

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**DESCONTAMINACIÓN MEDIANTE LA LOMBRICULTURA
DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
COPARE, TACNA 2020**

TESIS

PRESENTADA POR:

CÉSAR ALEXIS LARICO GÓMEZ

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO DE CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*) CON MENCIÓN EN
GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

TACNA – PERÚ

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

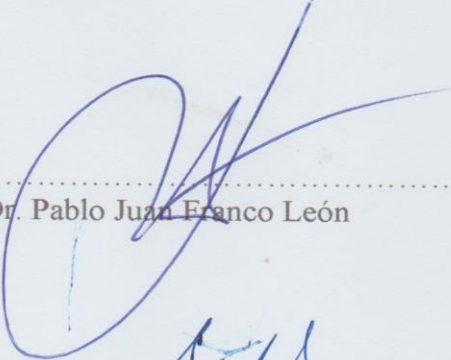
**DESCONTAMINACIÓN MEDIANTE LA LUMBRICULTURA DE LOS
LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATEMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DE COPARE,
TACNA 2020.**

Tesis sustentada y aprobada el 15 de marzo del 2023; estando el jurado calificador integrado por:


PRESIDENTE :


.....
Dr. Jorge Luis Lozano Cervera

SECRETARIO :


.....
Dr. Pablo Juan Franco León

MIEMBRO :


.....
Dr. Alexander Churata Neira

ASESOR :


.....
Dr. Alexander Churata Neira

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **ALEXANDER CHURATA NEIRA**, en mi condición de asesor acreditado de la tesis titulada: "**DESCONTAMINACIÓN MEDIANTE LA LOMBRICULTURA DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE COPARE, TACNA 2020**"; presentado por:

Egresado: **CÉSAR ALEXIS LARICO GÓMEZ**

Para optar el título: **MAESTRO DE CIENCIAS (MAGISTER SCIENTIAE) CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es **9%**. Por lo que **CERTIFICO LA SIMILITUD** de la tesis, la cual está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del Título de Maestro en Ciencias.



DNI: 44692349

Nombre y apellido: Alexander Churata Neira



DEDICATORIA

A mi madre Doris Gómez, por brindarme su protección y su cariño incondicional. A mis hermanos Gianella y Richard por el impulso que me dan para seguir adelante.

A Mayte Montesinos por el apoyo y compañía. Así mismo, a la ilusión, que me permite enfrentar los retos que se me presentan y lograr superarlos.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1.1 Descripción del problema	3
1.1.2 Problema general.....	4
1.1.3 Problemas específicos	4
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3 OBJETIVOS	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivo Específicos	6
1.4 HIPÓTESIS.....	6
1.4.1 Hipótesis general.....	6
1.4.2 Hipótesis específicas	6
1.5 VARIABLES	7
1.5.1 Identificación de variables	7
1.5.2 Definición operacional de la variable.....	7
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.6.1 Alcances.....	8
1.6.2 Limitaciones.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	9
2.1.1. A Nivel Internacional.....	9

2.1.2.	A Nivel Nacional	11
2.2.	BASES TEÓRICAS.....	14
2.2.1.	Las Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas	14
2.2.2.	Lodos residuales.....	15
2.2.3.	Tratamiento de Lodos en las PTAR.....	17
2.2.4.	Lombricultura	18
2.2.5.	Lombricultura con los lodos residuales.....	18
2.3.	Definición de Términos	19
CAPÍTULO III: MARCO FILOSÓFICO.....		20
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO.....		21
4.1.	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
4.2.	MATERIALES Y/O INSTRUMENTOS.....	21
4.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	22
4.4.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	23
4.5.	EJECUCIÓN DE LA TESIS	24
4.5.1.	Caracterización físico-química y microbiológica del lodo residual de la PTAR Copare	24
4.5.2.	Procedimiento de descontaminación mediante aplicación de la lombricultura	25
4.5.3.	Para determinar la calidad físico - químicas y microbiológicas del lodo residual descontaminado.....	28
4.6.	TRATAMIENTO DE DATOS	28
CAPÍTULO V: RESULTADOS.....		29
5.1.	Nivel de contaminación presente en el lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de Copare	29
5.1.1	Metales pesados	29

5.1.2	Parámetros microbiológicos del lodo residual	31
5.2	PROCEDIMIENTO DE DESCONTAMINACIÓN APLICANDO LA LOMBRICULTURA	32
5.2.1	Valoración de la Temperatura.....	34
5.2.2	Valoración de la Humedad.....	36
5.2.3	Valoración del pH	37
5.2.4	Valoración cualitativa del proceso de lombricultura.....	38
5.2.5	Análisis de componentes principales (PCA).....	39
5.3	Determinar la calidad físico - químicas y microbiológicas del lodo residual descontaminado.....	40
5.3.1	Presencia de Metales pesados	40
5.3.2	De los parámetros microbiológicos.....	43
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN		44
6.1	Del nivel de contaminación que presenta el lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	44
6.1.1	Presencia de metales pesados.....	44
6.1.2	Parámetros microbiológicos.....	45
6.2	Sobre el proceso de descontaminación mediante la aplicación de la lombricultura. 46	
6.2.1	Crianza y adaptación de la lombriz <i>Eisenia foetida</i> al lodo residual	46
6.2.2	Temperatura	46
6.2.3	pH.....	47
6.2.4	Humedad	48
6.2.5	Análisis de Componentes principales (PCA).....	48
6.3	Determinar la calidad Químicas y Microbiológicas del lodo residual descontaminado.....	49
CONCLUSIONES		51
RECOMENDACIONES.....		52

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones del biodigestor experimental.....	25
Tabla 2. Indicaciones para la prueba de puño.....	27
Tabla 3. Rangos de las características organolépticas del lodo residual y de la lombriz durante el proceso de descontaminación	27
Tabla 4. Metales pesados presentes en el Lodo residual.....	30
Tabla 5. Parámetro de toxicidad química de las Normas Técnicas contrastada con los valores obtenidos	31
Tabla 6. Análisis microbiológicos de las muestras de lodo residual de Copare	32
Tabla 7. Parámetros de higienización de biosólidos de las normales legales peruanas	32
Tabla 8. Parámetros evaluados para la descontaminación del lodo residual	33
Tabla 9. Metales pesados en el lodo descontaminado	41
Tabla 10. Parámetro de toxicidad química del lodo residual descontaminado	42
Tabla 11. Análisis microbiológicos de las muestras de lodo residual descontaminado.....	43
Tabla 12. Tabla Valores Máximos Permisibles de metales en los Biosólidos.....	67
Tabla 13. Tabla Contenido de biosolidos clase A y B según Norma 40 CFR Parte 503 (1993) de la EPA	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planteamiento de la metodología	24
Figura 2. Preparación del biodigestor con las lombrices californianas	26
Figura 3. Variación de la temperatura	34
Figura 4. Variación de la humedad.....	36
Figura 5. Variación del pH.....	37
Figura 6. Análisis cualitativo de la lombriz californiana	38
Figura 7. Análisis cualitativo de la lombriz californiana	39
Figura 8. Análisis de componentes principales para las variables medidas	40

RESUMEN

Los lodos depurados de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas contienen varios sólidos, y su matriz consiste en polvo o arena mezclados con sólidos inorgánicos. Estos lodos son residuos de los procesos de tratamiento de aguas domésticas y tienen propiedades similares a las de las aguas residuales tratadas. Se investigará el potencial y las propiedades de los lodos residuales, así como su idoneidad. Una forma de reutilizar estos desechos es depurarlos y convertirlos en abono orgánico, llamado humus, utilizando la especie de lombriz de tierra *Eisenia foetida*. Los anélidos consumirán una mezcla de lodos residuales (de la planta de tratamiento de aguas residuales de Copare) y materia orgánica descompuesta (lo que llamamos biomasa), todo en contenedores de espuma de poliestireno o poliuretano especialmente seleccionados para el proyecto. A través de este procedimiento se demostrará que los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Copare, luego de ser depurados por lombrices, tienen propiedades aptas para ser utilizados como fuente para la producción de abonos orgánicos (humus) para la agricultura en Tacna.

Palabras clave: Lodos residuales, planta de tratamiento de aguas residuales, lombriz californiana, lombricultura.

ABSTRACT

Purified sludge from domestic wastewater treatment plants contains various solids, and its matrix consists of dust or sand mixed with inorganic solids. These sludges are residues from domestic water treatment processes and have properties similar to those of treated wastewater. The potential and properties of sewage sludge will be investigated, as well as its suitability. One way to reuse this waste is to purify it and turn it into organic fertilizer, called humus, using the earthworm species *Eisenia foetida*. The annelids will consume a mix of sewage sludge (from the Copare wastewater treatment plant) and decomposed organic matter (what we call biomass), all in Styrofoam or polyurethane foam containers specially selected for the project. Through this procedure, it will be demonstrated that the residual sludge from the Copare wastewater treatment plant, after being purified by earthworms, have suitable properties to be used as a source for the production of organic fertilizers (humus) for agriculture. City of Tacna.

Keywords: Sewage sludge, wastewater treatment plant, Californian earthworm, vermiculture.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, se están elaborando políticas para proteger el medio ambiente y controlar los procesos que afectan al medio ambiente. En tal caso, las plantas de tratamiento se construyeron en el marco de las políticas con el fin de garantizar la calidad del agua. Asimismo, el tratamiento de aguas residuales crea lodos llamado lodo residual o biosólidos (Leppe et al., 2002; Hernández, 2004; Ramírez et al., 2007; More, 2015); debido al aumento en el procedimiento de aguas residuales, fue creada la necesidad de gestionar correctamente este subproducto para minimizar los peligros del medio ambiente asociados a su estructura, y según la normativa que sugiere una más grande calidad (More, 2015, p. 1). Los lodos son ricos en N, P y K, tienen microorganismos patógenos y metales pesados (Leppe et al., 2002; Jurado et al., 2004; Utria et al., 2008; More, 2015). Asimismo, este contenido puede ser utilizado de forma ecológica y económica a nivel agrícola.

Los lodos de aguas residuales se están estudiando como una opción más atractiva para esparcir lodos en tierras agrícolas porque se pueden reutilizar, son útiles desde el punto de vista agronómico y, por lo tanto, tienen una doble ventaja ambiental y agrícola al eliminarlos desechos orgánicos. Integración de materia orgánica en suelo cultivable (Aller *et. al.* 1999, More, 2015).

La ciudad de Tacna ha experimentado un crecimiento acelerado en los últimos años. La demanda de servicios de agua y saneamiento aumentó mucho, esto se suma a la escasez del agua en nuestra región. El sector agrícola es el más afectado por esta situación de baja disponibilidad de agua, la demanda para consumo humano y riego agrícola es alta. Las dos plantas de tratamiento de aguas residuales construidas en la región, permitirían maximizar el desarrollo agrícola mediante el uso de los lodos residuales producidos. (Del Carpio, 2001; More, 2015), el conocimiento de opciones que permitan la disposición o aprovechamiento de este material en grandes cantidades con viabilidad económica, técnica y ambiental se convierte en una prioridad.

El presente trabajo de investigación tuvo como finalidad examinar el potencial agrícola del lodo residual producido por el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Tacna. Actualmente, estos lodos de la PTAR de Copare son considerados un desecho, pero pueden ser manejados adecuadamente, con la lombricultura se puede obtener un humus de buena calidad química y microbiológica.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Descripción del problema

Se les da poca importancia a los lodos generados por la población en cuanto a su uso en la agricultura, para el beneficio del suelo. Estamos en desventaja con respecto a otros países que han tenido regulaciones en cuanto al tema y el uso más adecuado de los lodos durante mucho tiempo. El uso de rellenos sanitarios para la disposición de lodos y materia orgánica provoca que este recurso sea absorbido por una gran superficie, lo que a su vez provoca la liberación de gas metano a la atmósfera (More, 2015). Asimismo, los lodos residuales tienen un gran potencial de uso en agricultura, ya que tienen un alto contenido en materia orgánica y nutrientes. Aunque deben estar pre-estabilizados y desinfectados para minimizar los riesgos asociados a la presencia de patógenos (Marquina yMartínez, 2016, p. 19).

Existen herramientas para el desarrollo de la lombricultura, pero poca información sobre el tratamiento de lodos residuales en las depuradoras de aguas residuales domésticas, y también poca información sobre la obtención de abonos orgánicos de alta calidad. Por esta razón, se necesita investigación para evaluar diferentes sustratos utilizados con lodos de depuradora para producir humus de lombriz de calidad.

En la actualidad, existen diferentes tipos de tratamiento de aguas residuales domésticas; generalmente utilizando digestores biológicos o lodos activados (Columbus, 2017), dependiendo de cómo se elimine, tiene impactos ambientales negativos en la tierra o el agua. Por este motivo, en Tacna contamos con la Planta de Tratamiento de Lodos de Copare, la cual se ubicada en el cono sur de Tacna, se encuentra operativa y cumple con los requisitos ambientales para la disposición de aguas residuales; sin embargo, el lodo producido como subproducto del proceso no es tratado ni tampoco aprovechado. También

contamos con la Planta de tratamiento de aguas residuales de Magollo que se ubica en las afueras de Tacna por la carretera costanera en dirección a la ciudad de Ilo.

Esta investigación, tiene la finalidad descontaminar el lodo residual de la PTAR de Copare. El lodo se colocará en un sistema de cajas de poliuretano, en donde la acción fagocitaria de las lombrices californianas (*Eisenia foetida*) a los biosólidos (ricos en proteínas y carbohidratos), permitirá la obtención de un compuesto rico en nutrientes y libre de contaminantes; siendo este considerado un producto de gran utilidad en la agricultura.

1.1.2 Problema general

- ¿Cuál será la eficacia de la lombricultura en la disminución de la contaminación de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Copare Tacna - 2020?

1.1.3 Problemas específicos

- ¿Cuál es el nivel de contaminación que presenta el lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de Copare?
- ¿Cómo es el procedimiento de descontaminación mediante la aplicación de la lombricultura?
- ¿Cuál es la calidad del lodo residual después de aplicar la lombricultura?

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La fertilización hoy en día se basa en productos inorgánicos. Su uso tiene la importante ventaja de que se puede obtener un mayor rendimiento; pero directamente adolecen de una carencia evidente: Su aporte en materia orgánica es nulo (More, 2015, p.13).

Los lodos residuales sin procesar traen como consecuencias la reducción de la fertilidad y de las capas útiles del suelo, reducción del contenido de nutrientes, erosión, etc.

Algunas zonas se vuelven irreversibles, lo que tendrá graves consecuencias ambientales a medio y largo plazo, limitando su viabilidad futura (More, 2015, p.14).

Según Albornoz y Ortega (2017), indica que, con un tratamiento adecuado de los lodos, se pueden utilizar para la remediación de tierras; no solo utilizándolos con fines comerciales, sino también puede mejorar la calidad de vida de los agricultores, con suelos más sanos y en mejores condiciones para poder obtener cultivos más eficientes y así producir alimentos de mejor calidad que permitan que lleguen al mercado, productos que no causen enfermedades o problemas no deseados a corto y/o largo plazo (p. 13).

Según More (2015). El aprovechamiento de los lodos de depuradora de aguas residuales para el aprovechamiento beneficioso del suelo, especialmente en la agricultura, ha demostrado recientemente ser una opción interesante a la hora de decidir cómo utilizar dichos lodos. El principal beneficio es el efecto benéfico observado en la mejora de las propiedades del suelo, reduciendo el uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos. Sin embargo, a pesar de esto, también es una preocupación cuando se trata de la contaminación de los alimentos con metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos.

Este proyecto, tuvo su base en la premisa, de que el lodo de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, presenta parámetros bajo los límites máximos permisibles, establecidos por la legislación ambiental del país. Se probará, de forma práctica que el lodo residual, de una PTAR, puede ser utilizado en conjunto con desechos orgánicos, por parte de lombrices californianas (*Eisenia foetida*) para disminuir su contaminación y para la obtención de humus orgánico. Esto tendrá un impacto ambiental positivo, debido a la obtención de abono orgánico (humus) a partir de la reutilización de un subproducto (lodo); además, el producto obtenido tendrá un valor agregado, con la posibilidad de ser usado en la urbanización o comercializado según corresponda.

Marquina y Martinez (2016), mencionan que este tipo de trabajo “presenta relevancia ambiental y social, pues mejora las condiciones del ambiente, ya que se aprovecharía el

abono orgánico obtenido en la producción de cultivos” (p. 17); mejorando la producción e incentivando la agricultura orgánica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Determinar la eficacia de la lombricultura para descontaminar los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Copare.

1.3.2 Objetivo Específicos

- Determinar el nivel de contaminación que presenta el lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Describir el procedimiento de descontaminación mediante la aplicación de la lombricultura.
- Determinar la calidad físico - químicas y microbiológicas del lodo residual descontaminado.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

La lombricultura es eficaz en la disminución de la contaminación en los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Copare – Tacna 2020.

1.4.2 Hipótesis específicas

- El nivel de contaminación que presenta el lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de Copare es alto.
- El uso de un sistema de cajas de poliuretano es el procedimiento adecuado para la descontaminación del lodo mediante la lombricultura.

- La calidad físico-química y microbiológica del lodo residual descontaminado por lombricultura es alta.

1.5 VARIABLES

1.5.1 Identificación de variables

Variable independiente: Lodo residual

Variable dependiente: Descontaminación de lodo residual.

1.5.2 Definición operacional de la variable

1.5.2.1 *Variable independiente:* Lodo residual

Definición operacional:

Los lodos de depuradora son un contaminante o residuo de la eliminación de desechos municipales. Su destino final puede volverse problemático si no se maneja adecuadamente, causando serios problemas de salud y ambientales.

1.5.2.2 *Variable dependiente:* Descontaminación de Lodo residual.

Definición operacional:

Se expresará mediante los indicadores físico – químicos y microbiológicos: pH, Conductividad Eléctrica (dS/m), Nitrógeno (%), Fosforo (%) Humedad (%), Na (%), coliformes totales y coliformes fecales, que serán comparados con estándares nacionales e internacionales.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Alcances

El presente trabajo de investigación se centra exclusivamente en la recolección y tratamiento de lodos residuales de la PTAR de Copare. Aplicando lombricultura y reducir los niveles de contaminante que pueda tener el lodo residual producido en la ciudad de Tacna.

1.6.2 Limitaciones

El presente proyecto se ha limitado a las muestras de lodo residual de la PTAR de Copare, que pertenece a la EPS Tacna. Y denotando el poco interés de parte de la entidad por encontrar un uso adecuado para estos lodos residuales, que se encuentran regados en la PTAR de Copare, sirviendo como caldo de cultivo para la proliferación de moscas, ya que estas depositan sus huevos en estos lodos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1 A Nivel Internacional

Castillo y Chimbo (2021), evaluaron la eficiencia de remoción de sustancias orgánicas mediante filtros de lombriz (*Eisenia foetida*) de aguas residuales domésticas en los campos. En condiciones experimentales, desarrollaron un filtro de gusano basado en el sistema de tratamiento de Toh, que consta de cuatro capas: Virutas + *Eisenia foetida*, carbón activado, grava y piedras de río. Luego evaluaron las concentraciones orgánicas en el agua entrante y encontraron altas concentraciones de DBO5, DQO, TSS y TS. Uno de los tratamientos (T1) logró el mayor porcentaje de eficiencia con un caudal volumétrico. De esta forma, determinaron que la remoción de materia orgánica mediante filtros de lombriz a base de *Eisenia foetida* es un sistema de tratamiento ecológico e innovador que requiere de una baja inversión, es altamente eficiente y amigable con el medio ambiente (p. 80).

Monroy (2021). Investigó los peligros de los lodos de los sistemas de procesamiento de carne para el tratamiento de aguas residuales en las provincias de Pichincha y Cotopaxi utilizando el análisis CRETIB, que incluyó la determinación de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad e infectividad biológica para determinar el riesgo y proponer acciones para su manejo, de tal manera, el trabajo de investigación pudo determinar que el lodo residual cumple con los valores límite máximos permisibles y no es peligroso, además, puede ser utilizado en la agricultura y enmiendas del suelo en términos de contenido de metales y microbiológicos (p. xviii).

Guzmán et al. (2020). Se estudió el efecto de la relación entre las variables concentración de iniciador, tiempo de exposición y temperatura sobre la biodegradación de residuos sólidos municipales en condiciones controladas utilizando un vermifiltro de *Eisenia foetida*, así

mismo, durante la biodegradación, se encontró que la interacción entre la concentración del cultivo iniciador y el tiempo de exposición era significativamente dominante, y se obtuvieron 2 modelos de área de respuesta de segunda orden, que se confirmaron estadísticamente mediante estudios de varianza, además, la máxima eficiencia del sistema se logró a una concentración de cultivo del 2,5 % a 32°C durante 96 días, en cuyo caso se demostró una mayor corrección de los resultados del modelo con un mayor índice de biodegradación y bajo contenido de contaminantes químicos y orgánicos en el efluente (p. 81).

Marín (2019). Su proyecto se enfoca en el desarrollo de una propuesta para la producción de abonos minerales orgánicos a partir de lodos generados en una planta de tratamiento de aguas servidas en Sopo, provincia de Cundinamarca, asimismo, las pruebas que obtuvo arrojaron resultados fisicoquímicos positivos: Interacción C/N igual a 9.73, contenido de cenizas 55.66 %, pH 7.4, en estudios microbiológicos ocurrió lo contrario por la prevalencia de microorganismos patógenos (bacterias coliformes) (pág. 24).

Columbus (2017). Tuvo como objetivo obtener compuestos húmicos mediante el tratamiento de lombrices en lodos digeridos de la planta de tratamiento de Villa Club Cosmosen una planta piloto, al finalizar el proyecto se obtuvo un humus joven con características físicas y organolépticas, propias de un proceso abono orgánico procedente de un tratamiento con lombrices californianas (*Eisenia foetida*). En la investigación de laboratorio a este humus se ha podido ver que el rango de pH (6 – 7), manteniéndose sutilmente ácido, por la existencia de ácidos fúlvicos y húmicos, del mismo modo se vio una disminución del parámetro aceites y grasas, aceptando su consumo de parte de las lombrices californianas. Los metales pesados se mantuvieron constantes, y todos los parámetros analizados estuvieron dentro de sus respectivos límites máximos permisibles, acorde a la Legislación Ambiental vigente en el Ecuador (p. 44).

Rosales y Ortez (2017). Estaban trabajando en la "Evaluación de la estabilización de lodos residuales convencionales y humus como fuente alternativa de fertilizantes en la producción

de viveros", el estudio se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Pampas en Triunfo, Puerto Rico, Provincia de Usulután y Juta, San Miguel, El Salvador, asimismo, los resultados de laboratorio físico, químico y bacteriológico de los lodos residuales estabilizados por compostaje y tratamiento cerrado son las referencias máximas permitidas en las normas técnicas, de igual forma, los resultados de seguridad del cultivo indicador de rábano cosechado y el análisis de laboratorio también mostró a *Salmonella spp* como ausente, los parámetros de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* estaban dentro de los parámetros exigidos por las normas de referencia (p.51).

Ramón et. al. (2015). Su investigación tiene como objetivo diseñar y construir un sistema de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Pamplona utilizando el sistema de tratamiento Tohá creado por el Dr. José Tohá de la Universidad de Chile como base teórica, el proceso consiste en un programa que utiliza filtros de gusano (aserrín y *Eisenia foetida*) y luego el agua residual pasa a través de capas de carbón activado y grava, lo que permite la oxidación de las gotas de agua existentes en el medio de las camas, como resultado el agua se recibe tratada y con bajo contenido de materia orgánica, todo esto dentro del límite establecido por la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Primario CRA de Colombia (p. 46).

Quintana (2012). En su estudio de Factibilidad Técnica de Compost Biosólido Seco en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo, Cali, buscó mejorar la calidad fisicoquímica y microbiológica y poder clasificar este material como un compost destinado a uso agrícola, de manera que, el estudio encontró grandes inconsistencias en la interacción C/N, así como oligoelementos fuera del parámetro, asimismo, los ensayos controlados y otros tratamientos con biosólidos secos han producido resultados decepcionantes (p.3).

2.1.2 A Nivel Nacional

Tobala (2020). Su objetivo fue evaluar los efectos de la lombriz californiana (*Eisenia foetida*) en los lodos residuales de la PTAR. Media Luna en Ilo-Moquegua, los resultados

concluyeron que existen diferencias significativas en los límites de pH, temperatura y humedad a lo largo del proceso de lodos, asimismo, la densidad del gusano varía considerablemente, se verificó que hay diferencias significativas en los límites químicos anteriormente y desde el procedimiento del lodo residual, dichos resultados demuestran que el lodo residual final tiene un elevado contenido de macronutrientes (p. 5).

Apaza y Quirita (2020). Estudiaron el valor de los biosólidos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Escalerilla” (Arequipa) para ser utilizados como fertilizante en el cultivo de plántulas de Mioporo, teniendo en cuenta las características de los biosólidos analizados en laboratorio se desarrollaron cuatro tratamientos: T1 (100 % suelo agrícola), T2 (70 % suelo agrícola y 30 % biosólido), T3 (50 % suelo agrícola y 50 % biosólido), T4 (30 % suelo agrícola y 70 % biosólido); los resultados mostraron que T2 fue la muestra con mejor desempeño en cuanto a las tres variables evaluadas, las muestras T1, T3 y T4 mostraron un incremento en altura (p. iii).

Huaman (2019). Tuvo como objetivo tratar los lodos de las estaciones depuradoras de aguas residuales del CITRAR – UNI de la red de alcantarillado de SEDAPAL proveniente de los asentamientos humanos El Ángel y El Milagro. El proyecto realizado con tecnología de vermicompostaje logró buenos resultados después de un mes de iniciado en sus tres tratamientos, el volteo periódico fue uno de los factores que aceleró el proceso, además, se obtuvieron resultados favorables en cuanto a formación de nitrógeno, interacción C/N y cambios de pH, C.E y temperatura, pudiendo obtener un lodo tratado que podría ser utilizado como tal. Cabe mencionar, que no se obtuvo resultados positivos en cuanto a los valores nutritivos del abono orgánico, sugiriendo el autor un mayor tiempo de investigación para lograr resultados favorables (p. 52).

Huamán y Huamán (2019). Señalaron en su estudio sobre el análisis y tratamiento de lodos residuales generados en la planta de tratamiento de Cajabamba para obtener compost y ladrillos, la experiencia de utilizar estas opciones de tratamiento ha dado resultados positivos,

es decir, es posible obtener compost y ladrillos refractarios a partir del tratamiento de los lodos sobrantes. Para obtener compost señalan la siguiente distribución: 60 % lodos como materia prima suplementados con 30 % residuos de maíz y 10 % abonos orgánicos, para la elaboración de ladrillos para quemar se da la siguiente distribución: 43 % purines, 48 % astillas de madera, 6 % cola sintética y 3 % agua; esta distribución da un ladrillo en llamas con un poder calorífico de 77,5 kcal (p. III).

Acuña y Reyes (2017). Tuvieron como objetivo determinar la eficiencia de lombrices de tierra (*Lumbricus Terrestris*) y lombrices rojas (*Eisenia Foetida*) en el tratamiento de aguas residuales en condiciones ambientales de la ciudad de Bagua, y los resultados mostraron que la eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas residuales por parte de la lombriz roja fue una tasa de eliminación promedio del 73 %, mientras que la lombriz de tierra alcanzó el 63 %, lo que en este estudio demuestra que las especies de *Eisenia Foetida* son más efectivas en la remoción de contaminantes. (p. xix).

Marquina y Martínez (2016). Determinaron la calidad del abono orgánico derivado de la lombricultura a partir de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Antonio de Carapongo. Como resultado, encontraron que la lombricultura con “*Eisenia foetida*” tuvo un efecto significativo en la calidad del abono orgánico obtenido de los lodos residuales, sumando así al avance de la ciencia y la tecnología en el país. (p. 15).

More (2015). Investigó el potencial agrícola de los lodos de las plantas de tratamiento de Copare y Magollo en Tacna, pudo concluir en base a la normatividad nacional y mundial, como también puntos técnicos ambientales, que los lodos pertenecientes a las plantas de tratamiento de Copare no prestan atención a su uso en la agricultura por sus condiciones agronómicas o higiénicas no aceptables para la fertilización, pero los lodos pertenecientes a la estación depuradora de Magollo, si bien no están probadas en condiciones óptimas en la frontera de la agronomía, contienen cierta concentración de metales pesados y cierta cantidad de patógenos que le permite ser utilizado en la agricultura. (p. 198).

Juárez (2010). En su estudio, los lodos residuales de la industria del papel se reciclaron utilizando el gusano rojo californiano (*Eisenia foetida*). Para ello se prepararon diferentes combinaciones de sustratos, en los cuales se sembraron lombrices, se lavó el estiércol de vaca usado para separar el exceso de sal en él, también se prepararon lodos de la industria del papel y estiércol lavado en 5 proporciones diferentes (100 %, 75 %, 50 %), 25 % y 0 %), como resultado, la solución de lodo residual al 100 % produjo el mejor humus, seguida de la solución de lodo al 75 % + 25 % de estiércol, sin diferencias significativas entre los dos tratamientos (p. 79).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Las Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas

Una PTAR, es un conjunto de métodos de tratamiento para lograr que el agua de uso doméstico, proveniente en una o varias viviendas cumpla con los límites máximos permisibles y de esta forma no cause un impacto ambiental, cuando sea descargada en un cuerpo receptor, sea este un río o el océano (Jacipt *et al.* 2015; Columbus, 2017).

En cuanto al lodo proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, siendo su composición los silicatos y otros sólidos suspendidos que eventualmente decantan; estos se encuentran en las aguas que son remediadas. Los lodos presentan una problemática, ya que se acumulan en el fondo de las pozas de remediación citado previamente, por lo cual producen una disminución acumulativa de la cantidad de agua a tratar; por lo tanto, estos lodos deben ser removidos cada cierto tiempo, cuya base es el volumen de agua residual doméstica tratada (Columbus 2017).

2.2.2 Lodos residuales

Los estándares internacionales definen los lodos como sólidos con contenido de humedad variable deshidratados de plantas de tratamiento de agua y sistemas de aguas residuales municipales (Rosales y Ortez, 2017, p.12).

Los lodos de depuradora también se conocen como el residuo semisólido que queda del proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas, y está compuesta de materia orgánica no descompuesta, microorganismos patógenos, componentes no biodegradables potencialmente tóxicos como metales pesados y sales inocuas eliminadas del proceso tratamiento (Hernández *et al.*, 1995; Pérez, 2016, p.7).

2.2.2.1 Origen de los lodos residuales

Estos son materiales orgánicos sólidos producidos durante el tratamiento de aguas residuales de origen privado o comunitario y pueden ser utilizados beneficiosamente, particularmente para la remediación de suelos (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [USEPA], 1999). Los lodos de depuradora son un material semisólido, heterogéneo, cuya composición varía mucho según las características del agua residual, el proceso de tratamiento utilizado y el tipo de tratamiento del lodo (Moreno y Moral, 2008). Estas diferencias también están relacionadas con el clima, el uso y la forma de la tierra, la distribución de la población, los problemas de calidad del agua y la situación económica de las ciudades (More, 2015, p. 36).

2.2.2.2 Tipos de lodos

Gran parte de los contaminantes liberados durante el tratamiento de aguas domésticas o municipales terminan en lodos, estos lodos producidos dependen en gran medida del nivel de tratamiento que reciben las aguas residuales (Ramalho *et al.*, 1990; Pérez, 2016, p. 24).

- **Lodo crudo**

Es una sustancia cruda o estabilizada que se puede recuperar de las plantas de tratamiento de aguas residuales, también, tiende a causar acidificación de la digestión y olor (Pérez, 2016, p. 24).

- **Lodos primarios**

Derivan de la sedimentación primaria donde se eliminan los sólidos sedimentables y se componen principalmente de arena fina, sólidos inorgánicos y sólidos orgánicos (Cardozo y Ramírez, 2000). Además, los lodos primarios suelen contener grandes cantidades de materia orgánica, material vegetal, papel, etc., su composición se caracteriza por ser un líquido viscoso con un porcentaje de agua de 93 % a 97 %, de color marrón a gris, que se vuelve rancio y tiende a producir un olor desagradable. (Pérez. 2016, p. 24).

- **Lodo activo**

Es resultado de proceso biológico de aguas residuales caracterizado por la intervención de diferentes especies de microorganismos, el lodo activado forma flóculos que contienen biomasa y minerales que son absorbidos y almacenados (Pérez. 2016, p. 25).

- **Lodos secundarios**

Es un lodo producido en el tratamiento biológico secundario de aguas residuales mediante la conversión de residuos o sustratos solubles en biomasa, y también incluye partículas que permanecen en el agua después de la precipitación primaria y se incorporan a la biomasa (Cardozo y Ramírez, 2000). Este lodo secundario es de color marrón y por lo general no desarrolla un olor tan rápido como el lodo primario, pero produce un olor tan fuerte como el lodo primario. (Valderrama, 2013; Pérez. 2016, p. 25).

- **Lodos digeridos**

Se producen durante la digestión aeróbica, son de color negro, contienen una cantidad relativamente grande de gas y cuando se digieren adecuadamente, casi no producen olor o producen un olor relativamente débil que no es desagradable. Su contenido en materia orgánica está entre el 45 % y el 60 % (Valderrama, 2013; Pérez. 2016, p. 25).

2.2.3 Tratamiento de Lodos en las PTAR

Oropeza (2006). En su estudio titulado "Lodos residuales: Estabilización y gestión", propone cuatro métodos para tratar los lodos residuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales, para ello se basa en la experiencia estadounidense y europea, el autor garantiza que la tecnología de tratamiento de lodo residual producido por las plantas de tratamiento de aguas residuales en los EE. UU. y Europa se lleva a cabo mediante los siguientes procesos:

Primero, está la digestión anaeróbica que implica la estabilización de los desechos orgánicos por microbios en ausencia de oxígeno; el siguiente es el reciclaje aeróbico, que es un proceso de aireación a largo plazo (que proporciona O₂ al sistema) que permite que el crecimiento de la población microbiana sea autogenerado y automático; el tercer paso es el tratamiento químico, que juega principalmente un papel bactericida, lo que resulta en el bloqueo temporal de la fermentación ácida, debido al costo reducido y la alcalinidad, la cal es el reactivo más utilizado; combustión casi completa, resultando en una combustión incompleta de la materia orgánica en el lodo remanente, que produce cenizas compuestas únicamente por los minerales presentes en el lodo, y finalmente vermiestabilización, es decir, el uso de lombrices para la estabilización de lodos y reducción de patógenos, el objetivo principal del tratamiento de lodos es reducir su volumen utilizando algunos de los procesos mencionados anteriormente.

2.2.4 Lombricultura

Las lombrices de tierra han sido llamadas animales ecológicos desde la antigüedad, transforman todos los desechos de la sociedad humana en humus de la más alta calidad, ese mismo humus que regresa al suelo y hace que recupere todos sus nutrientes, por otro lado, en el antiguo Egipto, las lombrices de tierra se consideraban un valioso animal (Acuña y Reyes, 2017). El gran filósofo griego Aristóteles las definió con precisión como "las entrañas de la tierra" porque cavan canales en la tierra, haciéndola porosa y facilitando la oxidación y la penetración del agua (Salazar, 2005; Acuña y Reyes, 2017, p. 6).

Los primeros estudios en profundidad y los primeros conceptos sobre los hábitats y sistemas reproductivos de las lombrices datan de 1837, estos estudios fueron liderados por Charles Darwin (Agroflor, 1993; Salazar, 2005; Acuña y Reyes, 2017). También a partir de la década de 1950 se establecieron las primeras granjas intensivas en California, Estados Unidos. Desde entonces, la investigación y los estudios no se han detenido, dando como resultado diferentes tipos de gusanos cada vez (Acuña y Reyes, 2017, p. 6).

2.2.5 Lombricultura con los lodos residuales

Por razones prácticas y económicas, el uso de lodos tratados en terrenos agrícolas es una práctica común en los países desarrollados (Barrios, 2009). El lodo remanente tiene valor como fertilizante y además mejora las propiedades físicas del suelo (Saavedra, 2007). Sin embargo, es necesario caracterizar estos sólidos residuales porque contienen sustancias como arsénico, cadmio, mercurio, orgánicos contaminantes y microorganismos patógenos (Marquina y Martínez, 2016, p. 54).

Muchas plantas de tratamiento de aguas residuales solo tienen lechos secos donde el lodo se deshidrata y se transporta a rellenos sanitarios, o generalmente se entierra en un terreno abierto cerca de la planta. La deshidratación de los lodos se realiza en lechos secos o losas de hormigón con filtro de arena y grava, resultando en lodos con una humedad del aire inferior al 90 % (Cardoso, 2000; Marquina y Martínez, 2016, p. 55).

Los gusanos han sido durante mucho tiempo un gran aliado de los humanos en la lucha contra la contaminación que crean. Estos animales silenciosos quitan la toxicidad de los desechos orgánicos contaminados con microorganismos patógenos, parásitos e incluso metales pesados con notable eficiencia (Laborde, 2016). Por esta razón, la calidad a alcanzar por el vermicompostaje es la de un biosólido o residuo no peligroso, salvo que no excedan los límites máximos de patógenos y parásitos establecidos deliberadamente para su uso o disposición final (Marquina y Martínez, 2016, p. 55).

2.3. Definición de términos:

1. **Metales Pesados:** Son sustancias naturales de alto peso molecular que están muy extendidas y son útiles en muchas situaciones, su concentración en el suelo debe ser equilibrado en función de la composición del material original y procesos del suelo (Pérez, 2016, p.21).
2. **Lombricultura:** Es una biotecnología que utiliza un gusano domesticado como herramienta de trabajo para procesar diversas sustancias orgánicas y con este trabajo obtener abonos orgánicos (Agüero, 2019, p. 34).
3. **Lombriz californiana:** Forman parte de las herramientas biotecnológicas actuales para el procesamiento de desechos orgánicos, beneficiándose de la vermicomposta (abono orgánico) y la carne, que es una excelente fuente de alimentación animal. (Bermúdez, 2016, p. 40).
4. **Lodos residuales:** Su composición contiene nutrientes y elementos favorables al crecimiento vegetal, principalmente en forma orgánica (Zabotto, 2019, p. 104).

CAPÍTULO III

MARCO FILOSÓFICO

Ricoy (2006), afirma que los paradigmas positivistas han sido descritos como cuantitativos, empíricamente analíticos, racionalistas, de sistemas de gestión y tecnocientíficos, el paradigma positivista apoyará la investigación que tenga como objetivo probar hipótesis por medios estadísticos o determinar los parámetros de una variable usando expresiones numéricas (p.14). Asimismo, el positivismo fue originalmente una forma de investigación en las ciencias físicas o naturales y luego fue adoptado por las ciencias sociales (Ricoy, 2006). En las intervenciones positivistas sobre aspectos sociales, los métodos de generación de conocimiento se basan en procedimientos de análisis de datos establecidos en las ciencias exactas y, francamente, en este paradigma, los métodos de la medicina, la física o la biología ciertamente deberían aplicarse a la sociedad. La investigación científica, aunque es un parámetro, en realidad se considera una ciencia social y debe entenderse y expresarse en términos de leyes o generalizaciones del conocimiento, como explicar leyes naturales o fenómenos físicos (Requejo, 2019, p. 75).

Este proyecto busca transformar un residuo no aprovechado por la carga de patógenos que lleva a un producto viable y aprovechable para el uso agrícola en la ciudad de Tacna.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo fue de carácter experimental.

4.2 MATERIALES Y/O INSTRUMENTOS

a) Lodo residual

El lodo residual fue obtenido del lecho de secado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Copare, Tacna.

b) Lombricultura

Es una serie de actividades relacionadas con la reproducción de lombrices, que procesan desechos biológicos orgánicos, los cuales son procesados en forma de abono denominado humus de lombriz. Este trabajo seleccionó lombrices de tierra de la especie *Eisenia foetida*, que es una especie conocida y se utiliza en más del 80 % de los criaderos en todo el mundo (Cobos y Costa, 2011).

c) Equipos e instrumentos para la obtención, homogenización, muestreo de los lodos e instalación del experimento.

- Sacos de polietileno
- Mascarilla
- Guantes de jebe
- Bolsas herméticas 26,8 x 27,9 cm
- Cooler
- Pala
- Wincha

- Regla graduada
- Romana de 5 kg
- Rafia
- Tamiz
- Balanza electrónica
- Vernier
- Tablero, cuaderno de apuntes
- Cámara digital
- Balanza analítica
- Plumón indeleble

4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

A. PTAR

En la ciudad de Tacna se tiene dos plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales son Copare y Magollo (More, 2015), la PTAR de Copare es de donde obtuvimos la muestra para el presente trabajo.

B. Lodo residual

Se extrajeron 8 kg de lodo residual y se extrajo el lodo en varios puntos para asegurar que las muestras fueran representativas. Los lodos se encontraban disperso en una zona de la PTAR de Copare, en proceso de deshidratación (tratamiento según la NORMA OS.090 inciso 5.9.1.3) (More, 2015).

C. Lombricultura

El tipo de lombriz elegido para este trabajo es la lombriz roja de California (*Eisenia foetida*), la cual se caracteriza principalmente por la calidad del humus que produce, el cual puede ser utilizado como abono orgánico. También forma parte de una herramienta biotecnológica muy utilizada en la actualidad para el

procesamiento de residuos orgánicos, y tiene una vida útil de unos 4 años, y las colonias existentes duplican su número individual cada 3 meses. (Alastre, 1995; Columbus, 2017; Hernández, 2019).

4.4 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Las dimensiones, indicadores y unidades de cada variable se muestran en la Tabla 01.

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDADES DE MEDIDA
INDEPENDIENTES			
	pH	Nivel Ácido Neutro Alcalino	0 - 14
Lodo residual de la PTAR de Copare	Materia orgánica Fósforo (P)	Nivel Alto	%
	Potasio (K) Magnesio (Mg)	Medio bajo	ppm
	Calcio (Ca) Sodio (Na)		meq/100 g
	Elementos traza metálico (ETM)	METALES PESADOS Al, Sb, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Ah, Pb, Se, Tl, Th, U, V, Zn	mg/kg
	Compuestos microbianos	Coliformes totales; Coliformes fecales; <i>Escherichia coli</i> ; <i>Salmonella</i> sp.	Número más probable de microorganismos/g
DEPENDIENTE			
Lodo descontaminado	Elementos traza metálico (ETM)	METALES PESADOS Al, Sb, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Ah, Pb, Se, Tl, Th, U, V, Zn	mg/kg
	Compuestos microbianos	Coliformes totales; Coliformes fecales; <i>Escherichia coli</i> ; <i>Salmonella</i> sp.	Número más probable de microorganismos/g

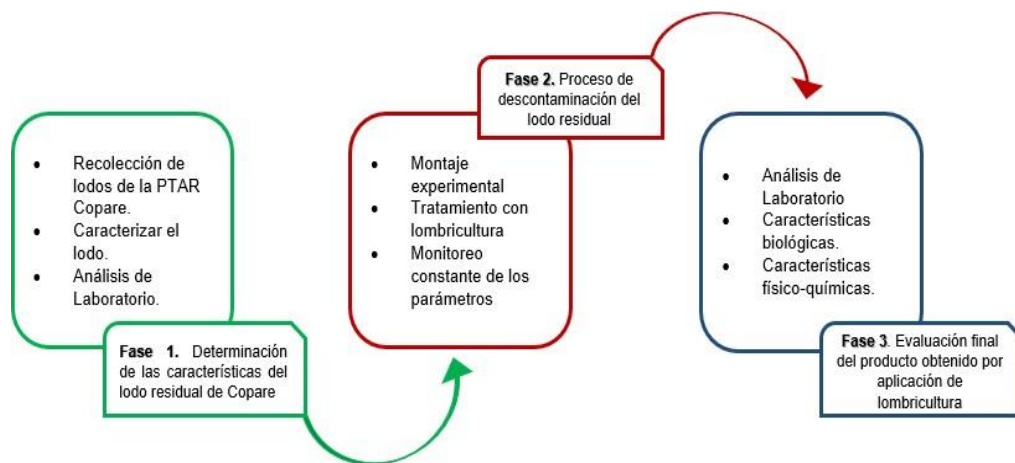
Fuente: Elaboración propia

4.5 EJECUCIÓN DE LA TESIS

En la siguiente tabla se muestra el proceso que se siguió para desarrollar la evaluación del sistema de lombricultura para descontaminar el lodo residual proveniente de la PTAR Copare.

Figura 1

Planteamiento de la metodología



La siguiente figura muestra las fases en las que se presentan los objetivos del proyecto, indicando las actividades a realizar. Los procedimientos realizados fueron comparativos y determinaron la efectividad de las lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales de Copare y realizaron análisis inicial y final de los lodos residuales.

4.5.1 Caracterización físico-química y microbiológica del lodo residual de la PTAR Copare.

Se realizaron análisis del lodo residual proveniente de la PTAR de Copare, el cual fue analizado de la siguiente forma:

- **Metales pesados**

Estos parámetros fueron analizados en el laboratorio de Hidrolab Perú S.A.C (Lima) sobre lodos residuales.

- **Parámetros microbiológicos**

Este parámetro fue determinado solo en lodos, mediante un análisis microbiológico, llevado a cabo en el Laboratorio de Dirección Regional de Salud (DIRESA – Tacna) – Laboratorio de Salud Ambiental.

4.5.2 Procedimiento de descontaminación mediante aplicación de la lombricultura.

Se instaló un biodigestor hecho de una caja de Tecnopor y se le adecuó una rejilla en la base del biodigestor para recolectar los lixiviados, evitando que el agua se acumule y produjera malos olores dentro del biodigestor.

Tabla 1

Dimensiones del biodigestor experimental

DIMENSIONES DE LOS RECIPIENTES		
A	Ancho (cm)	39
B	Largo (cm)	40
C	Alto (cm)	41
	Volumen	63 960 cm ³

Fuente: Elaboración propia

Figura 2

Preparación del biodigestor con las lombrices californianas



Al biodigestor se le incorporó un porcentaje de lodo residual (6 kg) de la planta de tratamiento de Copare y residuos vegetales para mantener vivas a las lombrices. También se añadió 1 kg de lombrices rojas de California (*Eisenia foetida*).

4.5.2.1 Monitoreo de Parámetros

Los parámetros de pH, humedad y temperatura fueron monitoreados durante 16 semanas para observar el normal funcionamiento del proceso de crianza de lombrices. Además, se determinaron los cambios cualitativos de lombrices y lodos: color, tamaño, número y color, olor y textura. Se utilizó papel tornasol para analizar el parámetro de pH.

Albornos y Ortega (2017). Recomiendan utilizar un termómetro - hidrómetro digital para medir variables ambientales como la temperatura. Permite recoger datos de temperatura y registrar la humedad relativa. Se hizo una primera prueba (prueba del puño) para determinar la humedad inicial y final para ver si el riego manual funcionaba correctamente (Albornos y Ortega, 2017, p. 38).

Las consideraciones para esta prueba se especifican a continuación:

Tabla 2*Indicaciones para la prueba de puño*

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

Fuente: Albornoz y Ortega 2017

En cuanto a las propiedades de los lodos, se ha observado cómo cambia su aspecto a medida que avanza el proceso y el seguimiento de las propiedades de las lombrices permite conocer si se adaptan y siguen reproduciéndose.

Tabla 3*Rangos de las características organolépticas del lodo residual y de la lombriz durante el proceso de descontaminación.*

Rango	Apariencia del lodo			Apariencia de lombriz		
	Color	Olor	Textura	Color	Tamaño (cm)	cantidad
3	negro	Fuerte olor a azufre y amonio		roja	7	10 - 15
2	intermedio	Medio	arcilloso	rosada	4	5 - 10
1	café	Sin olor	granulado	gris	2	1 - 5

Fuente: Albornoz y Ortega, 2017.

Para los datos de tamaño de lombrices se utilizó el método propuesto por Albornoz y Ortega (2017). Es importante tener en cuenta que las muestras aleatorias del lodo en el biodigestor se deben tomar manualmente y calcular la fracción y el tamaño del gusano. Esto

le permite observar el crecimiento de la descendencia y determinar si los gusanos se están reproduciendo (p. 39).

4.5.3 Para determinar la calidad físico - químicas y microbiológicas del lodo residual descontaminado.

Se realizaron análisis del lodo residual proveniente de la PTAR de Copare, el cual fue analizado de la siguiente forma:

- **Metales pesados**

Estos parámetros en los lodos fueron analizados mediante análisis de metales realizados en el laboratorio de Hidrolab Perú S.A.C (Lima). Los parámetros determinados se muestran en las Tablas 5 y 10.

- **Parámetros microbiológicos**

Este parámetro fue determinado por análisis microbiológicos realizados en el Laboratorio de la Administración Regional de Salud – Laboratorio de Salud Ambiental (DIRESA – Tacna). Los parámetros determinados se muestran en la Tabla 7.

4.6 TRATAMIENTO DE DATOS

Los datos obtenidos serán analizados y procesados de acuerdo a los resultados obtenidos mediante un programa de base de datos (Microsoft Excel) <https://www.office.com/?auth=1/> Sin comisiones. Además, se ha realizado un análisis de componentes principales (PCA) utilizando R Studio para determinar si las variables relevantes determinan la estabilidad del lodo y para analizar si el tratamiento con lombrices californianas fue efectiva. Asimismo, se utilizaron factores de agrupación para caracterizar las lombrices de tierra y los biosólidos.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 NIVEL DE CONTAMINACIÓN PRESENTE EN EL LODO RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE COPARE.

5.1.1 Metales pesados

Se encontraron 32 tipos de metales pesados en el lodo residual de la PTAR Copare (Tabla 5). Los metales con mayor cantidad en los lodos fueron: Potasio, Calcio, Hierro, Fósforo y Aluminio. Además, los metales clasificados en las normas técnicas peruanas como son el Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio, Niquel y Zinc, se encontraron en cantidades relativamente aceptables para los parámetros de toxicidad química que exige las Normas Peruanas (Tabla 6), a excepción del Arsénico que superó el límite impuesto por dicha Norma como se evidencia en la tabla 6.

Tabla 4*Metales pesados presentes en el Lodo residual*

Metales Pesados	Resultados	LD	Referencia
Aluminio (1)	10 393 mg/kg PS	0,25 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Antimonio (1)	< 1,20 mg/kg PS	1,20 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Arsénico (1)	83,22 mg/kg PS	5,93 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Bario (1)	186,5 mg/kg PS	0,62 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Berilio (1)	< 0,04 mg/kg PS	0,04 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Boro (1)	6,99 mg/kg PS	4,10 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Cadmio (1)	4,27 mg/kg PS	0,07 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Calcio (1)	32 038 mg/kg PS	2,31 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Cerio (1)	14,21 mg/kg PS	0,33 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Cobalto (1)	6,56 mg/kg PS	0,26 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Cobre (1)	339,0 mg/kg PS	0,09 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Cromo (1)	30,68 mg/kg PS	0,08 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Estaño (1)	9,58 mg/kg PS	1,43 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Estroncio (1)	173,0 mg/kg PS	0,18 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Fósforo (1)	8 290 mg/kg PS	1,03 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Hierro (1)	13 096 mg/kg PS	0,13 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Litio (1)	< 3,08 mg/kg PS	3,08 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Magnesio (1)	4 131 mg/kg PS	1,06 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Manganeso (1)	213,4 mg/kg PS	0,10 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Molibdeno (1)	10,18 mg/kg PS	0,12 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Níquel (1)	19,92 mg/kg PS	0,13 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Plata (1)	61,37 mg/kg PS	0,37 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Plomo (1)	315,7 mg/kg PS	1,61 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Potasio (1)	1 744 mg/kg PS	0,77 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Selenio (1)	< 2,05 mg/kg PS	2,05 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Silicio (1)	135,7 mg/kg PS	0,96 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Sodio (1)	1 333 mg/kg PS	2,93 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Talio (1)	< 1,51 mg/kg PS	1,51 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Titanio (1)	217,6 mg/kg PS	0,19 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Vanadio (1)	41,37 mg/kg PS	0,08 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Zinc (1)	1 006 mg/kg PS	0,50 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Mercurio total (Hg) (1)	3,15 mg/kg PS	< 1,00 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994

Fuente: Laboratorios Hidrolab Perú S.A.C

Tabla 5

Parámetro de toxicidad química de las Normas Técnicas contrastada con los valores obtenidos

Mg/Kg ST Materia Seca	Arsénico	Cadmio	Cromo	Cobre	Plomo	Mercurio	Níquel	Zinc
Normas Técnicas	40	40	200	500	400	17	400	2400
Datos obtenidos	83,22	4,27	30,68	339,0	315,7	3,15	19,92	1 006

Fuente: Normas Legales 2017

De acuerdo con las regulaciones peruanas y de la EPA, el contenido de arsénico de los lodos no puede exceder los 40 mg/kg. El arsénico en los lodos de la planta de tratamiento de Copare fue de 83,22 mg/kg, 43,22 mg/kg por encima del valor límite. (Tabla 6). Según Prieto *et al.* (2009) citado por More (2015). El arsénico inorgánico biodisponible es sumamente tóxico para los humanos, causando síntomas gastrointestinales, trastornos cardiovasculares y neurológicos y, en última instancia, la muerte en dosis altas. También es cancerígeno (p. 148).

5.1.2 Parámetros microbiológicos del lodo residual

El análisis microbiológico de los lodos residuales (Cuadro 7) mostró concentraciones muy bajas de bacterias coliformes fecales y totales en los lodos de la planta de tratamiento de Copare.

Tabla 6

Análisis microbiológicos de las muestras de lodo residual de Copare.

Análisis microbiológico	Lodo residual de Copare
Enumeración de Coliformes totales (NMP/g)	54x10 ³
Enumeración de Coliformes fecales (NMP/g)	< 1,8
Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	< 1,8
Detección de <i>Salmonella sp</i> en 25 g	Ausencia

Fuente: Dirección Regional de Salud (DIRESA – Tacna) – Laboratorio de Salud Ambiental. (*) El valor < 1.8 indica ausencia de microorganismos en ensayo

Tabla 7

Parámetros de higienización de biosólidos de las normas legales peruanas

INDICADOR	CLASE A	CLASE B
Indicadores de contaminación fecal	<i>Escherichia coli</i> < 1000 NMP/ 1g ST	El nivel de desinfección podrá demostrarse siguiendo los procesos especificados en el Anexo I o utilizando uno de los métodos de desinfección especificados en la Sección B del Anexo II.
	<i>Salmonella sp.</i> < 1 NMP/ 10g ST	
Indicador de Huevos de Helmintos	Huevos viables de Helmintos < 1/4g ST	El nivel de desinfección podrá demostrarse siguiendo los procesos especificados en el Anexo I o utilizando uno de los métodos de desinfección especificados en la Sección B del Anexo II.
	Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización	

Fuente: Normas legales 2017

5.2 PROCEDIMIENTO DE DESCONTAMINACIÓN APLICANDO LA LOMBRICULTURA.

Para la descontaminación del lodo residual, se procedió a preparar un depósito de Tecnopor (biodigestor) en el cual se depositó 6 kilos del lodo residual y 1 kilo de materia orgánica (restos vegetales en descomposición), este último sirviendo como medio de desarrollo y de nutriente para las lombrices rojas o californianas (*Eisenia foetida*). Dicho nutriente la lombriz requiere para descontaminar el lodo residual (Borda y Mazorra 1990). Asimismo, la mezcla de lodo residual y desechos orgánicos será denominará biomasa.

Una vez preparado el biodigestor y la biomasa (lodos residuales + desechos orgánicos), se procedió a incorporar 1 kilogramo de lombrices rojas o californianas (*Eisenia foetida*), para dar inicio a la descontaminación del lodo residual. El tiempo empleado en este proyecto fue de 140 días, en los cuales las lombrices produjeron 4 kilogramos de humus orgánico joven.

Para llevar a cabo la evaluación de la descontaminación del lodo mediante la lombricultura se hizo un control diario de los parámetros de control de la biomasa y de las lombrices californianas, los datos obtenidos se muestran en la tabla 9.

Tabla 8

Parámetros evaluados para la descontaminación del lodo residual

Mes	Temperatura	pH	Humedad	Color del Lodo	Olor del Lodo	Textura del Lodo	Color de la Lombriz	Tamaño de la Lombriz	Cantidad de la Lombriz
Semana 1	20,54	6,15	75	3	3	2	3	3	2
Semana 2	21,4	6,16	74,9	3	3	2	3	3	2
Semana 3	21,81	6,17	74,64	3	3	2	3	3	2
Semana 4	20,35	6,19	75,64	3	3	2	3	3	2
Semana 5	20	6,3	77	3	3	2	2	3	2
Semana 6	21,2	6,5	78	3	3	2	2	2	2
Semana 7	22,5	6,4	76	2	3	2	3	3	3
Semana 8	21	6,5	75	2	2	2	2	3	3
Semana 9	20	6,5	77	2	2	1	2	2	3
Semana 10	21	6,6	78	2	2	1	2	2	3
Semana 11	22	6,6	79	2	1	1	2	2	3
Semana 12	20	6,5	78	1	1	1	3	2	3
Semana 13	20	6,6	79	1	1	1	3	2	3
Semana 14	19,9	6,9	76	1	1	1	3	2	3
Semana 15	20,4	7	75	1	1	1	3	2	3
Semana 16	20	7,1	77	1	1	1	3	2	3

Fuente: Elaboración propia

Los datos recopilados en cuatro meses de análisis, muestran que el incremento de la temperatura y humedad no están completamente relacionados; se asume que la presencia de los anélidos es responsable de este ligero, pero notorio desfase.

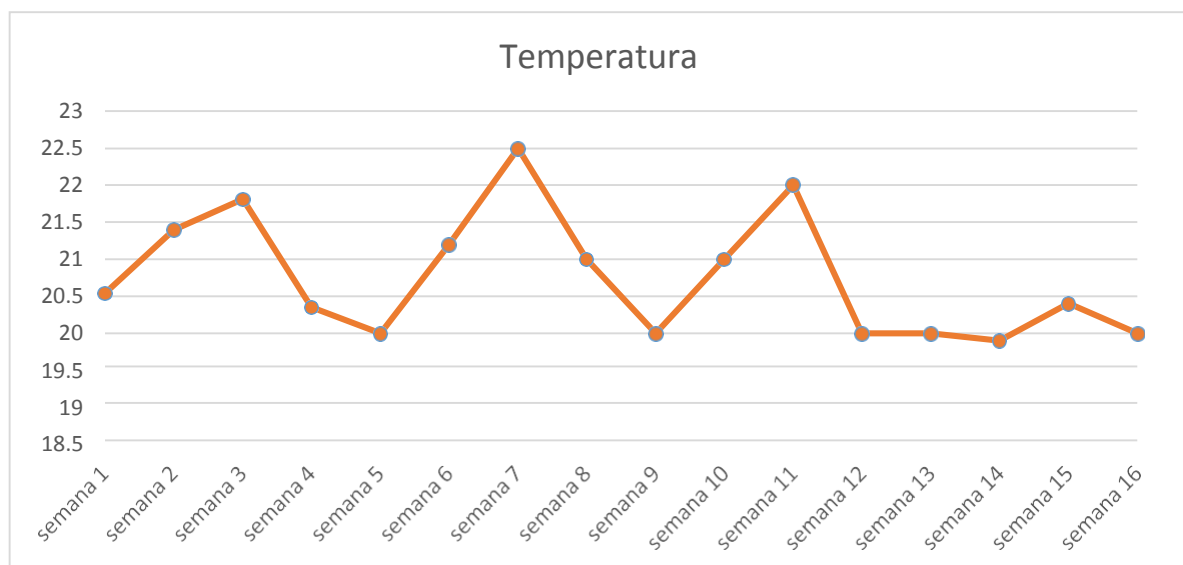
Los máximos y mínimos de los parámetros de control nunca superaron el rango comprendido entre 19 y 25 grados Celsius de temperatura y de 73,5 a 79 por ciento de humedad; el potencial hidrógeno mostró un incremento lineal.

5.2.1 Valoración de la Temperatura

En la figura 2 se observa las temperaturas registradas en el proceso de descontaminación.

Figura 3

Variación de la temperatura



Fuente: *Elaboración propia*

Puede verse que la temperatura del tratamiento de descontaminación se mantuvo en el rango de 19,9 a 22,5°C durante todo el período de prueba. Estos resultados se deben a que esta temperatura está influenciada por la temperatura ambiente, y debido a la ubicación del biodigestor, ninguna otra condición puede cambiar este factor o causar cambios drásticos en el proceso de lombricultura. Además, la habitación donde se encuentra el biodigestor está bien ventilada y no recibe luz solar directa, por lo que la temperatura se mantiene relativamente constante. Este rango de temperatura durante la descontaminación fue similar

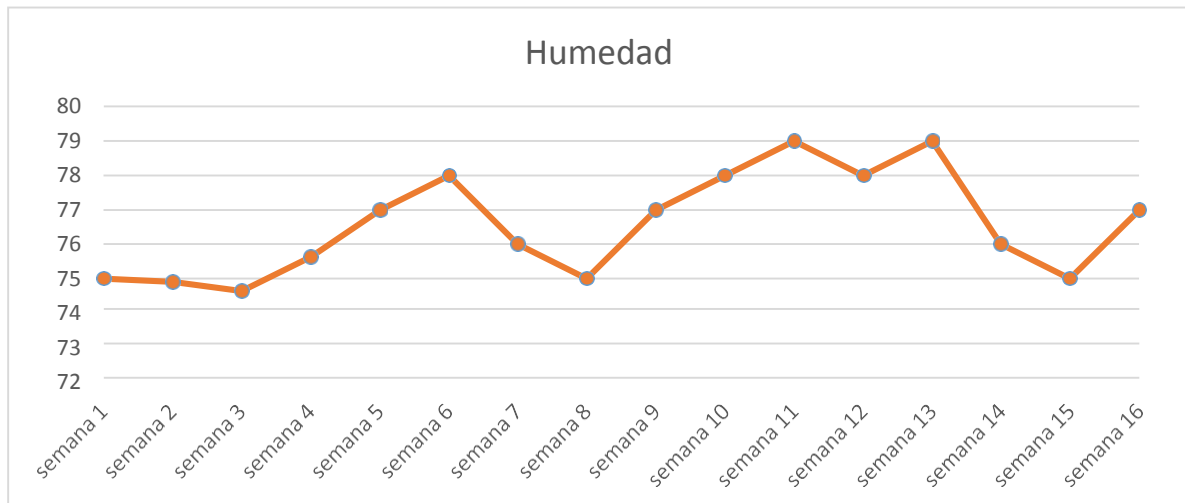
al reportado en la literatura para la lombriz de tierra *Eisenia foetida*, la cual se mantuvo en el rango de 15.7 °C a 28.2 °C determinado por Alastre (1995). El mismo autor afirma que la temperatura letal para este gusano es de 0°C y la temperatura que super los 34°C. Por su parte, Martínez (2000), también considera como rango óptimo; 18 °C y 29 °C.

Según Albornoz y Ortega (2017). Mencionan que cuando la temperatura del sustrato bajó a 10 °C, las lombrices continuaron reproduciéndose, pero la eclosión de capullos y la actividad de alimentación disminuyen significativamente. También notaron que los valores por debajo de 4°C dieron como resultado una actividad reproductiva ineficaz y el desarrollo de nuevos gusanos es nulo. Por otro lado, una temperatura superior a 30°C promueve la actividad de microorganismos en los materiales de descomposición, agotando así el oxígeno disponible para que las lombrices sobrevivan, y si la temperatura supera los 40°C, las lombrices tienden a escapar y básicamente no comen, por lo que se reduce la producción de vermicompost (p. 42).

5.2.2 Valoración de la Humedad

Figura 4

Variación de la humedad



Fuente: *Elaboración propia*

La figura 3 muestra cómo cambia la humedad durante el proceso de descontaminación con una humedad alta del 79 % y una baja del 74,6 %. Vale la pena señalar que la humedad es uno de los factores más importantes para la supervivencia de las lombrices de tierra, debido a que no tienen suficientes mecanismos de retención de agua, por lo que necesitan humedad en las paredes de su cuerpo para respirar (Albornoz y Ortega, 2017, p. 44). También señalan, que la humedad óptima para *Eisenia foetida* es del 70 al 80 % y se debe tener en cuenta un suministro de oxígeno insuficiente si la humedad en el sustrato es superior al 85 %. Por lo tanto, por falta de aireación, el consumo de alimento disminuye, no se produce humus y las lombrices migran o mueren (Albornoz y Ortega, 2017, p. 44).

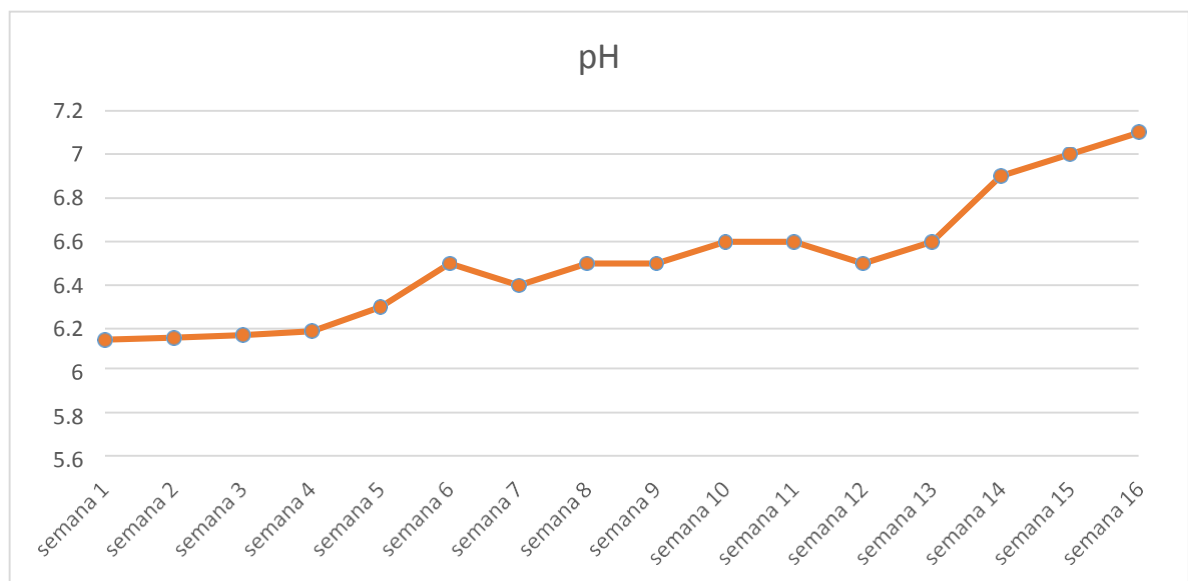
Cabe señalar que los niveles de humedad por debajo del 55 % o por encima del 95 % son letales para las lombrices. Según José Barbado (2004), creía que se debe mantener un porcentaje de humedad del 70 % para el procesamiento de alimentos y el deslizamiento de lombrices en la cama para evitar la muerte de lombrices, por lo que es muy importante en el

sistema de movimiento de lombrices le permite respirar y moverse (Albornoz y Ortega, 2017, p. 44).

5.2.3 Valoración del pH

Figura 5

Variación del pH



Fuente: *Elaboración propia*

Se puede observar, que el pH del sustrato utilizado fue diferente al comienzo de la descontaminación. Inicialmente el pH oscila entre 6.15 a 6.19. conforme fue pasando las semanas el pH fue incrementándose hasta llegar a 7.1. Así mismo, las lombrices tienen un mejor desenvolvimiento cuando el pH del sustrato está entre 6,5 a 7,5 (Albornoz y Ortega 2017).

En la lombricultura el pH no es un indicador puntual de la estabilidad o madurez, pero es determinante para el adecuado desarrollo de las lombrices dentro del sustrato. En la figura 4, también se pudo observar un ligero descenso entre la semana 6 y 7. A su vez, Brandon et al (1999), explicó que normalmente durante el proceso de compostaje el pH cae

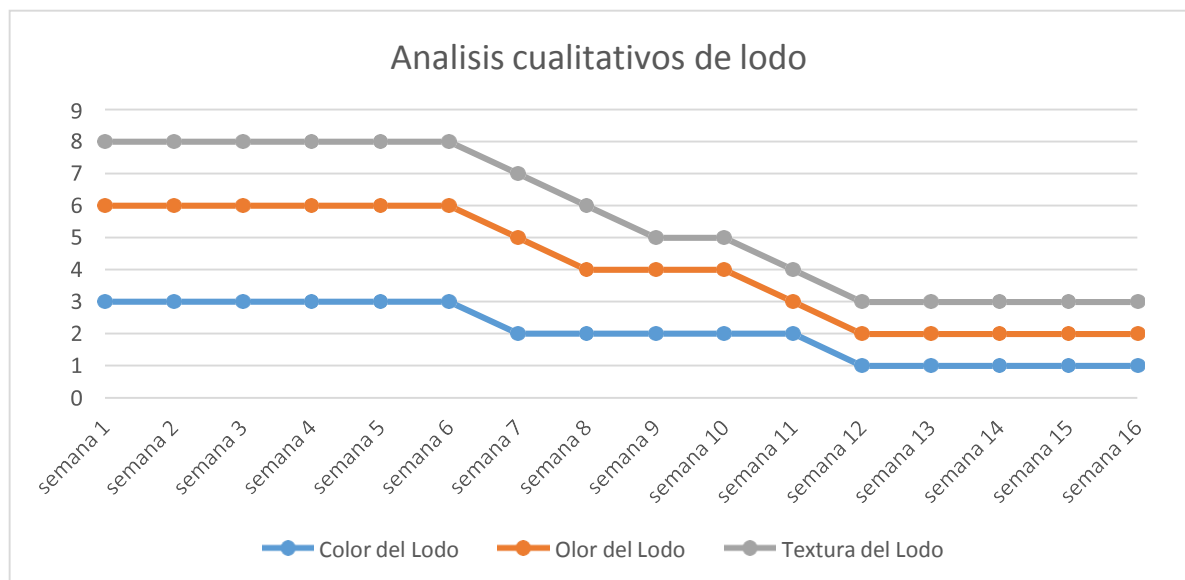
en la fase inicial, ya que los ácidos orgánicos se liberan de la materia orgánica y así se descompone a medida que continúa el proceso de descomposición, desprendiendo gases y altos niveles de amoníaco que ayudan a elevar la pH.

5.2.4 Valoración cualitativa del proceso de lombricultura

De acuerdo con los parámetros descritos en la Tabla 4, se obtuvieron las curvas de cambios en las características cualitativas de los biosólidos y lombrices durante el proceso de descontaminación, como se muestra en la figura 5.

Figura 6

Análisis cualitativo de la lombriz californiana

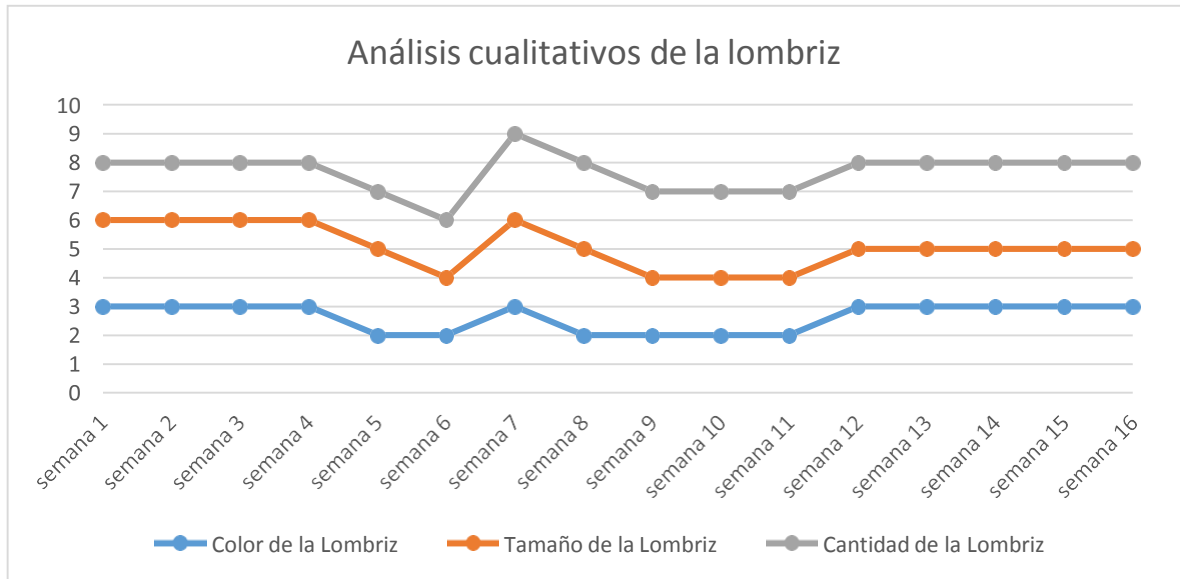


Fuente: Elaboración propia

Durante el proceso de descontaminación por medio de la lombricultura, las características del lodo residual cambiaron considerablemente. De modo que evidencia el buen accionar de las lombrices para cambiar las características del lodo residual y de sus componentes.

Figura 7

Análisis cualitativo de la lombriz californiana



Fuente: Elaboración propia

Se observa que las características evaluadas de la lombriz californiana no tuvieron variaciones desfavorables durante el proceso. Pero podemos señalar que en determinadas semanas estas características tuvieron variaciones significativas, esto debido a que las lombrices fueron puestos directamente al biodigestor, el cual contenía la biomasa sin compostar; por ese motivo, en esas semanas sufrieron un proceso de adaptación al medio y a medida que se estabilizó el lodo, las características cualitativas de las lombrices fueron mejorando nuevamente.

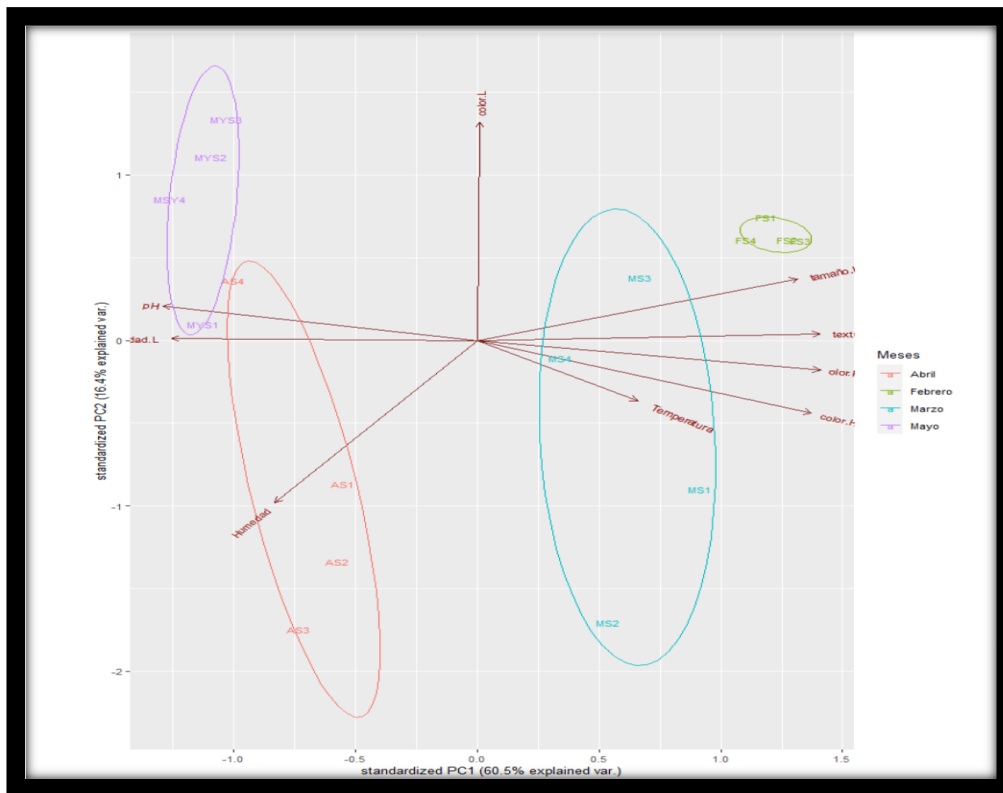
5.2.5 Análisis de componentes principales (PCA)

La orientación de los vectores en el PCA indica un aumento en los valores, donde su expansión está relacionada con su grado de cambio, los vectores paralelos representan cambiantes que tienen la posibilidad de estar correlacionadas directa o inversamente dependiendo de la dirección, mientras tanto que los vectores opuestos indican escasa correlación (Albornoz y Ortega. 2017). Es de esta forma que la figura 7 muestra como

textura, color y olor; variables que corresponden al lodo residual presentaron una correlación alta con temperatura y tamaño de las lombrices.

Figura 8

Análisis de componentes principales para las variables medidas



Fuente: Elaboración propia

5.3 DETERMINAR LA CALIDAD FÍSICO - QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL LODO RESIDUAL DESCONTAMINADO.

5.3.1 Presencia de Metales pesados

En la Tabla 10 se aprecia una reducción en los valores de casi todos los metales pesados presentes en el Lodo Residual extraído de la PTAR de Copare. Asimismo, es de

señalar que se redujo considerablemente el valor del Arsénico presente en el lodo residual, acercándose a los valores aceptables por las Normas Peruanas (Tabla 11).

Tabla 9

Metales pesados en el lodo descontaminado

Metales Pesados	Resultados	LD	Referencia
Aluminio	7 851 mg/kg PS	0,25 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Antimonio	< 1,20 mg/kg PS	1,20 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Arsénico	54,37 mg/kg PS	5,93 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Bario	148,0 mg/kg PS	0,62 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Berilio	< 0,04 mg/kg PS	0,04 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Boro	24,34 mg/kg PS	4,10 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Cadmio	3,30 mg/kg PS	0,07 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Calcio	23 269 mg/kg PS	2,31 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Cerio	12,17 mg/kg PS	0,33 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Cobalto	5,03 mg/kg PS	0,26 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Cobre	256,9 mg/kg PS	0,09 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Cromo	23,89 mg/kg PS	0,08 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Estaño	6,10 mg/kg PS	1,43 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Estroncio	137,4 mg/kg PS	0,18 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Fósforo	9 348 mg/kg PS	1,03 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Hierro	10 765 mg/kg PS	0,13 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Litio	< 3,08 mg/kg PS	3,08 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Magnesio	4 029 mg/kg PS	1,06 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Manganeso	204,9 mg/kg PS	0,10 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Molibdeno	3,85 mg/kg PS	0,12 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Níquel	16,38 mg/kg PS	0,13 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Plata	40,1 mg/kg PS	0,37 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Plomo	236,5 mg/kg PS	1,61 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Potasio	11 559 mg/kg PS	0,77 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Selenio	< 2,05 mg/kg PS	2,05 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Silicio	110,3 mg/kg PS	0,96 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Sodio	848,4 mg/kg PS	2,93 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Talio	< 1,51 mg/kg PS	1,51 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Titanio	172,8 mg/kg PS	0,19 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Vanadio	32,07 mg/kg PS	0,08 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Zinc	794,3mg/kg PS	0,50 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994
Mercurio total (Hg)	2,85 mg/kg PS	< 1,00 mg/kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994

Fuente: Hidrolab S.A.C. Perú.

En la tabla 10 podemos también observar que hubo metales pesados que aumentaron su valor como el caso del Boro (6,99 mg/Kg PS a 24,34 mg/kg PS), Potasio (1 7044 mg/Kg PS a 11 559 mg/kg PS) y Fosforo (8 290 mg/Kg PS a 9 348 mg/kg PS).

Este Boro es un metal esencial para las plantas, es importante en la síntesis de los muros celulares y para la separación celular. Esta última funcionalidad es fundamental, debido a que se ha comprobado que al reducir la actividad nitrogenosa las plantas se tornan propensos a la radiación solar (Anchundia. 2018).

El Potasio y el Fósforo han tenido un crecimiento notable debido al proceso de lombricultura. Por su lado, el Fósforo es importante en los procesos de fosforilación, fotosíntesis, respiración y en la síntesis y la descomposición de los carbohidratos, proteínas y grasas de las plantas.

Tabla 10

Parámetro de toxicidad química del lodo residual descontaminado.

Parámetros de metales pesados encontrados en el humus de lombriz								
Mg/Kg ST Materia	Arsénico	Cadmio	Cromo	Cobre	Plomo	Mercurio	Níquel	Zinc
Seca								
Normas Técnicas	40	40	1200	1500	400	17	400	2400
Parámetros del lodo residual	83,22	4,27	30,68	339,0	315,7	3,15	19,92	1 006
Parámetros del lodo residual descontaminado	54.37	3.30	23.89	256.9	236.5	2.85	16.38	794.3

Fuente: Elaboración propia

Como puede observar en la tabla 9, la lombricultura ha podido reducir los niveles de metales pesados en el lodo residual extraído de la planta residual de Copare. El arsénico redujo considerablemente su valor acercándose a los parámetros aceptables de la norma técnica peruana. Cabe mencionar, que se requerirá un tratamiento extra para así bajar el nivel hasta un parámetro aceptable.

5.3.2 De los parámetros microbiológicos.

En el análisis microbiológico hecho al humus obtenido de la descontaminación de lodo residual evidenció una disminución de sus parámetros con respecto al lodo residual inicial, como se aprecia en la tabla 10.

Tabla 11

Análisis microbiológicos de las muestras de lodo residual descontaminado.

Análisis microbiológico	Humus producido por las lombrices
Enumeración de Coliformes totales (NMP/g)	23
Enumeración de Coliformes fecales (NMP/g)	< 1,8
Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	< 1,8
Detección de <i>Salmonella sp</i> en 25 g	Ausencia

Fuente: Dirección Regional de Salud (DIRESA – Tacna) – Laboratorio de Salud Ambiental

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

6.1 DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN QUE PRESENTA EL LODO RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

6.1.1 Presencia de metales pesados

Sobre los metales pesados presentes en el lodo residual de Copare, se encontraron 32 tipos como se muestra en la Tabla 5, de todos ellos, solo 8 se encuentran referenciados en la normativa nacional sobre sus valores máximos en lodos (Tabla 6), los 8 metales pesados en la normativa son arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, y zinc. Sin embargo, las normas de EEUU, que son reglamentadas por la EPA, contienen límites máximos para 10 metales pesados (arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio y zinc) en lodos descontaminados, mientras tanto, la comunidad europea, solo señala concentraciones límites para 7 metales pesados (cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc, mercurio y cromo).

En la tabla 5 se muestran los resultados del contenido de metales pesados en los lodos de Copare al compararlo con los valores de la norma peruana sobre biosólidos (tabla 6), podemos ver que solo el arsénico superó el límite máximo permitido. Asimismo, si tomamos como referencia otras normativas, como el caso de EEUU y Europa (Tabla 13 y 14 de los anexos), los lodos de Copare tampoco cumplirían con el límite establecido para el arsénico. Y sin ir más lejos, normativas de nuestros vecinos países como Brasil, Colombia y Chile con normativas exigentes, los valores de arsénico encontrados no cumplirían con los límites establecidos en dichas normas, salvo la normativa Argentina donde si se cumplirían con los parámetros de Arsénico.

Estos resultados son similares a los reportados por More (2015), en su trabajo de investigación sobre el potencial agrícola de lodos provenientes de la PTAR de Copare y Magollo en Tacna, encontró concentraciones similares de metales pesados, siendo el arsénico

el metal que superaba los valores máximos en su investigación. Asimismo, señala que la PTAR de Copare presenta mayor contenido de metales pesados que la PTAR de Magollo, donde solo el contenido de molibdeno fue ligeramente superior y puede estar influenciado por las diferencias en el tratamiento de las aguas residuales en cada PTAR; si bien ambas poseen lagunas de estabilización, las de Copare corresponden a lagunas aireadas (solo las lagunas primarias) y las de Magollo a lagunas facultativas (More 2015).

6.1.2 Parámetros microbiológicos

Como se muestra en la Tabla 7, en el análisis microbiano del lodo residual de Copare, se encontró la presencia de coliformes totales en el lodo de Copare, pero no coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* Resultados casi similar a lo reportado por More (2015), donde señala que el lodo residual de Copare presenta coliformes totales y fecales. También señala la ausencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*

Para determinar el uso potencial de estos lodos, se comparó los resultados obtenidos con la norma peruana DECRETO SUPREMO N° 015-2017-VIVIENDA. Donde se clasifican los lodos en Clase A y B, estableciendo los requisitos señalados en la Tabla 7. Con base en esto, los lodos residuales de Copare corresponde a la clase A por no exceder los parámetros señalados en la norma. Igualmente, analizando estos resultados y comparándolos con la EPA (Agencia de Protección Ambiental es una agencia ejecutiva independiente del gobierno federal de los Estados Unidos), podemos clasificar al lodo residual de Copare del tipo clase A, por no exceder el límite de coliformes fecales (1000 NMP/g de sólidos totales) señalados en la Tabla 13, presente en los anexos.

Según Andreoli *et.al.* (1999), citado por More (2015). Menciona que, así como los metales pesados son importantes para la salud humana y el ambiente, la presencia o ausencia de microorganismos patógenos está relacionada con factores como el estado socioeconómico, higiénico y de salud de la población.

6.2 SOBRE EL PROCESO DE DESCONTAMINACIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA LOMBRICULTURA.

Actualmente, la empresa de alcantarillado de Tacna opta por depositar sus lodos restantes en un relleno sanitario, desperdiciando el fertilizante potencial que tienen los lodos. El presente trabajo nos permite determinar que cualquier beneficio logrado con este no tan novedoso tratamiento es superior al que brindan las tecnologías existentes en el campo. Luego, con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo, podemos mostrar el impacto positivo que las lombrices californianas tuvieron sobre el lodo residual de Copare, reduciendo los metales pesados, aumentando los niveles de macronutrientes esenciales y obteniendo un producto libre de patógenos.

6.2.1 Crianza y adaptación de la lombriz *Eisenia foetida* al lodo residual

Después de la primera semana de aclimatación en anélidos, como se aprecia en la Figura 6, se observó una ligera disminución en la cantidad de lombrices producto de la aclimatación, ya que se incorporaron directamente al lodo residual sin compostar, con el pasar de las semanas se produjo la adaptación y las colonias de lombrices fueron creciendo nuevamente. Este resultado concuerda con Sandoval (2011), quien confirma que los gusanos estuvieron en fase de adaptación, desde la tercera semana se pudo observar una fase de crecimiento, ya que la reproducción semanal promedio de lombrices aumentó de 14 a 36, lo que indica que los anélidos se adoptaron al nuevo sustrato. Asimismo, Albornoz y Ortega (2017), mencionaron que la calidad y cantidad de lombrices disminuyó durante las primeras semanas, esto es porque las lombrices se unen directamente a los lodos residuales con la materia orgánica sin compostar, durante estas semanas de declive, se produce su adaptación al medio, y a medida que los lodos se estabilizan, sus propiedades vuelven a mejorar.

6.2.2 Temperatura

Los datos obtenidos de la temperatura en este trabajo (Figura 2) estuvo entre los 19.9 a 22.5 °C, temperaturas idóneas para el desarrollo de la lombriz californiana y para que estas

puedan desarrollar el proceso de lombricultura con normalidad. Según Arango y Diaz (2010), citado por Albornoz y Ortega (2017), mencionaron que la temperatura ideal para el normal desarrollo de las lombrices es de 25°C, pero en condiciones controladas, sin embargo, al trabajar al aire libre se debe tener un buen control, alcanzarla y mantenerlo. Los gusanos rojos californianos suelen vivir en climas templados, donde la temperatura de su cuerpo oscila entre 19 °C y 20 °C.

También Mendoza (2017), concuerda con nuestros datos, obteniendo valores mínimos y máximos de 19 a 25 grados Celsius de temperatura, para el proceso de obtención de humus a partir de lodo residual de la PTAR, Villa Club Cosmo de Guayaquil – Ecuador. Por otra parte, Marquina y Martínez (2016), obtuvieron temperaturas que estuvieron entre 14.1 y 23.2 °C, el menor valor lo obtuvieron en invierno, correspondiendo al mes Julio (14.1°C) en la estación de Atocongo, mientras que el valor más alto fue en verano correspondiente al mes de Febrero (23.2°C) en Chosica. Esto se debe a que en las zonas costeras de baja altitud varía la temperatura por la presencia de microclimas que son producto de la baja evaporación de las neblinas.

6.2.3 pH

El pH del lodo utilizado en este trabajo fue de 6,15, que corresponde a un lodo ligeramente ácido, similar a lo reportado por More (2015), quien reporta un pH de 6.64 para el lodo de la PTAR de Copare y 8.81 de pH para el lodo de la PTAR de Magollo. Asimismo, este valor obtenido es idóneo para el proceso de lombricultura según Reines *et. al.* (1998), citado por Mendoza (2017), quien califica el pH del lodo como adecuado para la inoculación de las lombrices. Luego del proceso de lombricultura el pH que se obtuvo fue de 7.1, un pH neutro. Por otro lado, Marquina y Martinez (2016), en su trabajo de obtención de abono orgánico a partir de los lodos de la PTAR de Carapongo – Lima, reportaron valores casi similares en su tratamiento, con la única diferencia de que el lodo residual presentaba un pH básico (8.4), para luego obtener un abono orgánico con un pH casi neutro de 6.9.

6.2.4 Humedad

Por su parte, el análisis de humedad durante el proceso de lombricultura arrojó promedios de entre 74,6 % a 79 %, valores considerados muy buenos para el desarrollo de las lombrices, debido a que la humedad idónea para el desarrollo de las lombrices fluctúa entre 70 al 80 %. Cabe resaltar que no se llegó a humedades extremas como 55 % o 85 % que son consideradas valores que podrían causar la muerte de las lombrices. Asimismo, nuestros valores concuerdan con los resultados obtenidos por Columbus (2017), el cual mantuvo valores entre los 23,5 al 80 % humedad en todo su proceso de elaboración de humus a partir de lodo residual en Guayaquil – Ecuador.

Nuestros resultados también concuerdan con Marquina y Martínez (2016), quienes evaluaron la efectividad de las lombrices californianas en la estabilización de lodos residuales en la PTAR Salitres (Bogotá), señalaron que mantuvieron un rango de humedad entre los 55 % a 90 %, muy cercanos a los valores que no son favorables para el desarrollo de las lombrices californianas, obteniendo así un producto de buena calidad. No obstante, Juarez (2010), reporta valores de humedad de entre 77 al 80 %, en su trabajo de reciclaje de lodos residuales de la industria del papel mediante lombricultura, obteniendo buenos resultados.

6.2.5 Análisis de Componentes principales (PCA)

Los resultados obtenidos en la evaluación de componentes principales (Figura 7), en este trabajo muestran que las variables de textura, color y olor, correspondientes al lodo residual presentaron una correlación elevada con temperatura y tamaño de las lombrices. Por ende, estos valores difieren en lo reportado por Albornoz y Ortega (2017), que mencionan que en su análisis de componentes principales (PCA), la textura, color y olor, variables correspondientes al lodo de la PTAR Salitre de Bogotá, presentaron alta correlación con el pH, la pérdida de humedad, cantidad y tamaño de los gusanos.

6.3 DETERMINAR LA CALIDAD QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL LODO RESIDUAL DESCONTAMINADO.

Sobre los metales pesados presentes en el lodo residual descontaminado, se encontraron 32 tipos como muestra la Tabla 11, de los cuales no todos tienen referencia en alguna normativa sobre su contenido máximo, comparando con la normativa nacional (Tabla 12), podemos observar que, de los 8 metales mencionados en la norma (arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio y zinc), el arsénico llega a superar el límite máximo, según los parámetros de higienización lo podemos ubicar como un biosólido de tipo A.

Por otro lado, si comparamos con la Norma EEUU, colombiana y chilena (Tabla 14 de los anexos), podemos clasificar al lodo descontaminado como de clase B, debido al nivel de arsénico que excede por poco el límite máximo permisible. Sin embargo. Comparando con la norma argentina (Tabla 15 de los anexos), nuestro lodo descontaminado tendría la categoría de clase A debido que el nivel de arsénico no sobrepasa los límites máximos permisibles.

Por último, se puede observar que los macronutrientes esenciales presentes en el lodo descontaminado que son: P, K, Ca, Mg y Na, en caso del potasio y fósforo son más elevados que los resultados de la muestra inicial del lodo residual, demostrando con esto el aumento de calidad del lodo luego del tratamiento por lombricultura, ya que no solo se redujo la concentración de la mayoría de metales pesados, sino que también se elevó la concentración de aquellos que son esenciales. Estos resultados son similares a los reportados por Marquina y Martínez (2016), donde los macronutrientes esenciales aumentaron considerablemente luego de realizar el tratamiento de lombricultura a los lodos residuales de la PTAR San Antonio de Carapongo.

Con respecto al análisis microbiológico del lodo descontaminado, según lo observado en la Tabla 12, tenemos que el lodo descontaminado de Copare no tiene presencia de patógenos (*E. coli*, *Salmonella* sp. y Coliformes fecales), excepto coliformes totales, cuya

presencia se notó tanto en el lodo residual como también en el lodo descontaminado. Asimismo, no se menciona sus parámetros en las normas nacionales como tampoco en las extranjeras. Para determinar su potencial de aplicación agrícola, podemos clasificar a este lodo descontaminado como Clase A, debido a que cumple con los parámetros señalados en las normas nacionales (tabla 6), como también en las normas extranjeras (Tabla 14, de los anexos). Cabe destacar, que muchos autores en sus respectivas investigaciones señalan que a partir de la vermicompostación (lombricultura), se observa una notoria reducción en los valores de patógenos como coliformes fecales, *Salmonella sp*, *Echerichia coli*, Virus entéricos y Helmintos en biosólidos, además de reducir los niveles de olores de putrefacción del lodo residual. Albornoz y Ortega (2017), citando a Edwards y Bohlen (1996), concluyeron que la reducción y/o eliminación de estas poblaciones de bacterias intestinales al final del proceso de lombricultura está asociada con el descubrimiento de que la dieta de la lombriz roja incluye microbios y la capacidad adicional de estos invertebrados es digerir selectivamente.

CONCLUSIONES

1. Se pudo determinar la presencia de nutrientes y de materia orgánica, también se pudo observar la baja concentración casi todos los metales pesados en el lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de Copare, haciendo factible la opción de aprovechamiento agrícola y pecuario sea una alternativa viable a futuro.
2. El tratamiento de descontaminación del lodo residual de Copare con la técnica de lombricultura, obtuvo resultados favorables, esto debido a la formación de humus de buena calidad. Con respecto al pH se concluye que el lodo descontaminado resultó con un pH casi neutro, llegando a valores de 7.1, estos valores no afectarían el potencial como abono orgánico que tiene el lodo descontaminado.
3. Al término de la experimentación se determinó que la calidad del humus obtenido presenta características favorables tanto para las características físico - químicas y microbiológicas, dando al producto obtenido una categorización de clase A o B según las normas nacionales e internacionales que sean consultadas para biosólidos.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un trabajo similar con los lodos de la PTAR de Magollo.
2. Investigar la calidad de los lixiviados de la lombriz californiana producto de la descontaminación de lodos residuales.
3. Realizar un proceso alternativo para reducir el nivel de arsénico del humus obtenido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, J., Reyes, J. (2017). *Eficiencia de Lumbricus Terrestris Y Eisenia Foetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua - Amazonas, 2015* [Tesis, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <http://repositorio.unrtm.edu.pe/handle/UNTRM/1208>
- ADEX, (2002). *Lombricultura - Una alternativa de producción*. La Rioja: Adex. 2002.
- Agüero A. (2019). *Tratamiento de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas con la aplicación de la lombricultura en la Compañía Minera Chungar – 2019*. universidad nacional daniel alcides carrión facultad de ingeniería.
- Alastre E. (1995). *Lombricultura*. Trabajo mimeografiado de curso dictado en Universidad Central de Venezuela, Facultades de Ciencias Veterinarias y Agronomía. 47 p.
- Albornoz M. y Ortega E. (2017). *Evaluación De La Eficiencia De La Lombriz Roja Californiana E. foetida Para Estabilización De Lodos Residuales De La PTAR Salitre*. Tesis de pregrado (Universidad Santo Tomas de Aquino Ingeniería Ambiental, Bogotá Bogotá, Colombia.)
- Almanya A. (2010). *Estefanía. Transformación de solidos provenientes de lodos generados en el sistema de alcantarillado de Bogotá mediante la lombriz roja californiana (Eisenia foetida)*. [en línea] Universidad del bosque, Bogotá d.c. 2010. [Fecha de consulta: 21-05-2017]. Disponible en: [file:///C:/Users/Anthony/Downloads/lodos_alcantarillado%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Anthony/Downloads/lodos_alcantarillado%20(1).pdf).
- Anchundia N. (2018). *Efectos de la fertilización de Boro y Zinc, en el rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.), en la zona de Babahoyo*. Tesis para ostentar el grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Babahoyo Facultad de Ciencias Agropecuarias carrera de Ingeniería Agronómica. Ecuador.

- Andreoli V., De Lara I., Ferreira C., Bonnet R. y Pegorini S. (1998). *A gestão dos biosólidos gerados em estações de tratamento de esgoto doméstico*. Engenharia e Construção, 24, 18-22.
- Apaza, F., y Quirita, J. (2020). *Efectos del biosólido de la PTAR La Escalerilla como abono en el cultivo de plantones de Mioporo (Myoporum laetum)-Arequipa 2019*.
- Aller F., Otero M., Garzón E. y Morán A. (1999). *Utilización de biosólidos en la agricultura*. MAPFRE Seguridad, 75, 33-43.
- Aviles S. (2011). *Determinación de la efectividad del proceso de lombricultura como tratamiento para la estabilización de Lodos Residuales provenientes de una Planta de Tratamiento de Aguas*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Barbado J. (2014). *Cria de Lombrices ALBATROS SAIC*. Buenos Aires. Argentina.
- Barrios P. (2009). *Aspectos generales del manejo de lodos: Curso sobre manejo y aprovechamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento*. México, D. F.: Autor.
- Bermúdez Gallego, V. (2016). *Obtención de biofertilizante a partir de los lodos orgánicos generados en la Productora de Jugos SAS de Tuluá-Valle del Cauca a través de la lombriz roja californiana (Eisenia foetida)*.
- Blandon G., Dávila M., Rodríguez N. (1999). *Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje*. Cenicafé, 50(1):5-23. 1999
- Bollo E. (2003). *Lombricultura una alternativa de reciclaje*. Primera ed. digital 142 p.
- Bongcam E. (2003). *Guía para compostaje y manejo de suelos*. Convenio Andrés Bello; Serie Ciencia y Tecnología, N° 110. 32p. Bogotá.

- Borda B. y Mazorra, M. (1990). *Trabajo Mimeografiado: "Curso de lombricultura, montaje - manejo y utilización*. Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Bogota, mayo de 1990.
- Builes B. (2010). *Tratamiento y adecuada disposición de lodos domésticos e industriales*.
- Castillo, J., y Chimbo, J. (2021). *Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (Eisenia foetida) en aguas residuales domésticas para zonas rurales*. Enfoque UTE, 12(2), 80-99. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>.
- Capistran F., Aranda E. y Romero J. (1999). *Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje*. Acta zoológica mexicana. Acta Zool.Mex no. 80 Xalapa ago. 2000.
- Cardoso L. y Ramírez A. (2002). *Identificación de sistemas de tratamiento de lodos residuales*. Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua, segunda parte. México. 198 p.
- Cardoso L. y Tomasini C. (2002). *Características y efectos de residuos peligrosos*. Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua, segunda parte. México. 130 p.
- Cobos M. y Costa M. (2011). *Lixiviado de residuos sólidos del relleno sanitario manual de Nauta y su genotoxicidad en Eisenia foetida "lombriz roja"*. [Tesis para obtener el grado de magister] Universidad Nacional de la Amazonia Peruana
- Cohen L. y Manion L. (1990). *Métodos de investigación educativa*. Madrid: Muralla, 1990.
- Columbus, D. (2017). *Obtención de compuesto Humus en unidad Piloto a partir del tratamiento con lombrices en Lodos dirigidos de la Planta de Tratamiento Villa Club Cosmos* (Master's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química).

- Chavéz A. y Loaiza X. (2014). *Estudio de la movilidad de NPK en los biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales par. salitre, tratados con vermicompostaje, Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales*, abril 2014. [Online]. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/12031>
- De Sanzo, C. y Ravera, A. (1999). *Cómo crear lombrices rojas californianas. Programa de Autosuficiencia Regional*. (en línea). Provincia de Buenos Aires, Argentina. Consultado 11 jul. 2003.
- Edwards A. y Bohlen P. (1996). *Biology and Ecology of Earthworms, Volumen 3*. Chapman y Hall. London, Glasgow, New York. Second edition 1972.
- Fesur P. (2005). *Instituto de comunicaciones y desarrollo tecnológicos en biorremediación*.
- Guzmán, TM, Pérez, O., y Valdés, O. (2020). *Biodegradación de residuos sólidos urbanos utilizando cultivos microbianos y biofiltro estático de Eisenia foétida*. Tecnología Química, 40 (1),81-92. [fecha de Consulta 8 de noviembre de 2022]. ISSN: 0041-8420. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445562743006>.
- Henríquez H. (2011). *Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agrosistemas de la provincia de Melipilla, región metropolitana, Chile*. (Tesis MSc. Gestión y Planificación Ambiental). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Hernández H. (2004). *Uso de lodos residuales procedentes de la ciudad de Durango y su efecto en la productividad y concentración de metales en sorgo forrajero (Sorghum vulgare Pers.)*. (Tesis Dr. Ciencias Agrícolas, Orientación Agua - Suelo). Universidad Autónoma de Nuevo León], Marín, México.

- Hernández, L. (2010). *Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización*. (Tesis Dr. Ordenamiento del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Rodríguez, J. (2010). *Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización* (Doctoral dissertation, Caminos).
- Hernández, M., Ruiz, M., y Salinas, E. (1995). *Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la ciudad industrial del valle de Cuernavaca, estado de Morelos, México*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 11(2), 105-115.
- Hernández O., Vences C., Ojeda D., Barrios M., y Chávez C. (2020). *Tasa de emergencia de lombriz Roja Californiana (Eisenia foetida) bajo tres enmiendas orgánicas: Emergency rate of California Red worm (Eisenia foetida) in three organic amendments*. *TECNOCIENCIA Chihuahua*, 3(3), 147-153. Recuperado a partir de <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/728>.
- Hernández, M. (2019). *Instalación de lombricario para la obtención de humus y lixiviado para la aplicación en el cultivo de rosa*.
- Huamán, J., y Huamán, H. (2020). *Análisis y tratamiento de lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba para la obtención de compost y ladrillos combustibles*.
- Huaman, L. (2019). *Tratamiento de lodo residual proveniente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales a través del vermicompostaje como tecnología ambiental*.

- Jacipt A., R. León, N. Castillo (2015). Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros usando la especie *Eisenia foetida*. (P.-M. A. Y., Ed.) Mutis, 9.
- Juarez R. (2010). *Reciclaje de lodos residuales de la industria del papel mediante lombricultura utilizando la especie "Lombriz roja californiana" Eisenia foétida*. Tesis para optar el grado de magister. Universidad Nacional Agraria la Molina, Escuela de post grado maestría en ciencias ambientales.
- Jurado G., Luna L. y Barretero H. (2004). *Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos*. *Téc Pecu Méx*, 42(3), 379-395.
- Laborde G. (2016). *Lombrices contra la contaminación*. Disponible en: <http://www.oei.org.co/sii/entregal9/art02.htm> . Artículo web. Consultada el 12 de marzo del 2016
- Leppe Z., López A. y Nelson T. (2002). *Lodos provenientes de plantas de aguas servidas: potencialidades y restricciones; temores y realidades*. Chile: Autor.
- Limón Macias, G. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso? Ingeniería Química*. Guadalajara, Jalisco.
- Marín Bahamón, D. (2019). *Propuesta de aprovechamiento de lodos residuales provenientes de una PTAR del municipio de Sopó Cundinamarca para la producción de un fertilizante órgano-mineral* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).
- Marquina Trigoso, L. F., & Martínez Flores, J. P. (2016). *Obtención de abonos orgánicos 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-Perú*
- Martínez M. (2000). *Las lombrices de tierra y su papel en los agro ecosistemas tropicales*. *Agricultura Orgánica*, 1,34-35. 2000.

- Mendoza, D. (2017). *Obtención de compuesto humus en unidad piloto a partir del tratamiento con lombrices en lodos digeridos de la planta de tratamiento villa club cosmos*. Universidad de guayaquil.
- Mestanza Novoa, C. (2013). *Curso Nacional de compostaje y lombricultura*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Montoya, G. y Buitrago, J. (2011). *Producción de humus a través del tratamiento de Biosólido con vermicompostaje, una mirada al futuro*. Trabajo de investigación de tipo bibliográfico. Universidad Militar Nueva Granada, Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Bogotá D.C., Colombia.
- Monroy, A. (2021). *Estudio de peligrosidad de los lodos de sistemas de tratamiento de aguas residuales en industrias procesadoras de alimentos cárnicos* (Bachelor's thesis, Quito: UCE)
- More, J. (2015). *Determinación del potencial agrícola de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Copare y Magollo*. Oropeza, N. 2006. Lodos residuales: estabilización y manejo. Departamento de Ingeniería, Universidad de Quintana Roo. *Caos Conciencia 1*: 51 – 58. 2006.
- Pérez, M. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (PB)* (Bachelor's thesis).
- Prieto M., González R., Román G. y Prieto G. (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1): 29-44.
- Quintana, M. (2012). *Estudio para la viabilidad técnica de compostaje a partir de biosólido seco proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR-Cañaveralejo Cali*. Santiago de Cali.

- Ramalho R., Scalize P. y Albuquerque A. (1990). *I-326-Characterização físico-química de lodo de estações de tratamento de água em comparação com um solo proveniente do cerrado goiano*. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Ramírez P., Velásquez P y Acosta B. (2007). *Efecto de la aplicación de biosólidos en el crecimiento de Jacaranda mimosifolia (Gualanday) y en las condiciones físicas y químicas de un suelo degradado*. Revista Facultad de Agronomía, 60(1): 3751-3770.
- Ramón, J. A., León, J. A., y Castillo, N. (2015). *Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia foetida*. Revista Mutis, 5(1), 46-54.
- Reines, M., C. Rodríguez., A Sierra., M. Vásquez. (1998). *Lombrices de tierra con valor comercial*. Biología y técnicas de cultivo. Ducere, S.A.de C.V. México, 61 pp.
- Requejo Yamunaqué, J. D. P. (2020). *Propuesta de Formación Académica en Investigación basada en el Enfoque Constructivista como estrategia metodológica para influir en las percepciones de los estudiantes de la Maestría en Docencia y Gestión Universitaria de la Facultad de Ciencias Históricas Sociales y Educación de la UNPRG 2015-II*.
- Ricoy C. (2006). *Contribución sobre los paradigmas de investigación*. Educação. Revista do Centro de Educação, vol. 31, núm. 1, 2006, pp. 11-22 Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, RS, Brasil
- Rodríguez E. (2008). *Gestión ambiental para los subproductos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales en el jardín botánico de la Universidad Nacional de Colombia y comparación con sistemas similares en San Andrés Isla*. Tesis de grado para optar al título de ingeniero Ambiental. San Andrés isla, Colombia. Universidad Nacional de Colombia sede Caribe. 2008.

- Rodríguez, A. (2017). *Uso de lodos residuales con residuos orgánicos para la obtención de compost, san juan de Lurigancho 2017*. Tesis para obtener el título profesional de: ingeniero ambiental.
- Rodríguez Morales, J. A. (2010). *Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización* (Doctoral dissertation, Caminos).
- Rosales de Ortez, C., y Ortez Reyes, J. (2017). *Estabilización de lodos residuales ordinarios y evaluación del humus producido como fuente alterna de fertilización en la producción de plantas en viveros*.
- Saavedra, G. (2007). *Biodegradación de Alperujo utilizando hongos del Género Pleurotus y Anélidos de la especie Eisenia foetida*. Tesis doctoral. Universidad de Granada Instituto Biotecnológico. Editor: Editorial de la Universidad de Granada.
- Salazar, P. (2005). *Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*. (Tesis de Pre Grado). Universidad Austral de Chile. Valdivia.
- Sandoval F. (2011). *Degradación de lodos residuales provenientes del tratamiento de aguas residuales municipales por medio de la vermicomposta para obtener humus líquido. Tesis para obtener el grado de: maestro en ingeniería civil*. Instituto Politecnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco. México.
- Somarriba, R., y Guzmán, F. (2004). *Guía de lombricultura*. Universidad Nacional Agraria, Serie Técnica N°4, UNA 2004.
- Tobala, R. (2020). *Efecto de la Eisenia foetida lombriz roja californiana, en el lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Media Luna, Ilo-Moquegua*.

- Utria B., Cabrera R., Reynaldo E., Morales G., Fernández A. y Toledo T. (2008). *Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (Lycopersicon esculentum Mill)*. Revista Chapingo-Serie Horticultura, 14(1), 33-39.
- Valderrama M. (2013). *Factibilidad de aprovechamiento de los lodos de la PTAR del municipio de Chinavita (Boyacá)*. Tesis (Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas, 2013.
- Zabotto, A., Zuñiga, E., Ruiz, L., Broetto, F., Reis, A., y Kanashiro, Shoey. (2019). *Uso de lodos residuales como fertilizante en eucalipto - diagnóstico de investigación. Idesia (Arica)*, 37(2), 103-108. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000200103>.

ANEXOS

7.1 GALERÍA DE IMÁGENES

Imagen 01: Posa de tratamiento de la PTAR de Copare



Imagen 02: Lodo residual acumulado en la PTAR Copare



Imagen 03: vista panorámica del lodo residual



Imagen 04: Lodo residual



Imagen 05: Recolección del lodo residual



Imagen 06: Preparación del biodigestor con las lombrices californianas



Tabla 12

Valores Máximos Permisibles de metales en los Biosólidos

Variable	unidad de medida	ARGENTINA ¹	CHILE ²		COLOMBIA ³		US EPA ⁴
		Biosólidos valores Máximos permisibles	Categoría Biosólidos valores Máximos permisibles		Categoría Biosólidos valores Máximos permisibles		Biosólidos valores Máximos permisibles
			A	B	A	B	
Arsénico (As)		75	20,0	40,0	20,0	40,0	41,0
Cadmio (Cd)		20-40	8,0	40,0	8,0	40,0	39,0
Cobre (Cu)		1000-1750	1.000,0	1.200,0	1.000,0	1.750,0	1.500,0
Cromo (Cr)		1000-1500	-	-	1.000,0	1.500,0	1.200,0
Mercurio (Hg)	mg/kg de biosólido	16-25	10,0	20,0	10,0	20,0	17,0
Molibdeno (Mb)	(base seca)	-	-	-	18,0	75,0	18,0
Níquel (Ni)		300-400	80,0	420,0	80,0	420,0	420,0
Plomo (Pb)		750-1200	300,0	400,0	300,0	400,0	300,0
Selenio (Se)		-	50,0	100,0	36,0	100,0	36,0
Zinc (Zn)		2500-4000	2.000,0	2.800,0	2.000,0	2.800,0	2.800,0

¹Resolución 97
²Decreto Supremo 004
³Decreto 1287
⁴40CFR parte 503

Tabla 13

Contenido de biosólidos clase A y B según Norma 40 CFR Parte 503 (1993) de la EPA.

Clasificación	Clase A	Clase B
Coliformes fecales	< 1000 NMP/g de ST	< 2000 NMP/g de ST ó < 2000 UFC/g de ST
Salmonella spp.	< 3 NMP/4g de ST	-
Huevos viables de helmintos	< 1/4g de ST	-
Virus entéricos	< 1 UFP/4g de ST	-

ST = Sólidos totales (En base a peso seco); NMP = Número más probable; UFC = Unidades formadoras de colonia; UFP = Unidades formadores de placa. Fuente: USEPA (1993)

INFORME DE ENSAYO N° 425 - 2021
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Solicitante : CÉSAR ALEXIS LARICO GÓMEZ
Dirección : VILLA LOS INDEPENDIENTES MZ. 157. LOTE 21. VIÑANI. CONO SUR

DATOS DE LA MUESTRA: (Alimentos)		CONTROL DE LABORATORIO
Muestra	Humus	Fecha y hora de recepción: 10/11/2021;14:20 Hrs.
Procedencia de la muestra	Biodigestor artesanal de humus	
Forma de presentación	En frasco de plástico de primer uso	
Condiciones durante la recepción	Muestra a temperatura ambiente.	Fecha y hora de análisis: 11/11/2021;08:40 Hrs
Cantidad recibida	94gr.	Fecha de reporte: 17-11-2021
Muestreador	César Alexis Larico Gómez	
Fecha y hora de muestreo:	10/11/2021; 14:21Hrs.	Fecha de emisión: 17-11-2021
Código de campo:	01	
Código de Laboratorio:	107-ST	
ENSAYOS	RESULTADOS	MÉTODOS
Numeración de microorganismos aerobios mesófilos viables (UFC/g)	NSD	AOAC 991.14-2005
Numeración de coliformes totales (NMP/g)	23	APHA 9221 B/9221 E 1, 23rd Edition, 2017
Numeración de coliformes fecales (NMP/g)	<1.8	APHA 9221 E1, 23rd Edition, 2017
Numeración de <i>Staphylococcus aureus</i> (UFC/g)	NSD	ISO 6888.1.1999/Amd.1. 2003
Numeración de <i>E. coli</i> (NMP/g)	<1.8	APHA 9221 F1, 23rd Edition, 2017
Detección de <i>Salmonella spp.</i> (/25g)	Ausencia	AOAC 989.13. 1-2 Test
Numeración de Mohos (UFC/g)	NSD	ISO 7954:1987
Numeración de Levaduras (UFC/g)	NSD	ISO 7954:1987
Numeración de Enterobacterias	NSD	ISO 21528-2:2004
Nota: <"valor" significa no cuantificable inferior al valor indicado.		
NSD: No se determinó.		

Los ensayos microbiológicos se efectuaron de acuerdo a la Norma: D.S. N°015-2017. Reaprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de las aguas residuales.

GOBIERNO REGIONAL DE TACNA
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD

MVZ. CÉSAR HERRERA CHIPANA
Director Ejecutivo de Salud Ambiental
C.M.V.P. N° 7931

Giovanna Paola Velásquez Juculaca
Bióloga
C.B.P.: 5283

(01) Original.
(02) Copia
CHCH/gpvj.

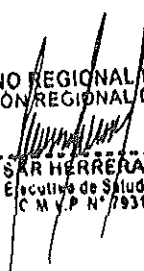
Los ensayos se han efectuado según lo solicitado por cadena de custodia.
Los resultados del informe corresponden solo a las muestras sometidas a ensayo.
La reproducción parcial de este informe, no está permitida sin la autorización por escrito de este laboratorio

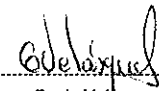
INFORME DE ENSAYO N° 364 - 2021
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Solicitante : CÉSAR ALEXIS LARICO GÓMEZ
Dirección : VILLA LOS INDEPENDIENTES MZ. 157. LOTE 21. VIÑANI. CONO SUR

DATOS DE LA MUESTRA: (Alimentos)		CONTROL DE LABORATORIO
Muestra	Humus	Fecha y hora de recepción: 28/09/2021;12:35 Hrs.
Procedencia de la muestra	Biodigestor artesanal de humus	
Forma de presentación	En frasco de plástico de primer uso	Fecha y hora de análisis: 28/09/2021;14:25 Hrs
Condiciones durante la recepción	Muestra a temperatura ambiente.	
Cantidad recibida	94gr.	
Muestreador	César Alexis Larico Gómez	Fecha de reporte: 04-10-2021
Fecha y hora de muestreo:	28/09/2021; 08:00Hrs.	
Código de campo:	01	Fecha de emisión: 04-10-2021
Código de Laboratorio:	90-ST	
ENSAYOS	RESULTADOS	MÉTODOS
Numeración de microorganismos aerobios mesófilos viables (UFC/g)	NSD	AOAC 991.14-2005
Numeración de coliformes totales (NMP/g)	54x10 ³	APHA 9221 B/9221 E 1, 23rd Edition, 2017
Numeración de coliformes fecales (NMP/g)	<1.8	APHA 9221 E1, 23rd Edition, 2017
Numeración de <i>Staphylococcus aureus</i> (UFC/g)	NSD	ISO 6888.1.1999/Amd.1. 2003
Numeración de <i>E. coli</i> (NMP/g)	<1.8	APHA 9221 F1, 23rd Edition, 2017
Detección de <i>Salmonella spp.</i> (/25g)	Ausencia	AOAC 989.13. 1-2 Test
Numeración de Mohos (UFC/g)	NSD	ISO 7954:1987
Numeración de Levaduras (UFC/g)	NSD	ISO 7954:1987
Numeración de Enterobacterias	NSD	ISO 21528-2:2004
Nota: <"valor" significa no cuantificable inferior al valor indicado. NSD: No se determinó.		

Los ensayos microbiológicos se efectuaron de acuerdo a la Norma: D.S. N°015-2017. Reaprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de las aguas residuales.


GOBIERNO REGIONAL DE TACNA
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD
MVZ. CÉSAR HERRERA CHIPANA
 Director Ejecutivo de Salud Ambiental
 C.M.V.P. N° 7931


 Giovanna Paola Velásquez Juculaca
 Bióloga
 C.B.P.: 5283

(01) Original.
(02) Copia
CHCH/gpvj.

Los ensayos se han efectuado según lo solicitado por cadena de custodia.
Los resultados del informe corresponden solo a las muestras sometidas a ensayo.
La reproducción parcial de este informe, no está permitida sin la autorización por escrito de este laboratorio

Cotización: 2109007

(FAP-008-01)

Fecha Emisión Informe: 29-12-2021 16:00

Identificación del Cliente

Cliente: CESAR ALEXIS LARICO GOMEZ

RUC: 10450330764

Dirección: Av Pinto Calle Alianza Nro. 920 Junta vecinal La Victoria - Tacna

Contacto: Cesar Larico

Teléfono: ---

N° Muestra: 2112010 HUMUS

Matriz: Suelo

Término de muestreo: 05-12-2021 14:00

Fecha de Recepción: 09-12-2021 12:00

Departamento: ---

Provincia: ---

Lugar de muestreo: ---

Punto de muestreo: HUMUS

Dirección de muestreo: ---

Instrumento ambiental: ---

Proyecto: ---

Muestreado por: El Cliente

Tipo de muestreo: ---

Coordenadas: ---

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Resultados Analíticos				
Metales (ICP-AES) (Paso Seco)				
Aluminio (1)	7 851 mg/Kg PS	0,25 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Antimonio (1)	< 1,20 mg/Kg PS	1,20 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Arsénico (1)	54,37 mg/Kg PS	5,93 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Bario (1)	140,0 mg/Kg PS	0,62 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Berilio (1)	< 0,04 mg/Kg PS	0,04 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Boro (1)	24,34 mg/Kg PS	4,10 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Cadmio (1)	3,30 mg/Kg PS	0,07 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Calcio (1)	23 289 mg/Kg PS	2,31 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Cerio (1)	12,17 mg/Kg PS	0,33 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Cobalto (1)	5,03 mg/Kg PS	0,26 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Cobre (1)	256,9 mg/Kg PS	0,09 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Cromo (1)	23,89 mg/Kg PS	0,08 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Estaño (1)	6,10 mg/Kg PS	1,43 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Estroncio (1)	137,4 mg/Kg PS	0,18 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Fósforo (1)	9 348 mg/Kg PS	1,03 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Hierro (1)	10 765 mg/Kg PS	0,13 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Litio (1)	< 3,08 mg/Kg PS	3,08 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Magnesio (1)	4 029 mg/Kg PS	1,06 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Manganeso (1)	204,9 mg/Kg PS	0,10 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Molibdeno (1)	3,85 mg/Kg PS	0,12 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Níquel (1)	16,38 mg/Kg PS	0,13 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Plata (1)	40,1 mg/Kg PS	0,37 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Plomo (1)	236,8 mg/Kg PS	1,61 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021
Potasio (1)	11 559 mg/Kg PS	0,77 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	20-12-2021

Coilización: 2109007
(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: 29-12-2021 16:00

Parámetro	Resultado	Resultados Analíticos		Referencia	Fecha de Análisis
			LD		
Selenio (1)	< 2,05 mg/Kg PS	2,05 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994		29-12-2021
Silicio (1)	110,3 mg/Kg PS	0,96 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994		29-12-2021
Sodio (1)	848,4 mg/Kg PS	2,93 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994		29-12-2021
Talio (1)	< 1,51 mg/Kg PS	1,51 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994		29-12-2021
Titanio (1)	172,8 mg/Kg PS	0,19 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994		29-12-2021
Vanadio (1)	32,07 mg/Kg PS	0,08 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994		29-12-2021
Zinc (1)	794,3 mg/Kg PS	0,50 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994		29-12-2021
Mercurio (CVAA - FIMS) (Peso Seco)					
Mercurio total (Hg) (1)	2,85 mg/Kg PS	< 1,00 mg/Kg PS (**)	EPA Method 7471 B. 2007.		29-12-2021

Notas
NA: No se aplica.

LD: Límite de Detección.

(1) Los Métodos indicados han sido acreditados por el INACAL-DA, para Environmental Testing Laboratory S.A.C.

(**): Límite de cuantificación

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.

Prohibida toda reproducción parcial o total de este Informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017



Raquel Rosales Torres
Responsable de Calidad
CIP N° 209612

Cotización: 2109007

(FAP-009-01)

Fecha Emisión informe: 29-12-2021 16:00

Identificación del Cliente

Cliente: CESAR ALEXIS LARICO GOMEZ

RUC: 10450336764

Dirección: Av Pinto Calle Alianza Nro. 920 Junta vecinal La Victoria - Tacna

Contacto: Cesar Larico

Teléfono: ---

Nº Muestra: 2112020 LODOS RESIDUAL

Matriz: Suelo

Término de muestreo: 04-12-2021 14:00

Fecha de Recepción: 09-12-2021 12:00

Departamento: ---

Provincia: ---

Lugar de muestreo: ---

Punto de muestreo: LODOS RESIDUAL

Dirección de muestreo: ---

Instrumento ambiental: ---

Proyecto: ---

Muestreado por: El Cliente

Tipo de muestreo: ---

Coordenadas: ---

Resultados Analíticos

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha de Análisis
Metales (ICP-AES) (Peso Seco)				
Aluminio (1)	10 393 mg/Kg PS	0,26 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Antimonio (1)	< 1,20 mg/Kg PS	1,20 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Arsénico (1)	83,22 mg/Kg PS	5,93 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Bario (1)	186,5 mg/Kg PS	0,62 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Berilio (1)	< 0,04 mg/Kg PS	0,04 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Boro (1)	6,99 mg/Kg PS	4,10 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Cadmio (1)	4,27 mg/Kg PS	0,07 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Calcio (1)	32 038 mg/Kg PS	2,31 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Cerio (1)	14,21 mg/Kg PS	0,33 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Cobalto (1)	6,56 mg/Kg PS	0,26 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Cobre (1)	339,0 mg/Kg PS	0,09 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Cromo (1)	30,68 mg/Kg PS	0,08 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Estaño (1)	9,58 mg/Kg PS	1,43 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Estroncio (1)	173,0 mg/Kg PS	0,18 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Fósforo (1)	8 290 mg/Kg PS	1,03 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Hierro (1)	15 096 mg/Kg PS	0,13 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Litio (1)	< 3,08 mg/Kg PS	3,08 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Magnesio (1)	4 131 mg/Kg PS	1,06 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Manganeso (1)	213,4 mg/Kg PS	0,10 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Molibdeno (1)	10,18 mg/Kg PS	0,12 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Níquel (1)	19,92 mg/Kg PS	0,13 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Plata (1)	61,37 mg/Kg PS	0,37 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Piomo (1)	315,7 mg/Kg PS	1,61 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Potasio (1)	1 744 mg/Kg PS	0,77 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021

Coilización: 2108007
(FAP-009-01)
Fecha Emisión Informe: 29-12-2021 16:00

Parámetro	Resultado	Resultados Analíticos		Referencia	Fecha de Análisis
			LD		
Selenio (1)	< 2,05 mg/Kg PS		2,05 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Silicio (1)	135,7 mg/Kg PS		0,96 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Sodio (1)	1 333 mg/Kg PS		2,93 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Talio (1)	< 1,51 mg/Kg PS		1,51 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Titanio (1)	217,6 mg/Kg PS		0,19 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Vanadio (1)	41,37 mg/Kg PS		0,08 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Zinc (1)	1 006 mg/Kg PS		0,50 mg/Kg PS (**)	EPA Method 200.7 Rev 4.4. 1994 EPA Method 3050-B Rev 02. 1994	29-12-2021
Mercurio (CVAA - FIMS) (Peso Seco)					
Mercurio total (Hg) (1)	3,15 mg/Kg PS		< 1,00 mg/Kg PS (**)	EPA Method 7471 B. 2007.	29-12-2021

Notas
NA: No se aplica.

LD: Límite de Detección.

(1) Los Métodos Indicados han sido acreditados por el INACAL-DA, para Environmental Testing Laboratory S.A.C.

(**): Límite de cuantificación

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017


Raquel Rosales Torres
 Responsable de Calidad
 CIP N° 209612