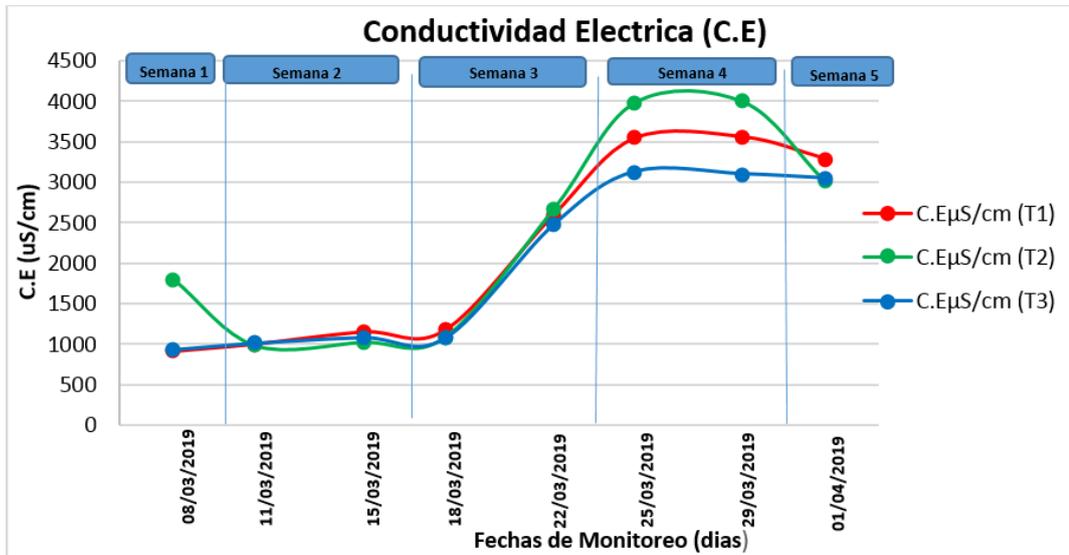
En el tratamiento T1 de lodo residual la conductividad mínima fue de 910 $\mu\text{S/cm}$, en la primera semana, la conductividad máxima fue de 3555 $\mu\text{S/cm}$, en la cuarta semana. Siendo la conductividad promedio 2150 $\mu\text{S/cm}$.

Mientras que en el tratamiento T2 se observa que la conductividad mínima fue de 980 $\mu\text{S/cm}$, en la segunda semana, la conductividad máxima fue de 3990 $\mu\text{S/cm}$, en la cuarta semana. Siendo la conductividad promedio 2315 $\mu\text{S/cm}$.

Por último, en el tratamiento T3 se observa que la conductividad mínima fue de 930 $\mu\text{S/cm}$, en la primera semana, la conductividad máxima fue de 3130 $\mu\text{S/cm}$, en la cuarta semana. Siendo la conductividad promedio 1980 $\mu\text{S/cm}$.

La gráfica muestra que la conductividad eléctrica del tratamiento T3 se encuentra por debajo de la conductividad en los otros tratamientos, en tanto las tres gráficas tienen una tendencia a ascender.

Figura N° 26: Grafica de resultados del monitoreo de C.E



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8: Resumen de resultados del monitoreo de C.E

Parámetro	Valores	T1	T2	T3
Conductividad	Valor máximo	3555	3990	3130
	Valor mínimo	910	980	930
	Promedio	2150 ± 1130	2315 ± 1195	1980 ± 977

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Después de haber culminado los trabajos experimentales y realizados los análisis correspondientes se llegaron a las siguientes conclusiones:

- La evaluación del vermicompostaje como tecnología ambiental para el tratamiento de lodo residual, indico resultados de nitrógeno total de 1.62, 1.6 y 3.01 % en T1, T2 y T3 respectivamente y la relación C/N fue de 11.60 en los 03 tratamientos utilizados, resultando estos valores óptimos en comparación con la muestra inicial de dicho lodo residual la cual tuvo un valor de 0.02 % de nitrógeno total y una relación C/N de 1031, los antecedentes nos indican que el NMP de coliformes fecales disminuye considerablemente a los 13 a 20 días de inoculadas las lombrices, rango de tiempo en el cual se ubica esta investigación.
- Según los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad de humus producido a partir del tratamiento de lodo residual a través del vermicompostaje, podemos concluir lo siguiente:
 - La conductividad eléctrica tuvo tendencia a subir llegando a valores de 3990 us/ cm, esto muestra que hubo una gran cantidad de liberación de iones, debido a que la lombriz *Eisenia Foetida* presenta en su tracto digestivo enzimas que inducen al aumento de la concentración de Ca, P, Mg y Na. El aumento de estos iones representan en términos edafológicos una gran cantidad de nutrientes disponibles para las plantas y también debido al proceso de nitrificación de la materia orgánica, lo cual se pudo comprobar al alcanzar valores de Nitrógeno total más altos que en la muestra inicial de lodo residual y una relación C/N mucho más baja la cual es típica en abonos orgánicos o acondicionadores de suelo e incrementando a su vez el contenido de materia orgánica relacionada directamente al COT.
 - En cuanto al pH se concluye que el lodo vermicompostado en los 03 tratamientos resultó con un pH neutro con tendencia a la acidez llegando a valores de 6.11, estos valores no afectarían un potencial uso como enmienda orgánica directa y corresponden al proceso de formación del

humus, en donde la degradación de la materia orgánica origina la formación de ácidos orgánicos provenientes de la fermentación generando una disminución del pH en el lodo tratado, esta caída también se le atribuye al proceso de nitrificación en donde ocurre una liberación de iones hidrogeno.

- Respecto a la temperatura tiende a ser ligeramente más alta la tercera semana del proceso, debido al proceso de mineralización, los compuestos orgánicos (carbohidratos, proteínas, lípidos, etc.); durante este proceso de transformación liberan grandes cantidades de energía en forma exotérmica.

- El tratamiento de lodo residual con la técnica del vermicompostaje obtuvo resultados favorables al mes de haber iniciado, esto debido a la formación de humus, por los volteos periódicos que aceleran el proceso, en cuanto a los efectos del porcentaje de compost adicional en los tratamientos T1, T2 y T3 los mismo que fueron 0.5 %, 1% y 5% respectivamente nos brindan resultados favorables en cuanto a la formación de nitrógeno, relación C/N y variación de ph, C.E y temperatura logrando obtener un lodo tratado que podría ser utilizado como tal, así mismo cabe resaltar que el tratamiento T1 con 5% de compost adicional obtuvo los mejores resultados en cuanto a la formación de humus, lo cual también facilito obtener un lodo residual tratado con menor porcentaje de humedad, por otro lado respecto al parámetro materia orgánica el tratamiento T3 tiene valores más altos respecto a los tratamientos T1 y T2 , esto debido a la mineralización de la materia orgánica. Finalmente se concluye en base a los antecedentes; que es muy probable que al ampliar el tiempo de investigación se obtengan resultados positivos en cuanto a los valores nutritivos del abono orgánico, sobre todo en el tratamiento de lodo residual con 5% de compost adicional.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el análisis del metal Arsénico cuyo valor excedió ligeramente en la muestra de lodo residual inicial, esto con el fin de que en futuras investigaciones se pueda determinar la influencia del vermicompostaje en la reducción de este parámetro.

También se recomienda analizar microbiológicamente la lombriz *Eisenia Foetida* antes y después de los tratamientos realizados y evaluar el comportamiento poblacional de las lombrices durante el tratamiento de lodo residual a través de la tecnología del vermicompostaje.

Asimismo se recomienda en futuras investigaciones ampliar la lista de parámetros analizados, principalmente analizar los parámetros microbiológicos como coliformes fecales, con el fin de corroborar que los valores disminuyen y no afectarían en un potencial uso del abono orgánico, ya que los organismos patógenos son los principales contaminantes presentes en el lodo residual, y estos podrían estar en contacto con la población si el abono llegara a ser utilizado como se pretende.

Finalmente se recomienda ampliar la investigación, aplicando el humus obtenido en la siembra de plantas a fin de comparar los resultados con un suelo sin la aplicación del humus.

BIBLIOGRAFÍA

- Droppelmann, C. V., Gaete, C. P., & Miranda, P. (Septiembre de 2009). Remocion mediante Vermicomposteo de los coliformes fecales presentes en lodos biologicos. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* N° 49, 124-128.
- Agroflor Lombricultura. (s.f.). *Manual Lombricultura*.
- Asociacion Grama . (s.f.). *Manual de vermicompostaje* .
- Cruz, T., & Sanclemente, O. (2002). *Metodologia para facilitar la interpretacion de resultados de analisis de suelos*. PRODES.
- Dominguez, J., & Perez Diaz, D. (2011). *Desarrollo y nuevas perspectivas del Vermicompostaje*. España: Departamento de Ecología y Biología Animal. Universidad de Vigo.
- Galvis Toro, J., & Rivera, G. X. (2013). *Caracterizacion fisicoquimica y microbiologica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa "Jugos Hit" de la ciudad de Pereira. Colombia*. Colombia.
- Garcia, N. O. (2006). Lodos Residuales; Estabilizacion y Manejo. 61-70.
- Gonzales, L. D. (2017). *Evaluacion del vermicompostaje como tratamiento de lodos provenientes de industria de celulosa*. Chile.
- Hernandez, J. L. (2009). *Modificacion de las propiedades quimicas de lodos residuales de Met -Mex Peñoles con lombrices (Eisenia Fetida)*. Mexico.
- Manahan, S. E. (2007). *Introduccion a la quimica ambiental*. Mexico: Reverte Ediciones .
- Marquina Trigoso, L. F., & Martinez Flores, J. P. (2016). *Obtencion de abonos organicos por medio de las lombrices Eisenia Foetida a partir de los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo LIMA - PERU*. PERU.
- Montoya Moreno, G. N., & Buitrago, A. J. (2011). *Produccion de humus a traves del tratamiento de biosolidos con vermicompostaje, una mirada al futuro*. Colombia.
- Moreno Casco, J., & Moral , H. R. (2008). *Compostaje*. Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Pomalaza Salinas , J. C., & Ramos Paucar, J. F. (2016). *Vermiestabilizacion de lodos activados para la obtencion de compost de compost y su efecto en el indice de calidad de plantulas de Pinus radiata D. Son.-San Pedro de Saño*. PERU.

- Salazar Miranda, P. (2005). *Sistema Toha, una alternativa ecologica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales* . Chile.
- Skendy, C. Y. (2016). *Vermicompostaje utilizando Eisenia Foetida y bioabonos para la reducción de Huevos de Helminto de lodos residuales - planta de tratamiento CITRAR 2016*. Peru .
- Soriano, M. D., Molina, M. J., & Llinares, J. (2012). *Tratamiento de residuos de vinazas y lodos de depuradora mediante vermicompostaje*. Santiago de Compostela : III Jornadas de la red española de compostaje.
- Trejos Velez, M., & Agudelo Cardona, N. (2012). *ropuesta Para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa "COMESTIBLES LA ROSA" como alternativa para la generacion de biosolidos* . Colombia.
- Universidad Autónoma Metropolitana. (14 de diciembre de 2012). *Del laboratorio al mercado: Caso lodos anaerobios*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=jxlw1mX3U-E&t=909s>
- Vera Reza, A. M., Sanchez Salinas, E., Ortiz Hernandez, L., Peña Camacho, J. L., & Ortega Silva, M. (2015). *Estabilizacion de lodos residuales municipales por medio de la tecnica de lombricompostaje*. Mexico: Centro de Investigacion en Biotecnología.

ANEXOS

Anexo N° 1: Informe de ensayo



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACION INACAL - DA
CON EL REGISTRO N° LE - 095



INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-1180

I. DATOS DEL SERVICIO

1. RAZÓN SOCIAL : LEIDY MAGALY HUAMAN CHIROQUE
2. DIRECCIÓN : NO INDICA
3. PROYECTO : TRATAMIENTO DE LODO RESIDUAL PROVENIENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A TRAVÉS DEL VERMICOMPOSTAJE COMO TECNOLOGÍA AMBIENTAL
4. PROCEDENCIA : PTAR CITRAR - UNI
5. SOLICITANTE : LEIDY HUAMAN CHIROQUE
6. ORDEN DE SERVICIO N° : OS-19-0384
7. PLAN DE MONITOREO : NO APLICA
8. MUESTREO POR : EL CLIENTE
9. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2019-03-25

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1. MATRIZ : LODO
2. NÚMERO DE MUESTRAS : 1
3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2019-03-07
4. PERÍODO DE ENSAYO : 2019-03-07 al 2019-03-25

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
Metales Totales ⁽¹⁾	ALAB-LAB-33 (EPA METHOD 3050B / EPA METHOD 200.7) 2018 / 1996 / 1994	Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry / Determination of Metals in Soil, Sludge and Sediment Quality – Based on EPA METHOD 3050 / 200.7
Mercurio ⁽¹⁾	EPA Method 7471 B Rev. 2. 2007	Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold- Vapor Technique)


José Luis Chipana Chipana
Director Técnico

EPA : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

⁽¹⁾ Parámetro acreditado por INACAL-DA

⁽²⁾ Parámetro acreditado por IAS

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao
Telf. +51 453 1389 / 717 0636 Email: ventas@alab.com.pe
www.alab.com.pe

Página 1 de 7

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
Conductividad ⁽¹⁾	NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, AS 18. Item 7.2.5	Medición de Conductividad Eléctrica. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
Fósforo Total ⁽¹⁾	NOM-021-AS-10 Determinación de fósforo aprovechable para suelos neutros y alcalinos.	Determinación de fósforo aprovechable para suelos neutros y alcalinos.
Nitratos ⁽¹⁾	NOM-021-AS-08 / SMEWW 4500-NO3- E. 23rd Ed.2017	Determinación de nitrógeno inorgánico del suelo. Cadmium Reduction Method.
Amonio ⁽¹⁾	NOM-021-AS-08 / SMEWW 4500-NH3. D.2017	Determinación de nitrógeno inorgánico del suelo. Ammonia-Selective Electrode Method Determinación de nitrógeno inorgánico del suelo
Nitrógeno Total ⁽¹⁾	NOM-021-AS-08 / SMEWW 4500-NH3. D.2017 /SMEWW 4500-NO3- E. 23rd Ed.2017	Determinación de nitrógeno inorgánico del suelo. Ammonia-Selective Electrode Method Determinación de nitrógeno inorgánico del suelo. Cadmium Reduction Method.
Nitrógeno Amoniacal ⁽¹⁾	NOM-021-AS-08 / SMEWW 4500-NH3. D.2017	Determinación de nitrógeno inorgánico del suelo. Ammonia-Selective Electrode Method Determinación de nitrógeno inorgánico del suelo
Sólidos Volátiles ⁽¹⁾	Basado SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 23rd Ed.2017	Solids. Total Dissolved Solids Dried at 180°C
Sólidos Totales ⁽¹⁾	Basado SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23rd Ed.2017	Solids. Total Solids Dried at 103-105°C
pH ⁽¹⁾	EPA SW-846, Method 9045D, Revision 4, 2004	Soil and waste pH

EPA : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

NOM: Norma Oficial Mexicana

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

APHA: American Public Health Association

AWWA: American Water Works Association

WEF:Water Environment Federation

⁽¹⁾ Parámetro acreditado por INACAL-DA

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
Carbono Orgánico Total ⁽¹⁾	ALAB-LAB-25 basado en NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. AS-07; 2000. Item 7.1.7. (Validado) 2018	Método Walkley y Black.
Materia orgánica ⁽¹⁾	ALAB-LAB-24 basado en NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. AS-07; 2000. Item 7.1.7. (Validado) 2018	Método Walkley y Black.
Relación C/N (relación carbono/nitrógeno) ⁽¹⁾	Cálculo	-
Relación Amonio / Nitrato ⁽¹⁾	Cálculo	-
Coliformes Fecales o Termotolerantes ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 23rd Ed.2017	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedures. Thermotolerant coliform test (EC medium)
Escherichia coli ⁽¹⁾	SMEWW Part 9221 F.2, 23 rd Ed.2017	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Thermotolerant Coliforms and E.coli.
Salmonella spp ⁽¹⁾	NOM-004-SEMARNAT-2002 Norma Oficial Mexicana. NOM-004-SEMARNAT-2002.	Protección Ambiental. Lodos y Biosólidos
Huevos de Helminfos ⁽¹⁾	NOM-004-SEMARNAT-2002 Norma Oficial Mexicana. NOM-004-SEMARNAT-2002.	Protección Ambiental. Lodos y Biosólidos

EPA : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

NOM: Norma Oficial Mexicana

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

APHA: American Public Health Association

AWWA: American Water Works Association

WEF: Water Environment Federation

⁽¹⁾ Parámetro acreditado por INACAL-DA

⁽¹⁾ Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

INFORME DE ENSAYO IE-19-1180

IV. RESULTADOS

ITEM			1
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-02720
CÓDIGO DEL CLIENTE:			S-01
COORDENADAS UTM WGS 84:			NO INDICA
MATRIZ:			LODO
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			NO APLICA
MUESTREO			
FECHA:		2019-03-01	
HORA:		15:00	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M.	RESULTADOS
Mercurio ⁽¹⁾	mg/kg MS	1.00	<1.00
pH ⁽²⁾	Unidad de pH	0.01	7.06
Materia orgánica ⁽¹⁾	%	0.10	11.53
Carbono Orgánico Total ⁽¹⁾	%	0.10	19.88
Fósforo Total ⁽¹⁾	mg/kg MS	10	1338
Conductividad ⁽²⁾	uS/cm	0.01	2580
Nitrato ⁽²⁾	mg/kg MS	2.2	2430.9
Amonio ⁽¹⁾	mg/kg MS	6.4	731
Nitrógeno Total ⁽¹⁾	mg/kg MS	9	1118
Nitrógeno Amoniacal ⁽²⁾	mg/kg MS	5	568
Sólidos Volátiles ⁽²⁾	g/L	0.005	269
Sólidos Totales ⁽¹⁾	g/L	0.005	112
Relación C/N (relación carbono/nitrógeno) ⁽²⁾	-	-	1031
Relación Amonio / Nitrato ⁽²⁾	-	-	0.3

L.C.M. : Límite de Cuantificación del Método

⁽¹⁾ Parámetro acreditado por INACAL-DA

⁽²⁾ Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con

INFORME DE ENSAYO IE-19-1180

IV. RESULTADOS

ITEM		1	
CÓDIGO DE LABORATORIO:		M-02720	
CÓDIGO DEL CLIENTE:		S-01	
COORDENADAS UTM WGS 84:		NO INDICA	
MATRIZ:		LCDD	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:		NO APLICA	
MUESTREO	FECHA:	2019-03-01	
	HORA:	15:00	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M.	RESULTADOS
Metales totales ⁽¹⁾			
Plata ⁽¹⁾	mg/kg MS	0.7	<0.7
Aluminio ⁽²⁾	mg/kg MS	7	8021
Arsénico ⁽²⁾	mg/kg MS	3	43
Bario ⁽²⁾	mg/kg MS	0.3	229.7
Berilio ⁽²⁾	mg/kg MS	0.1	<0.1
Calcio ⁽²⁾	mg/kg MS	3	52962
Cadmio ⁽²⁾	mg/kg MS	0.3	<0.3
Cerio ⁽²⁾	mg/kg MS	7	<7
Cobalto ⁽²⁾	mg/kg MS	0.7	<0.7
Cromo ⁽²⁾	mg/kg MS	1	36
Cobre ⁽²⁾	mg/kg MS	1	510
Hierro ⁽²⁾	mg/kg MS	10	9500
Potasio ⁽²⁾	mg/kg MS	99	1352
Litio ⁽²⁾	mg/kg MS	0.3	<0.3
Magnesio ⁽²⁾	mg/kg MS	7	3470
Manganeso ⁽²⁾	mg/kg MS	0.3	122.3

L.C.M. : Límite de Cuantificación del Método

⁽¹⁾ Parámetro acreditado por IAS

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

INFORME DE ENSAYO IE-19-1180

IV. RESULTADOS

ITEM		1	
CÓDIGO DE LABORATORIO:		M-02720	
CÓDIGO DEL CLIENTE:		S-01	
COORDENADAS UTM WGS 84:		NO INDICA	
MATRIZ:		LOCO	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:		NO APLICA	
MUESTREO	FECHA:	2019-03-01	
	HORA:	15:00	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M.	RESULTADOS
Metales totales ⁽²⁾			
Molibdeno ⁽²⁾	mg/kg MS	1	46
Sodio ⁽²⁾	mg/kg MS	10	826
Níquel ⁽²⁾	mg/kg MS	2	19
Plomo ⁽²⁾	mg/kg MS	3	81
Antimonio ⁽²⁾	mg/kg MS	3	<3
Selenio ⁽²⁾	mg/kg MS	7	<7
Estaño ⁽²⁾	mg/kg MS	2	<2
Estroncio ⁽²⁾	mg/kg MS	0.1	270.6
Titanio ⁽²⁾	mg/kg MS	7	30
Talio ⁽²⁾	mg/kg MS	0.3	<0.3
Vanadio ⁽²⁾	mg/kg MS	1	27
Zinc ⁽²⁾	mg/kg MS	0.7	2262.4

L.C.M. : Límite de Cuantificación del Método

⁽²⁾ Parámetro acreditado por IAS

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

IV. RESULTADOS

ITEM		1	
CÓDIGO DE LABORATORIO:		M-02720	
CÓDIGO DEL CLIENTE:		S-01	
COORDENADAS UTM WGS 84:		NO INDICA	
MATRIZ:		LODO	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:		NO APLICA	
MUESTREO	FECHA:	2018-03-01	
	HORA:	15:00	
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS
Coliformes Fecales o Termotolerantes [□]	NMP / 100g	18	1600000000000000
Salmonella spp [□]	NMP / gST	3	<3
Escherichia Coli [□]	NMP / 100g	18	1600000000000000
Huevos de Helminfos [□]	H / 2gST	1	<1

Nota: Huevos de Helminfos equivalente a Huevos Viables de Helminfos

"L.C.M." : Límite de Cuantificación del Método

[□] Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL- DA

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical
Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas
de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

"FIN DEL DOCUMENTO"

Anexo 2: Resultados del monitoreo de pH, conductividad y temperatura

Fecha	Datos	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3		
		pH(T1)	T °C (T1)	C.ΕμS/cm (T1)	pH(T2)	T °C (T2)	C.ΕμS/cm (T2)	pH(T3)	T °C (T3)	C.ΕμS/cm (T3)
08/03/2019	1	7.4	29.2	910	7.18	27.9	1800	7.93	26.9	930
11/03/2019	2	7.3	28.2	1000	7.63	27.4	980	6.73	25.9	1010
15/03/2019	3	7.72	28.5	1150	7.66	26.9	1020	7.47	25.8	1080
18/03/2019	4	7.19	26.8	1170	7.06	25.9	1080	6.88	25	1070
22/03/2019	5	6.22	29.8	2590	6.19	32.5	2660	6.24	26.1	2470
25/03/2019	6	6.12	26.4	3540	6.32	30.6	3980	6.43	26.5	3130
29/03/2019	7	6.11	26.2	3555	6.60	26.4	3990	6.45	23.3	3100
01/04/2019	8	6.93	29.3	3290	6.72	28.9	3010	6.68	26.7	3050

Anexo N° 3: Presupuesto

ITEM	Descripción	UNID	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO(S/.)	PRECIO PARCIAL(S/.)
MATERIALES					
1	Lombrices <i>Eisenia Foetida</i>	kg	02	30.00	60.00
2	Cajas de madera	unid	03	1.00	3.00
3	Plástico negro	m	03	1.00	3.00
4	Jarras plásticas de 1L	Unid	02	2.00	4.00
5	Balde de 18 L	Unid	02	5.00	10.00
6	Guantes de nitrilo	Caja	01	8.00	8.00
7	Mascarilla	Caja	01	4.00	4.00
8	Papel filtro	Unid	15	0.50	7.5
9	Tamiz	Unid	01	5.00	5.00
10	Papel aluminio	Unid	01	5.00	5.00
11	Agua destilada	Galón	02	7.00	14.00
EQUIPOS					
12	Alquiler de Multiparametro	Unid	01	130	130
ANALISIS					
13	Análisis fisicoquímico de lodo residual	Und.	01	506.00	506.00
GASTOS LOGISTICOS					
14	Pasajes	Global	Varios	80.00	80.00
15	Impresiones, anillados, etc.	Global	Varios	100.00	100.00
				PRECIO TOTAL	939.50