

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Higienización de lodos de la planta de
tratamiento de aguas residuales domésticas de
Manchay, y su uso como insumo de cultivo en el
año 2021**

**Shayuri Michell Ayala Luna
Daniela Marisa Milla Zacarías
Daniela Natalie Montero Chávez**

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Mg. Ing. Edwin Natividad Gabriel Campos

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Dios por lo que nos ofrece en la vida, por bendecirnos cada día y guiar nuestros pasos.

A la Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, principalmente a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, nuestra alma máter, donde nos brindaron los conocimientos y la oportunidad de crecer profesionalmente.

Al Mg. Edwin Natividad Gabriel Campos, por el asesoramiento, recomendaciones y críticas que nos brindó durante el desarrollo de nuestra investigación, sin su aporte, la presente no hubiese sido posible.

Además, a los ingenieros de la Empresa Prestados de Servicio (EPS), quienes nos facilitaron el acceso y recojo de muestras de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Manchay, además de proporcionarnos toda la información requerida para el desarrollo de nuestro trabajo de investigación.

Finalmente, a todas las personas, docentes, compañeros, amistades y de manera muy especial a nuestras familias por sus consejos y el apoyo incondicional hacia nosotras, con el fin de culminar de manera satisfactoria nuestra carrera profesional.

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a Dios por la guía y protección, y a nuestros padres por el esfuerzo y sacrificio, con el objetivo de brindarnos la mejor educación y el aliento a cumplir con todos nuestros objetivos.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	3
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.3.1. Justificación teórica	4
1.3.2. Justificación práctica - social	4
1.3.3. Justificación metodológica.....	5
1.4. Hipótesis y descripción de variables	5
1.4.1. Hipótesis.....	5
1.4.2. Operacionalización de variables	5
CAPÍTULO II.....	7
2.1. Antecedentes del problema	7
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	13
2.2. Bases teóricas	20
2.2.1. Aguas residuales	21
2.2.2. Clasificación de las aguas residuales	24

2.2.3.	Tratamiento de aguas residuales.....	25
2.2.4.	Lodos residuales y biosólidos	27
2.2.5.	Disposición final y aprovechamiento de los lodos	33
2.2.6.	Marco legal internacional.....	33
2.3.	Definición de términos básicos	35
CAPÍTULO III.....		37
METODOLOGÍA.....		37
3.1.	Método y alcance de la investigación	37
3.1.1.	Método general o teórico de la investigación	37
3.1.2.	Método específico de la investigación	37
3.1.3.	Alcance de la investigación.....	37
3.2.	Diseño de la investigación	38
3.3.	Población y muestra	39
3.3.1.	Población.....	39
3.3.2.	Muestra	40
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	40
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos.....	40
3.4.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	40
3.5.	Procedimiento.....	41
3.5.1.	Procesos, disposición y clasificación de los lodos de la PTARD de Manchay	41
3.5.2.	Comportamiento de los cultivos en la etapa de germinación empleando los lodos higienizados	45
3.5.3.	Relación costo/beneficio de la higienización y disposición final de los lodos .	49
CAPÍTULO IV		50
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	50
4.1.1.	Procesos, disposición y clasificación de los lodos de la PTARD de Manchay.	50

4.1.2.	Comportamiento de los cultivos en la etapa de germinación	65
4.1.3.	Relación costo/beneficio	83
4.1.4.	Efectividad de la higienización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay para su uso como insumo de cultivos ..	85
4.2.	Prueba de hipótesis	86
4.2.1.	Indicador de <i>E. coli</i>	87
4.2.2.	Indicador de <i>Salmonella sp.</i>	87
4.2.3.	Indicador huevos de helmintos	88
4.2.4.	Prueba de hipótesis general	88
4.3.	Discusión de resultados.....	90
CONCLUSIONES		92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		93
ANEXOS.....		101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estabilización alcalina.	30
Figura 2. Proceso de producción de un biosólido.....	31
Figura 3. Tratamiento de higienización	43
Figura 4. Tratamiento de cultivo de zanahoria.	46
Figura 5. Tratamiento de cultivo de betarraga.....	47
Figura 6. Inicio del tratamiento de agua - tratamiento preliminar.....	51
Figura 7. Tamiz rotatorio.....	52
Figura 8. Tratamiento secundario.	53
Figura 9. Aireador de lodos.....	54
Figura 10. Zona de almacenamiento del cloro gaseoso.....	55
Figura 11. Tecnología de la PTARD Manchay.	57
Figura 12. Diagrama de disposición final de los residuos generados en la PTARD Manchay.	59
Figura 13. Proceso de germinación de la zanahoria (placebo).....	67
Figura 14. Placebo - zanahoria.....	67
Figura 15. Proceso de germinación de la zanahoria (TH2Z1).	69
Figura 16. Tratamiento TH2Z1 zanahoria.	70
Figura 17. Proceso de germinación de la zanahoria (TH2Z2).	71
Figura 18. Tratamiento TH2Z2 zanahoria.	72
Figura 19. Proceso de germinación de la zanahoria (TH2Z3).	73
Figura 20. Tratamiento TH2Z3 zanahoria.	74
Figura 21. Proceso de germinación de la betarraga (placebo).	75
Figura 22. Placebo - betarraga.	76
Figura 23. Proceso de germinación de la betarraga (TH2B1).	77
Figura 24. Tratamiento TH2B1 - betarraga.	78
Figura 25. Proceso de germinación de la betarraga (TH2B2).	79
Figura 26. Tratamiento TH2B2 - betarraga	79
Figura 27. Proceso de germinación de la betarraga (TH2B3).	81
Figura 28. Tratamiento TH2B3 - betarraga.	81
Figura 29. Escala extendida BBCH para el cultivo de la zanahoria.....	82
Figura 30. Escala extendida BBCH para el cultivo de la betarraga.	82
Figura 31. Tiempo de germinación - zanahoria.....	86
Figura 32. Tiempo de germinación - betarraga.	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos y tipos de tratamiento de aguas residuales.....	25
Tabla 2. Parámetros de estabilización.	32
Tabla 3. Límites permisibles para metales pesados.....	34
Tabla 4. Límites permisibles para patógenos y parásitos.....	34
Tabla 5. Límites permisibles para metales pesados.....	35
Tabla 6. Criterios para la selección de la PTARD.	39
Tabla 7. Evaluación de la PTARD.....	40
Tabla 8. Tipo de envases.....	41
Tabla 9. Criterios para la selección del tipo de tratamiento.	42
Tabla 10. Tabla de decisión del tratamiento de lodos.	42
Tabla 11. Métodos de referencia.....	43
Tabla 12. Criterios para la selección de cultivos.	44
Tabla 13. Aprovechamiento de lodos.....	44
Tabla 14. Criterios para la selección de cultivos.	45
Tabla 15. Tabla de decisión para la selección del tipo de cultivo.	45
Tabla 16. Escala extendida BBCH para la etapa de germinación de la zanahoria.	47
Tabla 17. Escala extendida BBCH para la etapa de germinación de la betarraga.....	48
Tabla 18. Criterios para la selección de la prueba estadística.....	48
Tabla 19. Tabla de decisión para la selección de la prueba estadística.	49
Tabla 20. Unidades del pretratamiento.	50
Tabla 21. Unidades de tratamiento secundario.	52
Tabla 22. Unidades de Tratamiento del Tratamiento de Lodos.	54
Tabla 23. Unidades de tratamiento terciario.....	55
Tabla 24. Descripción de los subproductos.....	58
Tabla 25. Parámetros físicos.	60
Tabla 26. Estabilización de lodos.....	60
Tabla 27. Parámetros químicos.	61
Tabla 28. Parámetros biológicos antes del tratamiento.....	62
Tabla 29. Parámetros químicos del lodo tratado.	62
Tabla 30. Parámetros químicos del lodo tratado.	63
Tabla 31. Parámetros biológicos - Normativa nacional.	63
Tabla 32. Parámetros biológicos - Normativa internacional.....	64
Tabla 33. Clasificación de los lodos higienizados.	64
Tabla 34. Proceso de germinación de la zanahoria (placebo).....	65

Tabla 35. Proceso de germinación de la zanahoria (TH2Z1).	68
Tabla 36. Proceso de germinación de la zanahoria (TH2Z2).	70
Tabla 37. Proceso de germinación de la zanahoria (TH2Z3).	72
Tabla 38. Proceso de germinación de la betarraga (placebo).	74
Tabla 39. Proceso de germinación de la beterraga (TH2B1).....	76
Tabla 40. Proceso de germinación de la beterraga (TH2B2).....	78
Tabla 41. Proceso de germinación de la beterraga (TH2B3).....	80
Tabla 42. Costos por disposición de residuos no peligrosos.	83
Tabla 43. Cantidad de lodo generado por día.	83
Tabla 44. Costos de disposición de lodos.	84
Tabla 45. Cantidad de lodo y cal requeridos por día.	84
Tabla 46. Comparación de costos de acuerdo con su disposición.	84
Tabla 47. Efectividad del tratamiento de higienización.....	85
Tabla 48. Comparación de los resultados para E. coli.	87
Tabla 49. Comparación de los resultados para Salmonella sp.	88
Tabla 50. Comparación de los resultados para huevos de helmintos.....	88
Tabla 51. Análisis de la varianza de parámetros.....	89

RESUMEN

El presente estudio buscó evaluar la posibilidad de higienización de los lodos provenientes de la PTARD Manchay y se verificó la efectividad en su uso como insumo de cultivos. Para ello, se identificaron los lodos de la PTARD, proveniente de un sistema de tratamiento de lodos activados, los cuales son dispuestos en un relleno sanitario.

Al realizar el análisis preliminar de los lodos, y tras su comparación con la normativa, nos indicó el cumplimiento de parámetros químicos, sin embargo, no se cumplió con los parámetros biológicos (*Salmonella*) de acuerdo con el D.S. N° 015-2017-VIVIENDA.

Posteriormente, se realizó la higienización mediante la aplicación de cal viva en un 20 y 30 % por un periodo de 7 días, para luego ser analizados en laboratorio, a fin de determinar su clase y uso de acuerdo con el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA y la Normativa Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Los resultados muestran que los lodos tratados con el 20 % de cal viva son clasificados como de clase B, a diferencia de los lodos tratados con el 30 % de cal viva que fueron clasificados de clase A para ambas normativas.

Una vez que el lodo fue caracterizado, se aplicaron diferentes porcentajes de los lodos tratados (15, 35 y 50 %) como insumo en los cultivos de la zanahoria y betarraga hasta su etapa de germinación, haciendo uso de la escala extendida BBCH. Se determinó que los cultivos de zanahoria germinan entre los 15 y 30 días, siendo el tratamiento TH2Z2, el que germinó en 16 días. En comparación con las semillas de betarraga, que germinaron entre los 10 y 15 días, sin embargo, fue el placebo quien germinó en un periodo de 12 días.

Finalmente realizando el análisis costo beneficio se estimó que la higienización de los lodos es una alternativa rentable y óptima por la reducción de costos que genera al reusar los lodos, en comparación con los gastos que actualmente se dan por el traslado hacia un relleno sanitario.

Se concluyó que es posible la higienización de los lodos de la PTARD de Manchay y su uso como insumo en los cultivos de zanahoria y betarraga, además que su implementación permite una reducción en los costos de traslado.

Palabras clave: lodos, higienización, insumo de cultivo.

ABSTRACT

The present study seeks to evaluate the sanitation of the sludge from the Manchay WWTP and the effectiveness of its use as a crop input will be verified. For this, it was identified that the sludge comes from an Activated Sludge treatment system, these being finally disposed towards a sanitary landfill. In addition, according to the preliminary report of the sludge, the chemical parameters are met; however, biological parameters are not met (*Salmonella*), according to D.S. N° 015-2017-VIVIENDA.

Subsequently, sanitization was carried out by applying quicklime at 20 and 30 % for a period of 7 days, to be later analyzed in the laboratory, in order to determine its class and use in accordance with Supreme Decree N° 015-2017-VIVIENDA and Official Mexican Regulations NOM-004-SEMARNAT-2002. The results show that the sludge treated with 20 % quicklime is classified as class B, unlike the sludge treated with 30 % quicklime that were classified as class A for both regulations.

Once the sludge was characterized, different percentages of the treated sludge (15, 35 and 50 %) were applied as input in the carrot and beet crops until their germination stage, using the extended BBCH scale. It will be extended that carrot crops germinate between 15 and 30 days, being the TH2Z2 treatment, the one that will germinate in 16 days. Compared to beet seeds, which germinated within 10 to 15 days, however, it was the placebo that germinated within 12 days.

Finally, making the cost-benefit analysis, it is estimated that the sanitation of the sludge is a profitable and optimal alternative due to the reduction in costs generated by reusing the sludge, compared to the expenses that are currently incurred for the transfer to a sanitary landfill.

It is concluded then that it is possible to sanitize the sludge from the Manchay WWTP and its use as an input in carrot and beet crops, in addition to its implementation allowing a reduction in transportation costs.

Key words: sludge, sanitization, crop input.

INTRODUCCIÓN

Dada la escasez de lugares autorizados en el Perú para la disposición final de residuos peligrosos y no peligrosos, y ser partícipe de la economía circular mediante la técnica de las 3Rs (reducir, reciclar y reusar), se propone en la presente investigación la higienización de los lodos provenientes de la PTARD de Manchay, de tal manera que nos pueda servir como insumo de cultivo.

De acuerdo con distintos autores, es posible la higienización de los lodos y su aplicación como insumo de cultivo, sin embargo, tanto en la normativa peruana y mexicana primero se debe de clasificar el lodo tratado, para ello es necesario cumplir con el proceso de estabilización y posterior a ello evaluar en su concentración de parámetros que dan lugar a su toxicidad química y los patógenos que puedan presentar los lodos, a fin de evitar enfermedades asociadas a estos.

Se establece como principal objetivo evaluar la posibilidad de higienización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD) de Manchay y su uso como insumo de cultivos, con el fin de permitir su reaprovechamiento, aplicando así el modelo de la economía circular.

Como objetivos específicos, se identifican los procesos, disposición actual y clasificación de los lodos provenientes de la PTARD de Manchay. Asimismo, se evalúa el comportamiento de los cultivos en la etapa de germinación de la zanahoria y betarraga, empleando los lodos higienizados. De igual manera, se determina la relación costo/beneficio para identificar si el costo la higienización de los lodos es menor en comparación al costo actual de la disposición final de estos.

Para ello, en el Capítulo I se aborda el planteamiento, formulación del problema y formulación de la hipótesis. Además, se plantean la justificación técnica, práctica - social y metodológica del porqué es importante la higienización de los lodos.

En el Capítulo II se exponen las cuestiones teóricas en las que se sustenta el presente estudio, además de los principales antecedentes que permiten fundamentar la metodología empleada y la definición de los términos básicos empleados.

En el Capítulo III se detalla la metodología del estudio, así como su alcance, diseño de la investigación, población y muestra. También las principales técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos.

En el Capítulo IV se muestran los resultados, identificando el tipo de tratamiento, la disposición final de los lodos generados, el análisis preliminar y después de su higienización, así como su evaluación como insumo de cultivo en la zanahoria y betarraga, de acuerdo con la escala extendida BBCH. Finalmente, también se detalla la relación costo/beneficio que tendrá la aplicación de la higienización de los lodos en comparación con su disposición hacia un relleno sanitario.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones alcanzadas luego del análisis de los lodos higienizados y su uso como insumo de cultivo.

Las autoras.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Hoy en día en el mundo los residuos se están convirtiendo en el principal problema que amenaza la vida humana y el medio ambiente debido a múltiples razones, entre ellas el crecimiento de las ciudades que viene generando importantes cambios de uso de tierra (1), ante ello surge la necesidad de reducir y disponerlos adecuadamente, es por esta razón que todos los países buscan alternativas tecnológicas y modificaciones en sus políticas de manejo de dichos residuos.

Se estima actualmente que solo el 16 % de más de 2 100 millones de toneladas de basura que son generadas a nivel mundial cada año son recicladas (2). Además, la expansión urbana podría aumentar hasta 3 400 millones la cantidad de desechos generados en los siguientes 30 años, por lo que resulta importante promover la reutilización de residuos como camino hacia una posible mitigación de la contaminación (3).

Son muchas personas y empresas en todo el mundo que, sin un tratamiento previo, vierten sus desechos al río, poniendo así en riesgo la salud de la población y la naturaleza. Debido a ello, para el año 2050 se prevé que la contaminación de mares y ríos pueda ser una de las principales causas de muerte (4).

Actualmente el Perú posee 164 localidades donde se generan aguas residuales que, en parte o totalmente, son vertidas al alcantarillado y transportadas hacia una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (5). Ahora bien, se conoce que, durante el proceso de una PTARD se llega a generar el agua tratada y diferentes subproductos, entre los cuales se encuentran los lodos.

El mal diseño y construcción de las PTARD impide su operatividad al 100 % generando que los lodos obtenidos de los diferentes tratamientos tengan alta carga de organismos patógenos, metales pesados, entre otros; sumado

a esto, en el Perú existen pocos centros autorizados para la disposición adecuada de los lodos.

La correcta disposición final de estos subproductos tendría que ser en rellenos sanitarios o de seguridad, de acuerdo con la composición de cada uno, sin embargo, el Perú solo se cuenta con 57 rellenos sanitarios y 6 de seguridad, de los cuales en el departamento de Lima se encuentran 6 rellenos sanitarios y 1 de seguridad, por lo que se complica su adecuada disposición (6). Es por esta razón fundamental que se busca la manera reutilizar este subproducto e ingresar a la economía circular.

Actualmente en el Perú se cuenta con el Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, aprobado mediante el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM; donde su Artículo 8° señala que se debe dar un uso eficiente a los insumos y de prevenir la generación de residuos sólidos, para ello se debe realizar el aprovechamiento de los materiales y de sus insumos de descarte en las mismas o diferentes actividades desarrolladas por el generador (7). Del mismo modo, en la Resolución Ministerial N° 128-2017-VIVIENDA resalta el artículo 15°, el cual se refiere a que los lodos, que son producto de los procesos de la PTARD, deben ser estabilizados hasta lograr su reaprovechamiento (8). Además, es preciso hacer referencia al Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos Generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, aprobado por el Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA, el mismo que promueve el reaprovechamiento de los lodos pudiendo ser empleados como abonos agrícolas y/o forestales, en la industria de cerámica, etc., considerando los riesgos que puedan causar a la salud y medio ambiente (9).

Además, diferentes países como Alemania, Australia, Brasil, Chile, Colombia, Estados Unidos y México, cuentan con diferentes normas legales que permiten que el lodo sea reusado y en ciertas situaciones dependiendo de sus características establecen su uso de los lodos como un mejorador de suelos; cabe precisar que México tuvo valores puntuales para el reúso de lodos, es por ello que se realizará comparaciones con dicha normativa.

En tal sentido, el objetivo de la presente investigación es darle una adecuada reutilización a los lodos que se generan en la PTARD de Manchay, a partir del proceso de higienización, lo cual permitirá su uso como insumo de cultivo

y de este modo disminuir con los impactos ambientales y los costos generados producto del traslado de los lodos hacia su disposición final.

1.1.2. Formulación del problema

a. Problema general

¿Será posible la higienización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay y su uso como insumo de cultivos?

b. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los procesos, disposición y clasificación de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay?
- ¿Cuál es el comportamiento de los cultivos en la etapa de germinación con los lodos higienizados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay?
- ¿Cuál es la relación costo / beneficio de la higienización y disposición final de lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Manchay?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar la posibilidad de higienización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay; y su uso como insumo de cultivos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los procesos, disposición y clasificación de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay.

- Evaluar el comportamiento de los cultivos en la etapa de germinación con los lodos higienizados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay.
- Determinar la relación costo/beneficio de la higienización y disposición final de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay.

1.3. Justificación e importancia

La presente investigación se justifica ya que al obtener datos de parámetros de lodos de la PTARD antes y después de su tratamiento se podrá evaluar la posibilidad de higienización de los lodos y su uso como un insumo de cultivos, y de tal manera pueda ser aplicado en mayor dimensión en la PTARD.

En el presente estudio, se plantea que los lodos ingresen a la economía circular, porque ya no serán dispuesto como residuos sólidos (disminuyendo los costos operativos), ya que serán empleado como materia prima en la generación de abonos para cultivos.

1.3.1. Justificación teórica

La presente investigación fortalece la teoría de la economía circular, la cual permite reutilizar materiales, insumos y productos todas las veces que sea posible a fin de mantener y extender el ciclo de vida de los productos existentes (10). En nuestra investigación aplicamos la reutilización del lodo, proceso que permite emplear al lodo como materia prima y se convierta en producto inicial de otro proceso. La finalidad es generar menos residuos y que estos no lleguen a vertederos ilegales o rellenos sanitarios, también contribuir a que sean más las Plantas de Tratamiento de Aguas que apliquen la economía circular para la gestión de sus lodos, de esta forma se utilice menos productos químicos (fertilizantes) en la agricultura.

1.3.2. Justificación práctica - social

La presente investigación pretende reutilizar los lodos generados en la PTARD de Manchay para ser utilizados como su materia prima para la generación de insumos de cultivos, ya que al final éstos llegan a disponerse

en rellenos sanitarios los cuales generan contaminación, focos infecciosos y enfermedades a poblaciones cercanas. Es por ello que se busca dar un mejor uso y mayor aprovechamiento de los biosólidos en la agricultura, así como para la recuperación de suelos degradados, paisajes, entre otros, lo cual genera el incremento en mano de obra y como consecuencia nuevos empleos.

1.3.3. Justificación metodológica

En la actualidad se realizan diferentes tipos de tratamientos de lodo, la higienización es uno de ellos, el cual va a permitir la reducción de patógenos en el lodo y su uso como insumo de cultivos, dicho método permite ser utilizado para posteriores estudios e investigaciones y ser contrastado con otros tipos de métodos que ayudarán a identificar el mejor tratamiento para el lodo.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis

H_0 : La higienización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay no permitirá su uso como insumo de cultivos.

H_i : La higienización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay permitirá su uso como insumo de cultivo.

1.4.2. Operacionalización de variables

a. Variables

- Variable Independiente: higienización de lodos.

El Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos Generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales lo

define como el “proceso de reducción de concentraciones de patógenos e indicadores de contaminación de origen fecal” (9).

- Variable dependiente: insumo de cultivos.

De acuerdo con la Real Academia Española (11), define a insumo como un “conjunto de elementos que toman parte en la producción de otros bienes”. Tomando como base ello, el insumo de cultivo es el producto que se emplea para la producción agrícola.

b. Operacionalización de variables

La matriz de operacionalización de variables se presenta en el Anexo 1 del presente informe.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes nacionales

Candela (12) en su tesis titulada “Propuesta de estabilización y Aprovechamiento de lodos de PTAR y BES en Perú basadas en su caracterización fisicoquímica y microbiológica” visitó 8 PTAR y 3 BES (Baños Ecológicos Secos) para obtener las muestras de lodos en donde designaron los puntos de muestreo y se adquirió información respecto a cantidades de lodos producidos mediante la aplicación de encuestas a los operarios y usuarios; el muestreo comprendió lodos finales e intermedios, realizándose 3 muestreos de 4 litros cada uno a intervalos de 30 min con frecuencia de aproximadamente 15 días a excepción de Santa Clara, luego las muestras fueron vertidas en un recipiente de 20 litros para homogenizar y por último este lodo mezclado fue pasado a frascos de plástico de 1 litro para su análisis en laboratorio. Posteriormente se compararon los resultados con las disposiciones del D.S. N° 015-2017 VIVIENDA, determinando como resultado que solo 6 lodos podrían ser reutilizados como biosólido tipo B sin previa estabilización. Los demás, incluyendo las muestras de BES, excedían la concentración máxima de sólidos volátiles. Ninguno de los lodos fue categorizado como clase A, debido a que su concentración de *E. Coli* superaba lo establecido en la norma nacional. Los métodos propuestos de estabilización para el aprovechamiento agronómico fueron la alcalinización y secado térmico o solar.

La investigación realizada por Gonzales y Atoche (13), titulada “Diagnóstico de la disposición actual de los lodos residuales en las lagunas de estabilización de Epsel S.A. - San José”, tuvo por objetivo diagnosticar la disposición de los lodos residuales generados en las lagunas estabilización de San José, a fin de determinar sus características. En esta investigación, de corte preexperimental y descriptiva, se utilizó la observación y la Matriz de Leopold como instrumentos para determinar el impacto ambiental generado por los lodos. La muestra empleada fue de 2 kg de lodos, el cual

paso por un proceso de deshidratación en un horno de secado, luego aplicando la matriz de enfrentamiento se determinaron las alternativas de su aprovechamiento. Los resultados demostraron que no existen una disposición final de los lodos, trayendo consigo impactos negativos en la sociedad y medio ambiente, sin embargo, dada a las características que presentan se puede realizar su aprovechamiento como acondicionador de lodos, fertilizante o abono.

En la tesis de Huamani (14) titulada “Evaluación del proceso de tratamiento de agua residual y sus lodos como subproducto, en una planta compacta de depuración por lodos activados”, se tuvo por objetivo evaluar el proceso de tratamiento de la planta de depuración por lodos activados, ubicada en el Centro Poblado de Nueva Fuerabamba, Apurímac. Para la investigación se tomaron datos del proceso del tratamiento de las aguas residuales y lodos, asimismo, se analizaron los lodos y fueron comparados con la normativa nacional e internacional para su clasificación. Posteriormente, ya siendo un lodo estabilizado, fue utilizado como fertilizante en cultivos ornamentales. Se concluyó que la eficiencia de remoción del agua residual fue eficiente, siendo óptimos para disponer al cuerpo de agua natural, y con respecto a los lodos, cumplen con los parámetros establecidos por las normativas nacionales e internacionales, por lo que fue posible su reutilización como un acondicionador apropiado para el suelo.

Ramírez (15) en su tesis titulada “Eficiencia de *Eisenia foetida* en el tratamiento de lodos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales, mediante el vermicompostaje a escala piloto”, tuvo por objetivo diseñar un sistema de vermicompostaje con *Eisenia foetida*, para el tratamiento de lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales, para ello se realizaron 4 tratamientos con tres repeticiones haciendo un total de 12 el cual consta de 50 % lodo residual + 50 % sustrato + *Eisenia foetida*, a excepción de 1 cama que contó con 100 % de lodo residual + *Eisenia foetida*; las camas de madera fueron de 0.5 x 0.7 x 0.3 m de altura, además de un piso de tierra y un techo. Se utilizaron 6 kg de mezcla para 200 lombrices, lo cual permitió demostrar que el vermicompostaje es la mejor propuesta de tratamiento para los lodos residuales provenientes de una PTAR.

En la tesis realizada por Agüero (16), titulada “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”, se tuvo por objetivo determinar la posibilidad de tratar los lodos generados en la PTARD de la Compañía Minera Chungar mediante la lombricultura. Para esta investigación se instalaron 2 lechos en serie techados, los cuales fueron cercados de sardineles y las dimensiones del piso de concreto fueron de 4 x 4 x 0.6 alto, el volumen de lodo 1 000 kg y estiércol 1 000 kg; a cada montaje se agregó lo siguiente: C1: 50 % lodo + 50 % estiércol + 500 g lombrices de tierra, C2: 40 lodo + 50 % estiércol + 500 g lombrices de tierra, durante un período de 8 semanas se realizó el monitoreo del pH, humedad y temperatura, también al lodo y las lombrices, tamaño, color, cantidad, olor y textura, concluyendo que los tratamientos permitieron la eliminación del nitrógeno amoniacal, nitritos, fosfato y sulfatos en comparación con el lodo sin tratar, además la calidad de lodos mejoró, bajando sus niveles de impurezas ya que el nitrito y sulfatos podrían afectar la tierra porque generan acidez y alteración de la cadena de seres vivos.

Cencia (17), en su investigación titulada “Efecto de la biofertilización con lodo generado en PTAR Concepción sobre el crecimiento de plántulas de *Eucalyptus globulus* Labill”, evaluó el efecto de la biofertilización en el desarrollo de las plántulas de *Eucalyptus globulus* Labill con el lodo proveniente de la PTAR Concepción. Para ello, empleó un diseño experimental al azar DCA, el cual consta de 7 tratamientos y 10 repeticiones, posteriormente se realizó el repique con plántulas. En el repique se aplicaron dosis de lodo seco y lodo compostado (30, 60, 90 g), evaluando el incremento de la altura, diámetro y la calidad de la planta. Los resultados concluyen que la biofertilización con el lodo compostado sobresale sobre los demás tratamientos, ya que presenta un mayor incremento en el desarrollo del *Eucalyptus globulus* Labill.

Huacanca (18), en su tesis titulada “Transformación de lodos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carhuaz en biosólido, mediante la tecnología de compostaje con microorganismos eficaces, Carhuaz - 2018”, tuvo como objetivo principal estabilizar la materia orgánica a fin de disminuir los parámetros de toxicidad e higienización. Para ello se

realizaron 3 pilas composteras que fueron mezclados con viruta de madera y lodos. Además, se incorporó distintas dosis de microorganismo eficaces, formándose lo siguiente: pila testigo T1: 90 % lodo + 10 % viruta + 0 L microorganismo eficaces (grupo control), T2: 0 % lodo + 10 % viruta + 2 L microorganismo eficaces (grupo experimental), T3: 90 % lodo + 10 % viruta + 4 L microorganismo eficaces (grupo experimental 2). Estas dosis fueron repetidas teniendo en total 6 pilas. Evaluó los parámetros de conductividad, pH, humedad, temperatura, relación C/N, materia orgánica, arsénico, cadmio, cromo, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.* y huevos de helmintos. Concluyó que la tecnología de compostaje con microorganismo eficaces consiguió estabilizar la materia orgánica, reducir de manera significativa los metales presentes como el arsénico y permitió reducir los contaminantes patógenos como *E. coli*.

Machado (19), en su investigación titulada “Higienización de lodos residuales con cal viva para la elaboración de compostaje en las lagunas de oxidación del distrito de San José”, determinó la eficacia de la desinfección de los lodos generados en las lagunas de oxidación del distrito de San José, provincia de Lambayeque, mediante el uso de la cal viva con el fin de reducir su disposición en lugares inadecuados y ser empleados como abono natural. Realizó dos pruebas de laboratorio (antes y después de la aplicación de la cal viva), para ello empleó 50 kg de lodo residual que fueron tratados con una dosis de 10 kg de cal viva. Los resultados obtenidos fueron la eliminación del 100 % de los coliformes totales, coliformes fecales, huevos de helmineto y *Salmonella*, sin embargo, al realizar el compostaje se empleó también residuos sólidos cítricos para estabilizar el pH y tener valores más óptimos de nitrógeno.

En la tesis realizada por Valenzuela (20), titulada “Aplicación de lodos activados en un suelo contaminado con arsénico, cultivado con Avena sativa L., en el distrito de Orcotuna, Concepción 2016”, tuvo por objetivo determinar el efecto de los lodos en las propiedades fisicoquímicas y el crecimiento del cultivo de avena en un suelo contaminado con arsénico del distrito de Orcotuna, provincia de Concepción. Esta investigación fue de tipo aplicada, donde se realizaron 5 tratamientos con diferentes porcentajes de lodos activados de la PTARD Mantaro, siendo: 0, 5, 10, 15 y 20 % con tres

repeticiones de 2 kg de suelo, dando como resultado que los tratamientos con mayores concentraciones de lodo activado disminuyen en gran porcentaje la densidad aparente del suelo y el pH del suelo, además de aumentar la conductividad eléctrica y aumentó el fósforo disponible en el crecimiento de la planta y su contenido en el suelo.

En la tesis realizada por Calderón (21), titulada “Análisis comparativo y propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Sedapal”, se tuvo por objetivo determinar las características de los lodos residuales provenientes de cinco plantas de tratamiento administradas por Sedapal (Santa Clara, San Antonio de Carapongo, Carapongo, Manchay y San Bartolo Sur) mediante un análisis comparativo para así evaluar su aprovechamiento. Para el análisis se evaluaron los parámetros fisicoquímicos y biológicos de los lodos de las plantas en estudio, de esta manera se identificó la clase de lodos a la que pertenecen. Se determinó que en las cinco PTARs hay presencia de metales pesados, como el plomo, y en la PTAR Santa Clara se identificó la presencia de arsénico y mercurio, ello debido a las descargas industriales al alcantarillado. Asimismo, según las normas chilenas y brasileras, los lodos de las PTARs de San Antonio de Carapongo, Carapongo, Manchay y San Bartolo Sur, se clasificaron como categoría A y B, para el año 2015 y para el año 2013 ninguna PTARs clasificaba como categoría A y B, debido a la presencia de metales pesados, *Salmonella* y algunos huevos de helmintos.

La investigación realizada por Castañeda (22), titulada “Uso de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en lodos activados de la PTAR San Antonio de Carapongo y residuos orgánicos para la producción de humus - Lima 2018”, tuvo por objetivo emplear a la lombriz roja (*Eisenia foetida*) junto con los lodos activados y residuos orgánicos en la producción de humus. El diseño de la investigación fue experimental, tomando como población los lodos producidos en la PTAR de San Antonio de Carapongo y una muestra de 30 kg. La investigación constó de 5 tratamientos de 0, 1, 2, 3 y 4 kg de lodo activado, con 3 repeticiones cada uno de los tratamientos; asimismo, también se contó con 5 kg de residuos orgánicos, los cuales fueron distribuidos en cada tratamiento. Como resultado, se comprueba que

empleando 50 % de lodo, más un 50 % de residuos orgánicos y 50 lombrices (tratamiento 3), da como resultado un humus orgánico de calidad, a pesar que las condiciones iniciales del lodo no eran aptas para la sobrevivencia de la lombriz roja (*Eisenia foetida*), siendo la que más se acercó a los rangos establecidos por la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 para humus de lombriz.

En la tesis realizada por Huamán y Palco (23), titulada “Valoración fisiológica como abono orgánico de lodos activados en las lagunas de estabilización de la localidad de Jaén”, se tuvo como fin determinar que los lodos activados de las lagunas de estabilización de Jaén son efectivos fisiológicamente como abono orgánico. Para ello, se tomaron muestras de lodos activados y posteriormente se prepararon muestras de 100 plantas ornamentales, las cuales fueron divididas en un grupo experimento y un grupo control, que finalmente se aplicó el lodo a nivel de laboratorio in vitro. Como resultado se concluye que los lodos demuestran una buena efectividad fisiológica como abono orgánico.

En la tesis realizada por Huanqui (24), titulada “Aprovechamiento de biosólidos provenientes de una Planta de Tratamiento de agua residual en una Unidad Operativa Minera - 2018”, se tuvo por objetivo aprovechar el biosólido proveniente de la PTARD de la U.O.M. para lo cual se construyó durante 6 horas un horno de medidas 1.8 m de largo, 1.5 m de ancho y grosor 0.1 m con ladrillos King Kong y concreto, el cual se dejó fraguar durante dos días, además de contar con una chimenea; seguidamente se realizó 5 pruebas que contenía 90 kg de lodo para un tiempo de estadía de 90 min y con una humedad inicial de 74 %, el tiempo de precalentado fue de 15 min y con una cantidad de madera probados en un intervalo de 15 kg hasta 25 kg, se monitoreaba la temperatura cada 5 min lo cual estaba en un intervalo de 201 a 256°C y luego de 1 hora se procedió a retirar el lodo. Se utilizaron 3 grupos de 9 macetas que contuvo 3 semillas de maíz a una profundidad de 5 cm en donde se mezcló de forma manual compost, la tierra de cultivo y biosólidos a distintas concentraciones (G1: $\frac{3}{4}$ + C+T; G2: $\frac{2}{4}$ + C+T; G3: $\frac{1}{4}$ +C+T) durante 1 mes, obteniendo un mejor resultado utilizando 90 kg de lodo, 74 % de humedad, 200°C durante 1.5 horas, empleando 25 kg de madera. Se concluye que se cumple la totalidad de parámetros de

higienización, estabilización y toxicidad y que el tratamiento B3 (25B+75 %) potencia el crecimiento del maíz, lo cual considera al lodo como reemplazo del compost.

En la tesis realizada por Onofre (25), titulada “Propuesta técnica de Gestión Ambiental Sostenible para el aprovechamiento de lodos que provienen de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en campamentos mineros del Perú”, se tuvo por objetivo de proponer alternativas técnicas que estén en concordancia con el cumplimiento legal, la responsabilidad ambiental, la convivencia con los grupos de interés y la mejora en la reputación. Para esta investigación se analizaron aspectos teóricos, técnicos y experiencia en el tratamiento de lodos en otros países, así como su normativa para las categorías por nivel de contaminación y posible afectación humana. Asimismo, da a conocer los costos para la implementación de estructuras para el aprovechamiento de los lodos aplicando una planta de compost, biodigestor y/o humus de lombriz. Se concluye que la Gestión Ambiental Sostenible del manejo de los lodos provenientes de una PTAR en EE.UU., México, Europa, Chile, Colombia y Brasil es ventajoso y posible de incorporar en el Perú.

En la tesis realizada por Pomalaza y Ramos (26) en Huancayo - Perú, “Vermiestabilización de lodos activados para la obtención de compost y su efecto en el índice de calidad de plántulas de *Pinus radiata* D. Don. - San Pedro de Saño”, se tuvo por objetivo evaluar la obtención de compost mediante la vermiestabilización de los lodos activados y su efecto en el índice de calidad de plántulas de *P. radiata* D. Don., en el vivero comunal del distrito de San Pedro de Saño. Para esta investigación se utilizó una muestra de 100 kg de lodo activado proveniente de la PTAR “Doris Mendoza” de los que se realizaron distintos tratamientos y de ello solo dos tratamientos fueron positivos, siendo: T₂ (50 % de lodos y 50 % de residuos orgánicos) y T₃ (25 % de lodos y 75 % de residuos orgánicos), los que fueron aplicados a plántulas de *P. radiata* D. Don, obteniendo como resultado un índice alto de calidad.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Andrade y Solórzano (27) en su investigación titulada “Aprovechamiento de lodos de la Planta de Aguas Residuales del Cantón El Carmen como biosólidos para el sector forestal”, tuvieron por objetivo evaluar los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales del Cantón El Carmen como biosólidos para el sector forestal, que correspondió a un tipo de investigación de tipo cuantitativa; tomando como muestras los lodos residuales, caracterizándose de acuerdo con la metodología recomendada por la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SERMANAT-2002, además por medio del diseño experimental completamente al azar (DCA), con 3 tratamientos (T0, T1 y T2) y 4 repeticiones cada una, monitoreando su crecimiento durante 21 días. Finalmente se estableció la factibilidad económica mediante un análisis de costo unitario. Concluyeron que los lodos sirven como biosólidos para el crecimiento de plantas del sector forestal con la aplicación de tratamiento T2 (suelo degradado más 60 % de lodo residual).

La tesis realizada por Paucar (28), titulada “Uso de lodos residuales compostados como componente porcentual de sustratos en dos métodos de propagación de níspero (*Eriobotrya japonica*), en la provincia de Pichincha, Quito, periodo 2019 - 2020”, tuvo por objetivo evaluar el uso de lodos residuales compostados como componente porcentual de sustratos en dos métodos de propagación de níspero (*Eriobotrya japonica*). La investigación constó de una primera etapa que consistió en acondicionar el lodo residual que proviene de la industria alimentaria, obteniendo un compost por el método de aireación forzada, que cumplió con los parámetros de pH (7), temperatura (56 C) y humedad (35 %), y una segunda etapa donde se implementó un Diseño de Bloques al Azar (DBA), el cual consistió en la comparación del efecto de los tres porcentajes de sustrato (25, 50 y 75 %) y el testigo (tierra), utilizando dos métodos de propagación (semillas y estacas) con 2 repeticiones cada una. Se concluye que el porcentaje de sustrato de 75 %, se obtuvo un mejor resultado de siembra del níspero por el método de propagación de semillas.

Yanguicela (29) en su investigación titulada “Uso de lodos residuales compostados como componente porcentual de sustratos en dos métodos de propagación de aliso (*Alnus glutinosa*) en la Provincia de Pichincha, Machachi, periodo 2019 - 2020”, tuvo por objetivo evaluar si los lodos

residuales compostados pueden ser empleados como componente porcentual de sustratos en dos métodos de propagación (reproducción sexual y asexual) del aliso (*Alnus glutinosa*). Para ello, realizó una primera etapa donde se acondiciona los lodos residuales mediante aireación forzada durante 9 semanas, tomando en cuenta los parámetros de pH, temperatura y humedad, y una aireación manual. La segunda etapa consistió en la mezcla el compost obtenido solo del proceso de aireación forzada con tierra del lugar, posteriormente la evaluación de cada sustrato (100 % de tierra, 25 % compost, 50 % compost y 75 % compost) con cada método de propagación (estaca y semilla) del aliso, obteniendo así 9 tratamientos. Se concluye que el método de aireación forzada es el más rápido para la obtención del compost, además, que la reproducción del aliso mediante el método de semilla, se obtuvieron semillas germinadas después de 21 días a comparación del método por estaca, que germinaron luego de 40 días; finalmente, los porcentajes de 25 y 50 % de compost fueron los mejores para el crecimiento del aliso en comparación de los porcentajes de 0 y 75 % donde se observó una mayor dificultad para su crecimiento.

Marín (30) realizó la investigación titulada “Propuesta de aprovechamiento de lodos residuales provenientes de una PTAR del municipio de Sopó Cundinamarca para la producción de un fertilizante órgano-mineral”, teniendo por objetivo desarrollar una propuesta para la producción de un fertilizante órgano-mineral a partir de los lodos residuales generados en la PTAR de Sopó - Cundinamarca. Caracterizó fisicoquímica y microbiológica los lodos residuales; posteriormente, de acuerdo con la matriz de selección de PUGH, estableció que el reactor sea horizontal con volteo como sistema de compostaje. En este sistema realizó dos réplicas con el fin de estimar la representatividad de los datos. Los tres reactores cargados con las siguientes mezclas: 60 % de lodo, 39 % de poda de césped y 1 % papel periódico. Se realizó el seguimiento durante 40 días y luego se introdujeron minerales provenientes de roca fosfórica, urea y cloruro de potasio para la obtención final de fertilizante. De acuerdo con los análisis, los lodos tuvieron una relación C/N igual a 9.73, cenizas de 55.66 % y un pH de 7.4, siendo estos los parámetros fisicoquímicos positivos en comparación con los parámetros microbiológicos (coliformes totales y fecales) quienes se multiplicaron.

En la investigación de Reinaldo *et al.* (31), titulada “Uso de lodos residuales como fertilizante en eucalipto - diagnóstico de investigación”, donde las plántulas de *Eucalyptus* fueron cultivadas en tratamientos de 0, 25, 50, 75, 100 t/ha de lodo residual durante un periodo de 180 días. El estudio concluyó que la utilización de lodo residual es técnicamente viable como fertilizante en plantaciones de eucalipto, siendo necesaria la fertilización adicional; el lodo residual presentó efectos positivos para el cultivo de eucalipto, contribuyendo en altura, diámetro de tallo, densidad de la madera y biomasa. Aumentó la materia orgánica del suelo y el nivel de fertilidad, habiendo mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas, principalmente N y P, elevando la productividad del eucalipto en el suelo, mejorando la densidad, porosidad total y macroporosidad.

En la tesis realizada por Vásquez y Vargas (32), titulada “Aprovechamiento de lodos Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo”, se tuvo por objetivo plantear una alternativa para el manejo y aprovechamiento de los lodos generados en la Planta de Tratamiento de Agua Residual del Municipio de Funza. Para la investigación, se recopiló información de los procesos de la Planta de Tratamiento, para luego obtener estos lodos de las celdas de secado y culminar su proceso en el hidrociclón, para conocer sus propiedades químicas y orgánicas se realizaron pruebas de laboratorio, y se viabilizó su uso en el proceso de cultivo de hortalizas de zanahorias y lechugas por estar dentro de los parámetros establecidos por su gobierno y clasificarlo como Clase A. Concluyen que su composición en materia orgánica del lodo es posible su utilización para mejoramiento del suelo, ya que contrarresta los efectos nocivos de la salinidad, incrementa la actividad de los microorganismos nativos del suelo, lo que induce a una correcta mineralización de los nutrientes del lodo que van a quedar disponibles para la realización de cultivos, y que el aprovechamiento del lodo como insumo para cultivo de hortalizas se convierte en la mejor opción, ya que, debido a sus propiedades y características orgánicas, otorga a las prácticas agrícolas como un manejo adecuado en brindar nutrientes a los cultivos, por lo que permiten la disminución del impacto ambiental y que pueda generar la reducción de utilización de fertilizantes químicos.

En el trabajo de investigación de Ruiz y Quevedo (33), titulado “Análisis de los lodos provenientes del proceso de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Guatavita”, se tuvo por objetivo proponer una alternativa de uso de los lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales en el municipio de Guatavita. El proyecto se realizó en 4 etapas: reconocimiento de las instalaciones, toma de muestra, laboratorios y análisis de la información. Se tomaron muestras de lodo al entrar y al salir del lecho de secado, para determinar la eficiencia de este sistema, las muestras se tomaron en envases debidamente cerrados. En los laboratorios se determinó el porcentaje de humedad, nitrógeno, fosforo, potasio, metales pesados, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos volátiles, pH y la concentración de los metales pesados. La cantidad de lodos producidos en 15 días por la PTAR fue de 55 703 kg. Los lodos de Guatavita demuestran así estar cumpliendo a cabalidad los límites permitidos por las restricciones colombianas e internacionales. Se aplicó el lodo en una planta vegetal (Pescadito o Nematanto) durante dos meses con el fin de determinar los efectos sobre esta. Se realizaron dos tratamientos (T1: tierra negra + espécimen, T2: mezcla de tierra negra y lodo + espécimen). Se concluyó que los lodos producto del tratamiento de aguas residuales de Guatavita se encuentran dentro de los límites reglamentarios por la ley de Colombia, para ser utilizados como aporte a los suelos en la agricultura y que la aplicación del lodo directo en el suelo no tiene afectación directa a la salud de la planta, siendo también necesario mezclar con otros materiales para que mejore el subproducto y permita la circulación del aire, de modo que no se genere moho de tierra.

En la tesis de Subía (34), titulada “Valoración de lodos residuales procedentes de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas de la EPMAPS Quito para su aprovechamiento en la actividad agrícola”, se pretendió obtener información sobre la composición y características de los lodos residuales generados en la planta piloto de tratamiento de aguas de la EPMAPS Quito, con el fin de evaluar su calidad y establecer su posible uso en la actividad agrícola y aplicación en suelos. Se realizaron 12 muestreos, siendo recolectadas las 6 primeras muestras quincenalmente, mientras que las 6 muestras restantes fueron recolectadas semanalmente. Se emplearon recipientes de 6 litros de muestra de lodos residuales directamente de la

manguera de recirculación proveniente del sedimentador secundario. Estos lodos fueron almacenados y transportados a una temperatura de 4°C hacia su caracterización fisicoquímica, agronómica, microbiológica y determinación de contenido de metales pesados. Los análisis arrojaron que los lodos presentan niveles de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio relativamente altos y el contenido de metales pesados se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en las legislaciones a nivel internacional, sin embargo, la cantidad de microorganismos patógenos son altas, excediendo con los límites establecidos.

En la tesis realizada por Torres (35), titulada “Propuesta para el aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR de la Empresa Regional Aguas del Tequendama”, se tuvo por objetivo desarrollar una propuesta para el aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR de la empresa regional aguas del Tequendama. Para la investigación se recolectó información bibliográfica para obtener la caracterización inicial de la PTAR llamada “Carbonera”, donde los parámetros químicos y microbiológicos se encontraban dentro y fuera, respectivamente, de los valores máximos permisibles según el Decreto N°1287, por lo que los parámetros microbiológicos tenían que pasar por un tratamiento de lodos para ser aprovechados. Para determinar las alternativas de reaprovechamiento (fertilizante orgánico, aprovechamiento energético y material de construcción), se realizó una matriz de selección y simulación de MonteCarlo. Por lo que la alternativa de fertilizante orgánico, dio como resultado con mayor confiabilidad. Esta alternativa se desarrolló mediante una prueba piloto de pilas (1, 2 y 3) con concentraciones de lodos (100 %, 80 %, 60 %) y abono (0 %, 20 %, 40 %) respectivamente; al pasar un mes la pila 3 tuvo mejor comportamiento por encontrarse dentro de los parámetros microbiológicos que establece la norma. Asimismo, se concluyó que la propuesta del tratamiento de lodos residuales como compostaje es viable y rentable.

En la investigación realizada por Sadhwani, Melián y Redondo (36), titulada “Gestión integral de aguas y lodos hacia una economía circular: valorización de lodos de depuradoras”, se trabajó con lodos procedentes de 3

depuradoras de aguas residuales; para el compostaje se utilizó un espacio impermeable y techado en donde emplearon 12 m³ material vegetal triturado procedente de podas de jardín, las pilas fueron montadas con el sistema de capas (alternando lodos y material vegetal) que tiene un tamaño de 1.5 m³ y se realizaron 8 volteos a cada pila; para medir el impacto del compost se utilizaron 3 cultivos: calabacín y 2 tipos de lechuga (romana y hoja de roble) a quienes se le aplicó 15 litros/m² de compost en el terreno de ambos cultivos, se ha mezclado al suelo con laboreo, también se montó un cultivo testigo con las mismas características en el que no se añadió ningún fertilizante durante 3 veces en semana; se tomó la temperatura, anotado las lluvias, así como se regó a la necesidad del cultivo y se realizó un seguimiento de plagas y enfermedades: las pruebas analíticas realizadas confirmaron la higienización en *Salmonella* (ausente en las 3 muestras) y *Escherichia coli* (presencia inferior a lo que marca la norma), concluyendo que la aplicación de residuos de lodo al suelo agrícola aporta beneficios agronómicos, económicos y medioambientales; a nivel agronómico, el elevado contenido en sodio en los lodos iniciales se trasladan al suelo con la aplicación del compost, con lo que este elemento requerirá un seguimiento para evitar la modificación del suelo, igual para metales pesados, por lo tanto, los resultados se pueden considerar válidos para seguir profundizando en esta línea de valorización agrícola de los lodos, sin embargo, parece más oportuno seguir los ensayos en frutales y hortalizas de fruto, dejando de lado las hortalizas de raíz y de hoja.

En la tesis realizada por Cruz (37), titulada “Optimización de lodos de depuración de aguas residuales al abonado o mejora de los suelos”, se tuvo por objetivo evaluar el efecto de la aplicación de lodos residuales procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales acondicionados como biosólido para el abonado de tres cultivos agrícolas. En la investigación se estudiaron las variables de desarrollo de cada cultivo (sandía, tomate y arroz) y la comparación de las características de los suelos que fueron utilizados, con un antes y un después de los ensayos experimentales. Para esto se tuvieron cinco tratamientos, concluyendo que los lodos fueron una fuente de nutrientes para los tres cultivos, a su vez tuvo pequeñas variaciones en los cultivos de acuerdo con los tratamientos a excepción del cultivo de arroz que no fueron estadísticamente significativos

y en todos los casos los suelos mejoraron en la cantidad de nutrientes disponibles.

En el artículo científico realizado por Diocaretz y Vidal (38), titulado “Aspectos técnicos y económicos de procesos de higienización de lodos provenientes del tratamiento de aguas servidas” que tuvo por objetivo realizar la comparación entre los aspectos técnicos y económicos de los procesos de higienización de lodos provenientes del tratamiento de aguas servidas, tomando como referencia el Artículo 7° del Reglamento D.S. 4/2009, donde se consideró 100 t de lodo como base del cálculo, posteriormente se estimaron los costos de inversión y operación, en base a la cantidad y precio de equipos y máquinas; insumos, combustible y electricidad. Finalmente se determinó que el tratamiento alcalino tiene un costo bajo, siendo el que tiene un costo menor, sin embargo, señalan que al momento de seleccionar una tecnología se debe tomar en cuenta la cantidad de lodo a tratar, características del lodo, clima bajo el cual se operará, características del suelo en el cual se aplicará.

En el artículo científico realizado por Torres, Madera y Martínez (39), titulado “Estabilización alcalina de biosólidos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas para aprovechamiento agrícola”, consideran que uno de los limitantes del aprovechamiento agrícola de lodos y biosólidos producidos por la PTAR es su calidad microbiológica y parasitológica. Se evaluó la estabilización alcalina del compost obtenido a partir de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo, Cali, Colombia, utilizando cenizas de calderas de una industria papelera, cal hidratada y cal viva en combinaciones con el compost del 8 %,15 % y 30 % para cal hidratada y de 15 % para cal viva, durante 13 días se monitoreó la temperatura, pH, humedad, coliformes fecales y huevos de helmintos. Los resultados obtenidos mostraron que cal viva y cal hidratada al 15 % lograron elevar el pH a 12 unidades por más de 72 horas y obtener cero huevos de helmintos, lo que no se alcanza con la ceniza. Es recomendable evaluar rangos entre 8 % y 15 % de cal viva y cal hidratada respectivamente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales

Se define a las aguas residuales como la combinación de los residuos líquidos o aguas portadoras de residuos, los cuales provienen de las residencias, instituciones, establecimientos comerciales e industriales; que pueden filtrarse o agregarse a las aguas subterráneas, superficiales y/o pluviales (40).

Además, de acuerdo con Romero (41), las aguas residuales también son denominadas aguas negras, a aquellas que provienen de los inodoros y aguas grises a las provenientes de tinajas, lavamanos, lavadoras y duchas.

Por otro lado, se detallan a continuación las distintas características físicas, químicas y biológicas que componen las aguas residuales.

2.2.1.1. Características físicas

- Color:

Generalmente las aguas residuales presentan un color grisáceo, sin embargo, también podrían cambiar a un color gris oscuro o negro, cuando las aguas desarrollan procesos anaeróbicos producto del mayor tiempo de transporte en las redes de alcantarillado (40).

- Olor:

Producido por los gases (mayormente por la presencia de sulfuro de hidrógeno) que se liberan por el proceso de descomposición de la materia orgánica (40).

- Sólidos:

Podemos encontrar a los sólidos totales, que es la materia que se obtiene luego de someter al agua a un proceso de evaporación, y los sólidos suspendidos que se sedimentan en el fondo durante un periodo de tiempo. Los sólidos presentes en el agua residual generan los lodos o también llamados fangos (40).

- Temperatura:

Tiene influencia sobre el desarrollo de especies acuáticas, la velocidad de reacción en los procesos químicos, cambia la concentración de oxígeno disuelto e influye en la actividad bacterial (40).

- Turbiedad:

Influencia por el contenido de sólidos, el cual disminuye sus propiedades de transmisión de la luz (40).

2.2.1.2. Características químicas

- Materia orgánica:

Conformada por material de origen animal o vegetal y sustancias sintéticas; que forman combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, además también contiene proteínas, hidratos de carbono, grasas y algunas sustancias sintéticas (pesticidas y productos químicos) (40).

- Compuestos orgánicos:

Los compuestos orgánicos llevan en su estructura química al carbono, hidrógeno y oxígeno, y en algunos casos también pueden contener nitrógeno (42).

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):

Es el oxígeno disuelto que consumen los microorganismos durante el proceso de oxidación de la materia orgánica (40). Determinar la concentración de este parámetro es esencial para el diseño y evaluación de la eficiencia de tratamientos biológicos (41).

- Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Viene a ser la cantidad de oxígeno que es oxidable químicamente por la materia orgánica mediante el uso de un agente químico oxidante (41).

- pH:

Es la concentración de ion hidrógeno, que en el valor adecuado permitiría la proliferación y desarrollo de especies biológicas (40).

- Alcalinidad:

Es la capacidad de neutralizar ácidos, es importante para los procesos de remoción biológica de nutrientes, amoníaco y los tratamientos anaeróbicos (41).

- Cloruros:

Suelen presentarse en las aguas residuales por la disolución de suelos y rocas que tiene este tipo de compuesto, también se pueden encontrar en las heces humanas (40).

- Nitrógeno:

Es un elemento esencial para el crecimiento de plantas, durante el tratamiento de aguas residuales se deberá eliminar o reducir la concentración de este elemento dado que podría causar una proliferación de algas causando un proceso de eutrofización (40).

- Fósforo:

Al igual que el nitrógeno, el fosforó permite el crecimiento de algas y otras especies de plantas (40).

- Azufre:

Producido por la síntesis de proteínas, el cual es liberado al ambiente luego de la degradación de estas (40).

- Metales pesados:

Se encuentran generalmente en pocas concentraciones; pero una concentración muy alta de cualquiera de estos elementos no permitirá el posterior reusó de las aguas residuales (40).

- Gases:

Comúnmente se encuentran gases de nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono; sin embargo, debido a la descomposición orgánica también se pueden producir gases como el sulfuro de hidrógeno, amoníaco y metano (40).

- Oxígeno disuelto:

Esencial para la respiración de microorganismos aeróbicos (40).

- Contaminantes emergentes:

Son sustancias químicas sintéticas o naturales que no son detectadas comúnmente en el medio ambiente. Las aguas residuales domésticas generalmente no contienen sustancias peligrosas, pero se observa que el uso de productos farmacéuticos, esteroides, hormonas, cuidado personal, pesticidas, herbicidas, aditivos, plastificantes, agentes tensioactivos, etc. podrían traer consigo efectos en la salud y medio ambiente (43).

2.2.1.3. Características biológicas

- Algas:

Especies que usan los nutrientes y el dióxido de carbono con el fin de abastecer de oxígeno esencial en los procesos aeróbicos. Una proliferación de algas en superficies de agua causaría eutrofización alterando la calidad del agua provocando olores indeseables (41).

- Organismos patógenos:

Conformado por bacterias, virus, protozoos y helmintos, que se encuentran presentes en las aguas residuales debido a que son excretados por el hombre y su presencia en las aguas residuales causan enfermedades del aparato intestinal (40).

2.2.2. Clasificación de las aguas residuales

Las aguas residuales son transportadas por el sistema de alcantarillado, su caudal dependerá del sistema de recogida que se use, y de acuerdo con su tipo de procedencia son clasificadas según se muestra a continuación.

2.2.2.1. Aguas residuales domésticas

Provenientes de las áreas urbanas, comerciales, instituciones y/o similares (40).

2.2.2.2. Aguas residuales municipales

Provenientes del sistema de alcantarillado de una ciudad o población, que son transportados a una planta de tratamiento (41).

2.2.2.3. Aguas residuales industriales

Proceden de áreas industriales (40).

2.2.2.4. Aguas pluviales

Aguas que provienen de la escorrentía superficial (40). Sin embargo, las aguas recolectadas por las lluvias deberían de tener un sistema alcantarillado distinto al alcantarillado de los demás tipos de aguas residuales, vertiéndolo directamente al curso de agua natural sin recibir un tratamiento previo (41).

2.2.3. Tratamiento de aguas residuales

Previo al vertimiento de las aguas residuales sobre los cuerpos de agua (ríos, lagos, etc.) o su posterior reusó, se requiere que pase por operaciones unitarias (procesos físicos) y procesos unitarios (procesos químicos y biológicos), con el fin de eliminar los sólidos suspendidos. Estas operaciones y procesos se agrupan, y dan lugar a los tratamientos preliminares, primarios, secundarios y terciarios (40), los cuales se observan en la siguiente tabla.

Tabla 1. *Métodos y tipos de tratamiento de aguas residuales.*

Métodos de tratamiento	Tipos de tratamiento.	Tratamiento
Operaciones unitarias	Pretratamiento	Cribado
		Desbaste
		Desarenado
		Desagrasado
		Homogenización
		Sedimentación
		Floculación
	Tratamiento primario	Flotación
		Filtración
		Tamizado
		Fosas sépticas
		Tanques Imhoff
		Lodos activados
Procesos unitarios	Tratamiento secundario	Aireación prolongada
		Estabilización por contacto
		Lecho fijo
		Lagunaje con aireación
		Sedimentación
		Osmosis inversa
		Electrocoagulación
	Tratamiento terciario o avanzado	Cloración y ozonización
		Nitrificación y desnitrificación
		Adsorción
		Insolubilización
		Microfiltración

Fuente: elaboración propia.

2.2.3.1. Pretratamiento

Consiste en la eliminación de materiales gruesos que flota sobre la superficie y causan problemas en el procesamiento, mantenimiento y funcionamiento de los tratamientos posteriores (44).

2.2.3.2. Tratamiento primario

Se realiza mediante el uso de las operaciones físicas, con el fin de reducir los sólidos sedimentables y flotantes. Por lo que conlleva a la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, lo

que disminuye la carga bacteriológica del agua residual; además, la prepara para el tratamiento secundario (44).

2.2.3.3. Tratamiento secundario

También denominado tratamiento biológico, consta de procesos químicos y biológicos, con el fin de eliminar o reducir la cantidad de materia orgánica mediante la adición de microorganismos que la consuman (floculación) y con un posterior proceso de sedimentación retira todo el floculo que se ha generado (44).

2.2.3.4. Tratamiento terciario o avanzado

Este tipo de tratamiento se usa para eliminar la cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos que no se hayan eliminado totalmente en el tratamiento secundario. Estos compuestos pueden ser desde simples (tales como el calcio, potasio, nitratos y fosfatos), hasta compuestos sintéticos complejos (44).

2.2.4. Lodos residuales y biosólidos

2.2.4.1. Lodos residuales

El aumento de la población trae consigo un aumento en la demanda de agua que requiere la población, por ende, se generan actualmente un mayor volumen de aguas residuales. Aunque existen diversos tratamientos que se realizan a estas, también se deben plantear estrategias para el reaprovechamiento de los subproductos sólidos, líquidos o semisólidos que se generan como resultado de cada uno de los procesos de tratamiento de las aguas residuales conocidos como “lodos”, que contiene una gran cantidad de materia orgánica, nutrientes, metales, microorganismos y agua; y dado el gran volumen generado se dificulta su disposición final y el costo del tratamiento que demanda, originando la creación de más residuos y la alteración de distintos componentes ambientales (aire, suelo y agua) (42) (45).

A. Tipos de lodos:

Tal y como señala la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (42), el tratamiento de las aguas residuales genera los siguientes tipos de lodos, de acuerdo con el tipo de proceso realizado:

- Lodo crudo: lodo que no ha sido tratado ni estabilizado.
- Lodo primario: proveniente del tratamiento primario y contiene una gran cantidad de materia orgánica, papel, etc.
- Lodo activado: material que resulta del tratamiento de lodos activados, que puede ser bombeado nuevamente al tanque de aireación, y se encuentra en forma de flóculos que contienen biomasa viva y muerta, minerales y compuestos orgánicos.
- Lodo activado de recirculación: también llamado como “lodo activo de retorno”, son flóculos que se sedimentan en el fondo del tanque de aireación.
- Lodo secundario: contiene partículas no hidrolizables y biomasa.
- Lodo terciario: se producen en los tratamientos terciarios con la adición de floculantes.

B. Características de los lodos:

Como señalan Amador-Díaz *et al.* (46), los parámetros evaluados más frecuentes en los lodos son: DQO, DBO, nitrógeno, fósforo, sólidos (totales y suspendidos), pH y coliformes fecales; además, aunque su concentración generalmente no es significativa, se deberá también verificar la concentración de metales pesados, ya que estos poseen una alta toxicidad sobre los seres vivos.

C. Tratamiento de lodos:

Permite degradar de manera controlada la materia orgánica, eliminar el olor, reducir su peso y volumen, eliminar la cantidad de organismos patógenos y mejorar con sus propiedades para su posterior aprovechamiento o disposición (42). El tratamiento de lodos consta de los siguientes procesos:

- **Espesamiento**

Tiene por objetivo reducir el volumen de los lodos mediante procesos físicos, a fin de hacer que el lodo sea más manejable y denso, acondicionando así su almacenamiento para un posterior tratamiento (42). Los métodos más usados para el espesamiento de lodos son por gravedad y flotación (47).

- **Estabilización:**

Intervienen los siguientes procesos físicos, químicos y biológicos, a fin de reducir la fracción biodegradable de lodos para evitar la putrefacción de estos y la atracción de vectores de enfermedades (47). Las técnicas de estabilización de lodos son las siguientes:

- **Digestión anaerobia:**

Consiste en la estabilización, reducción de volumen e inactivación de organismos patógenos; este proceso deberá ser aplicado para los lodos primarios y secundarios, excepto para las plantas que tienen un sistema de aeración prolongada (48). Se lleva a cabo dentro de un recipiente hermético, donde intervienen principalmente bacterias anaeróbicas, para la producción de metano a partir de la digestión de la materia orgánica (42).

- **Digestión aerobia:**

Todo el proceso se realiza en un tanque abierto, donde los lodos se mantienen por un periodo de 15

a 20 días con aireación prolongada, permitiendo el desarrollo de microorganismos aeróbicos, quienes permitirán que las células sobrepasen su tiempo de síntesis y realicen su autooxidación; reduciendo así la cantidad de sólidos suspendidos volátiles (42) (47).

- Estabilización alcalina:

Se realiza la mezcla de lodo con un porcentaje de cal apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) o viva (CaO_2), hasta llegar a un pH arriba de 12 (figura 1).



Figura 1. Estabilización alcalina.

Fuente: Comisión Estatal del Agua de Jalisco (42).

- Tratamiento térmico:

Consiste en la combustión de la materia orgánica del lodo hasta obtener un producto de menor masa, conformada únicamente por cenizas que la constituyen materias minerales (49).

- Acondicionamiento:

Consiste en la adicción de productos químicos (floculantes), lo cual mejora su hidratación facilitando así la eliminación de agua (47).

- Deshidratación

En este proceso se elimina la mayor parte de agua que contienen los lodos, para facilitar su manejo y posterior transporte hacia su disposición final o aprovechamiento (47).

2.2.4.2. Biosólidos

Tal como señala Hurtado (50), “los biosólidos son residuos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos que resultan del tratamiento de aguas residuales procesadas”. Además, recalca que pueden emplearse como insumos para la agricultura y jardinería, debido al alto contenido de nutrientes que promueven el crecimiento de las plantas.

A. Proceso de producción de biosólidos:

Para la producción de biosólidos se necesita que los lodos generados en las plantas de tratamientos de aguas residuales pasen por un proceso de estabilización (figura 2).



Figura 2. Proceso de producción de un biosólido.

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (51).

B. Clasificación de los biosólidos:

De acuerdo con el Reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (9), los biosólidos se clasifican en:

Clase A: aplicados al suelo sin ninguna restricción sanitaria.

Clase B: aplicados en el suelo, pero con alguna restricción sanitaria, de acuerdo con la localización del suelo y/o del tipo de cultivo.

C. Parámetros de estabilización:

Los lodos deberán ser estabilizados y posteriormente clasificados de acuerdo con el Reglamento para el Reaprovechamiento de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (9), si cumplen con los siguientes parámetros de estabilización, toxicidad química e higienización.

Tabla 2. *Parámetros de estabilización.*

Parámetros		Clase A	Clase B
Estabilización	Materia orgánica (SV) $\leq$ 60 % de		
	Materia seca (ST)		
Toxicidad química	Arsénico	40 mg/kg ST	
	Cadmio	40 mg/kg ST	
	Cromo	1200 mg/kg ST	
	Cobre	1500 mg/kg ST	
	Plomo	400 mg/kg ST	
	Mercurio	17 mg/kg ST	
	Níquel	400 mg/kg ST	
	Zinc	2400 mg/kg ST	
Contaminación fecal	<i>Escherichia coli</i> < 100		
	NMP/ 1g ST		
	<i>Salmonella sp.</i> <		
	1NMP / 10g ST		
	Huevos viables de		
Higienización	Helminthos < 1/4g ST		-
	Huevos de helminthos	Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización	

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (9).

2.2.5. Disposición final y aprovechamiento de los lodos

Una vez determinada la clasificación del biosólido, el Reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (9), señala que su reaprovechamiento se podría dar en las siguientes actividades:

- Clase A:
 - Utilización de viveros y su producción de almácigo.
 - Acondicionador de suelos para agricultura, forrajes y pastos, sin embargo, se restringe su uso sobre cultivos que sean de consumo crudo.
 - Mejorador de suelos y áreas urbanas con acceso restringido a la población en un periodo no menos a siete días.
 - Comercialización a empresas productoras de compost, humus u otros.
 - Comercialización en el sector privado que tenga por objeto la producción, comercialización y/o disposición final de biosólidos.
 - Comercialización a empresas operadoras de residuos sólidos.
 - En las áreas que puedan ser aplicadas el biosólido de clase B.
- Clase B:
 - Plantaciones forestales y agrícolas de plantas que sean de tallo alto.
 - Recuperar áreas degradadas que se encuentran ubicadas a 100 metros de distancia de viviendas y pueblos.
 - Reforestación de suelos que se encuentren restringidos el acceso por 30 días luego de la aplicación del biosólido.
 - Cobertura final de rellenos sanitarios, rellenos de seguridad o relaves, a fin de realizar la deforestación o siembra de cultivos.
 - Comercialización a empresas que realicen la transformación de biosólidos de clase B a clase A.
 - Comercialización a empresas operadoras de residuos sólidos.

2.2.6. Marco legal internacional

- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental -lodos y biosólidos-. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Esta norma fue promulgada el 15 de agosto de 2003, con el objetivo de establecer las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes presentes en los lodos y biosólidos, que provienen del sistema de alcantarillado urbano o municipal, plantas de tratamiento de agua potable y plantas de tratamiento de aguas residuales, para su aprovechamiento o disposición final, con el fin de proteger el medio ambiente y la salud de la población (52).

Para el aprovechamiento de los lodos, estos deberán de cumplir con los límites máximos permisibles para metales pesados, patógenos y parásitos, los cuales se detalla a continuación (siguientes tablas).

Tabla 3. *Límites permisibles para metales pesados.*

Parámetros (mg/kg)	Excelente	Buenos
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	300
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

Fuente. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (52).

Tabla 4. *Límites permisibles para patógenos y parásitos.*

Parámetros	A	B	C
Coliformes fecales (NMP/g)	< 1 000	< 1 000	< 2 000 000
<i>Salmonella spp.</i> (NMP/g)	< 3	< 3	< 300
Huevos de helmintos (Huevos/g)	< 1	< 10	< 35

Fuente. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (52).

De acuerdo con los límites permisibles establecidos los lodos o biosólidos se pueden clasificar según lo mostrado en la tabla siguiente.

Tabla 5. *Límites permisibles para metales pesados.*

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	- Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. - Los establecidos en las clases B y C.
Excelente o Bueno	B	- Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación - Los establecidos en la Clase C
Excelente o Bueno	C	- Usos forestales. - Mejoramiento de suelos. - Usos agrícolas.

Fuente. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (52).

2.3. Definición de términos básicos

- Agentes patógenos: conformadas por las bacterias, protozoarios, hongos, virus, huevos de helmintos en lodos y/o biosólidos capaces de provocar enfermedades y epidemias en el ser humano (9).
- Aguas residuales: aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas (53).
- Biosólido: es el subproducto resultante de la estabilización de los lodos que son generados en el tratamiento de aguas residuales. Dado a las características que presenta se permite su reaprovechamiento como acondicionador de suelos (9).
- Economía circular: se basa en considerar todo el ciclo de vida de los bienes y no se limita al consumo definitivo de los recursos (10).
- Estabilización de lodos: proceso que se lleva a cabo a fin de reducir la presencia de patógenos, eliminar olores desagradables y reducir o eliminar su potencial putrefacción (9).
- Germinación: comienzo del desarrollo de una planta desde la semilla (54).
- Higienización: proceso que consiste en la reducción de concentraciones de patógenos e indicadores de contaminación de origen fecal (8).

- Insumo de cultivo: conjunto de elementos que toman parte en la producción de otros bienes, para este caso elementos para el cultivo de especies (11).
- Lodos activados: proceso biológico para el tratamiento de las aguas residuales, el cual permite la remoción de materia orgánica. Consiste en la mezcla y aireación en un tanque o reactor, luego pasa por un proceso de separación mediante la sedimentación y es recirculado dentro del sistema (55).
- Lodos: material sólido que se obtiene después de un proceso de tratamiento de aguas residuales, el cual debe ser analizado a fin de determinar sus características fisicoquímicas, para su posterior clasificación y uso (9).
- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): infraestructura que tienen como fin realizar el proceso de tratamiento de las aguas que contienen desechos domésticos e industriales (55).
- Reaprovechamiento: proceso donde se busca obtener un beneficio del biosólido para otros fines (9).
- Sólidos totales: es la materia seca concentrada en los lodos y/o biosólidos que han sido deshidratados hasta alcanzar su peso constante (9).
- Sólidos Volátiles: son los sólidos orgánicos que se encuentran presentes en los sólidos totales, los cuales se volatilizan cuando una muestra secada se quema en condiciones controladas (9).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método general o teórico de la investigación

El presente estudio tuvo como método general el hipotético-deductivo. Cegarra (56) define como el desarrollo de la hipótesis acerca de posibles soluciones al problema planteado, las mismas que se pueden comprobar con los datos disponibles. Por lo tanto, la recopilación de datos y comparación de los parámetros de lodos tratados de acuerdo con la norma y al ser utilizados experimentalmente en cultivos se constatará la hipótesis planteada.

3.1.2. Método específico de la investigación

Para alcanzar los objetivos planteados, el método específico de la investigación fue experimental (56), definido por explicar determinados comportamientos para conocer sus tendencias, de acuerdo con ello se identifica primeramente los parámetros de los lodos iniciales, los mismos que tendrán un tratamiento con el 20 % y 30 % de cal viva, y posteriormente se someterán a los cultivos el uso de este lodo tratado.

3.1.3. Alcance de la investigación

3.1.3.1. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, según Hernández (57), menciona que Lester define las características para este tipo de investigación, pudiendo ser: evaluadas, comparadas, interpretadas y otros (siendo las mencionadas identificadas para la investigación), respecto a ello se utilizó información existente y estudios previos, los mismos que fueron evaluados y comparados, para después ser interpretados.

3.1.3.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación fue explicativo; según Hernández *et al.* (57) el nivel de investigación determina la relación de causa y efecto en el impacto sobre la variable dependiente, y al aplicar distintos tratamientos a los lodos, se identificó los efectos en los cultivos y se midió la posibilidad de ser reutilizarlos como insumo de cultivo.

Asimismo, los autores citados indican que las investigaciones explicativas son más estructuradas que los estudios con los demás alcances y de hecho implican los propósitos de estos (exploración, descripción y correlación o asociación), además de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno al que hacen referencia (57).

3.2. Diseño de la investigación

El tipo de diseño de la investigación fue experimento puro; según Hernández *et al.* (57) lo definen como la manipulación intencional de variables, teniendo la posibilidad de ser medibles. La investigación estuvo constituida por una parte experimental, en la cual se buscó que la variable independiente influya en la variable dependiente al ser suministrada (a los cultivos) con tratamientos de lodos estabilizados; el mismo que fue tratado con cal viva y estuvo dividido en dos tratamientos (de acuerdo con la evaluación previa de los parámetros de los lodos), de la siguiente manera:

MI: O1→ X1→O2

Donde:

*MI = muestra de investigación inicial.

*O1 y O2 = pruebas antes y después del tratamiento de higienización.

*X1 = aplicación del tratamiento de higienización.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Para identificar la población, fue necesario elegir la PTARD previamente, por lo que se realizó una previa evaluación donde se identificaron las PTARDs disponibles que cuentan con tecnología de agua aceptada por la norma (9) para la estabilización de lodos; los criterios para la elección de la PTARD fueron: facilidad de extracción de lodos, disponibilidad de información y facilidad del transporte (tabla 6). Por lo tanto, la población para este estudio fueron los lodos generados de la PTARD de Manchay, por lo que se consideró la cantidad promedio mensual de lodo generado, del proceso del tratamiento de lodos, siendo 335.790 t/mes, esta cifra fue determinada por la cantidad que ingresa a la centrifuga para su tratamiento; cabe precisar que su salida no es constante, ya que depende del agua que ingresa a la PTARD.

Tabla 6. *Criterios para la selección de la PTARD.*

Valor	Criterios		
	Facilidad de extracción de lodos	Disponibilidad de información	Facilidad del transporte
1	Complejo (*)	No	Difícil
2	Sencillo	Si	Accesible

(*) Se requiere maquinaria pesada para el retiro de lodos

Fuente: elaboración propia.

Luego de la evaluación se determinó que la PTARD de Manchay fue la óptima para realizar el análisis de los lodos, a fin de ser empleados como insumo de cultivos (tabla 7).

Tabla 7. *Evaluación de la PTARD.*

PTARD	Facilidad de extracción de lodos	Disponibilidad de Información	Facilidad del transporte	Total
Cieneguilla	1	2	1	4
Manchay	2	2	2	6
J.C. Tello	1	2	1	4
San Pedro de Lurin	1	1	1	3

Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Muestra

Se tomó una muestra no probabilística; Hernández *et al.* (57) indican que desde la visión cuantitativa no se requiere una representatividad de elementos de una población, más bien una cuidadosa y controlada elección, por conveniencia, debido a que se nos entregaron aproximadamente 30 kilos de lodos de la PTARD de Manchay.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

La obtención de datos se realizó mediante el análisis en laboratorio, de la concentración de los parámetros químicos (fósforo, potasio, nitrógeno, amoniaco, nitrito y nitrato) y biológicos (*E. coli*, *Salmonella sp.* y huevos de helmintos) de los lodos higienizados

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

a. Equipos y materiales:

- Cal viva.
- Termómetro.
- Tiras reactivas.
- Balanza.
- Pala.

Para el envío de las muestras, se tomaron con los siguientes materiales:

- Cooler.
- Icepack.

Tabla 8. *Tipo de envases.*

Parámetro	Tipo de Envase	Tamaño de muestra
<i>E. coli</i>	Plástico, estéril	500 ml
Huevos de helminto	Plástico, estéril	500 ml
Nitrógeno	Bolsa ziploc 5*7	500 g
Fosforo	Bolsa ziploc 5*7	500 g

Fuente: elaboración propia tomando como referencia el R.M. 093-2018.

b. Para la toma de datos:

- Tiras reactivas.
- Cadenas de custodia del monitoreo.
- Cámara digital.

c. Para procesar datos

- Informes de ensayo de laboratorio.
- Procesador - laptop.
- Microsoft Excel.

3.5. Procedimiento

3.5.1. Procesos, disposición y clasificación de los lodos de la PTARD de Manchay

a) Identificación de los procesos y actual disposición final de los lodos:

Esta actividad consistió en la recopilación y revisión de información del área de estudio proporcionada por la PTARD de Manchay, con el fin de reconocer e identificar los procesos de tratamiento y tecnología de tratamiento aplicada en esta PTARD, además, de la actual disposición final de los lodos generados.

b) Informe de Ensayo preliminar de los lodos:

Se analizó el Informe de Ensayo preliminar de los lodos, realizando un diagnóstico previo al tratamiento de higienización.

c) Higienización de los lodos:

Como menciona Metcalf & Eddy (40), la estabilización de los lodos se consigue mediante tratamientos como: la digestión aerobia o anaerobia, la estabilización alcalina o el compostaje. Para el presente estudio, al identificar el tipo de tratamiento de lodos, se realizó una tabla de decisión (tabla 9) siendo los siguientes tratamientos evaluados: compostaje térmico, secado térmico o solar, digestión anaeróbica y tratamiento alcalino. Acorde a ello, se consideraron los siguientes criterios de selección: inversión, tiempo de tratamiento y área requerida, con puntaje de 1 a 3, siendo este último el más alto.

Tabla 9. *Criterios para la selección del tipo de tratamiento.*

Valor	Criterios		
	Inversión para 1 t	Tiempo de higienización	Área disponible
3	S/ 100 - 200	1 - 2 semanas	10 - 20 m ²
2	S/ 200 - 500	1 - 2 meses	20 - 50 m ²
1	+ S/ 500 S	+ 2 meses	+ 50 m ²

Fuente: elaboración propia.

Una vez identificados los criterios, se procedió a la evaluación de cada opción de tratamiento para los lodos (tabla 10). Dado este análisis se optó por realizar el tratamiento alcalino para la higienización de lodos.

Tabla 10. *Tabla de decisión del tratamiento de lodos.*

Variables	Tipos de tratamiento de higienización			
	Compostaje térmico	Secado térmico o solar	Digestión anaeróbica termo física	Tratamiento alcalino
Tiempo de Higienización	1	3	3	3
Inversión	2	1	2	3
Área disponible	2	2	2	3
Total	5	6	7	9

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, en la norma (9) se establece que el tiempo mínimo en el tratamiento alcalino es de 7 días con un pH mínimo de 12 y para identificar la cantidad de cal, Machado (19) recomienda el 20 % de cal

viva, asimismo Torres (39) recomienda el 20 % y 40 % con un lodo deshidratado por 7 días; se consideraron estas investigaciones por dar buenos resultados.

Por lo tanto, se utilizaron lodos deshidratados al ambiente por 7 días, los mismos que fueron tratados con cal viva al 20 % y 30 %, durante 7 días y con un pH mínimo de 12 como se visualiza en la figura 3.

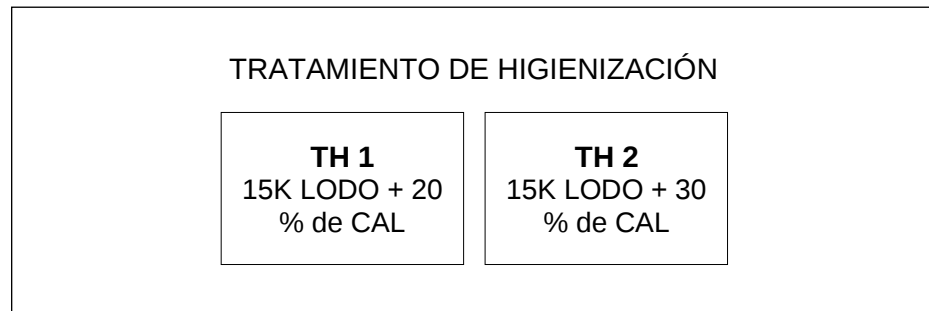


Figura 3. Tratamiento de higienización

Fuente: elaboración propia.

d) Análisis químicos y biológicos de los lodos:

Una vez que finalizó el tiempo de tratamiento, se realizó el análisis de los lodos tratados en el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L., determinando la concentración de los parámetros químicos (fósforo, potasio, nitrógeno, amoníaco, nitrito y nitrato) y biológicos (*E. coli*, *Salmonella sp.* y huevos de helmintos), siendo los métodos de ensayo para cada parámetro los que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 11. *Métodos de referencia.*

Parámetro	Parámetro	Método de ensayo
Biológico	<i>E. Coli</i>	SMEWW 9221 F.2, 23 rd Ed. 2017
	<i>Salmonella sp.</i>	Norma Oficial Mexicana. NOM-004-SEMARNAT-2002
	Huevos de helmintos	NOM-004-SEMARNAT-2002
Químico	Metales totales	EPA Method 3050B - Rev.2 / EPA Method 200.7 – Rev. 4.4.
	Nitrógeno	NOM-021-AS 08/SMWEE Part 4500 NH3 D. 4500NO2B, 4500NO3 E

Fuente: elaboración propia, tomando como referencia el R.M. 093-2018.

e) Clasificación de los lodos:

La clasificación de los lodos, se realizó comparando los resultados obtenidos de laboratorio con los rangos establecidos por el D.S. N° 015-2017-VIVIENDA y la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. En la siguiente tabla se detallan los rangos establecidos para los parámetros químicos y biológicos.

Tabla 12. *Criterios para la selección de cultivos.*

Parámetros		Contaminación fecal		Huevos de helmintos
		<i>E. coli</i>	<i>Salmonella</i> sp.	
D.S. N° 015-2017-VIVIENDA	A	< 100 NMP/ 1g ST	< 1 NMP / 10g ST	< 1 huevos/4g ST
	B		-	
NOM-004-SEMARNAT-2002	A	< 1 000 NMP/g	<3 NMP/g	<1 (huevos/g)
	B	< 1 000 NMP/g	<3 NMP/g	<10 (huevos/g)
	C	< 2 000 000 NMP/g	<300 NMP/g	<35 (huevos/g)

Fuente: elaboración propia.

Se realizó una segunda clasificación de la clase con dos categorías (A y B) para la normativa peruana y tres categorías (A, B o C) para la norma mexicana, de acuerdo con su calidad química y biológica, además de determinar el posible aprovechamiento de lodos en base a la clasificación dada previamente, el cual se detalla en la tabla 13.

Tabla 13. *Aprovechamiento de lodos.*

Norma	Clase	Tipo	Aprovechamiento
D.S. N° 015-2017-VIVIENDA	A	-	Utilización de viveros, producción de compost, acondicionador de suelos, sin embargo, se restringe su uso sobre cultivos que sean de consumo crudo. En las áreas que puedan ser aplicadas el biosólido de clase B.
	B	-	Plantaciones forestales y agrícolas de plantas que sean de tallo alto, recuperar áreas degradadas, reforestación, cobertura final de rellenos sanitarios, seguridad o relaves, comercialización a empresas que realicen la

Norma	Clase	Tipo	Aprovechamiento
NOM-004- SEMARNAT- 2002	A	Excelente	transformación de biosólidos de clase B a clase A.
			Usos urbanos con contacto directo y los establecidos en las clases B y C
	B	Excelente o Bueno	Usos urbanos sin contacto directo y los establecidos en la clase C
			Uso agrícola, forestal y como mejorador de suelos

Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Comportamiento de los cultivos en la etapa de germinación empleando los lodos higienizados

a) Selección de cultivos:

Posteriormente a la experimentación de higienización de lodos, se realizó la tabla de decisión para identificar los cultivos a sembrar (tabla 14), teniendo en cuenta que no deben ser de consumo directo de acuerdo con la norma (9).

Tabla 14. *Criterios para la selección de cultivos.*

Valor	Criterios			
	Tiempo de crecimiento	Frecuencia de riego	Tipo de suelo que requiere	Clima
3	7 - 10 días	Semanalmente	Arenoso	-
2	1 - 2 semanas	Interdiario	Salino	Húmedo
1	+ 2 semanas	Diario	Turba	Seco

Fuente: elaboración propia.

Como resultado del análisis (tabla 15), se determinó que los cultivos a evaluar hasta su etapa de germinación son la beterraga y zanahoria.

Tabla 15. *Tabla de decisión para la selección del tipo de cultivo.*

Criterios	Cultivos			
	Beterraga	Zanahoria	Ajo	Jengibre
Tiempo de crecimiento	3	3	2	2
Riego	1	1	2	1
Clima	2	2	1	1
Suelo	3	2	1	1
TOTAL	9	8	6	5

Fuente: elaboración propia.

b) Tratamiento de los cultivos:

Cada tratamiento para la evaluación de la germinación de los cultivos seleccionados consta de un porcentaje del lodo higienizado y tierra del lugar, por lo que se obtuvieron los siguientes tratamientos (figura 4 y 5).

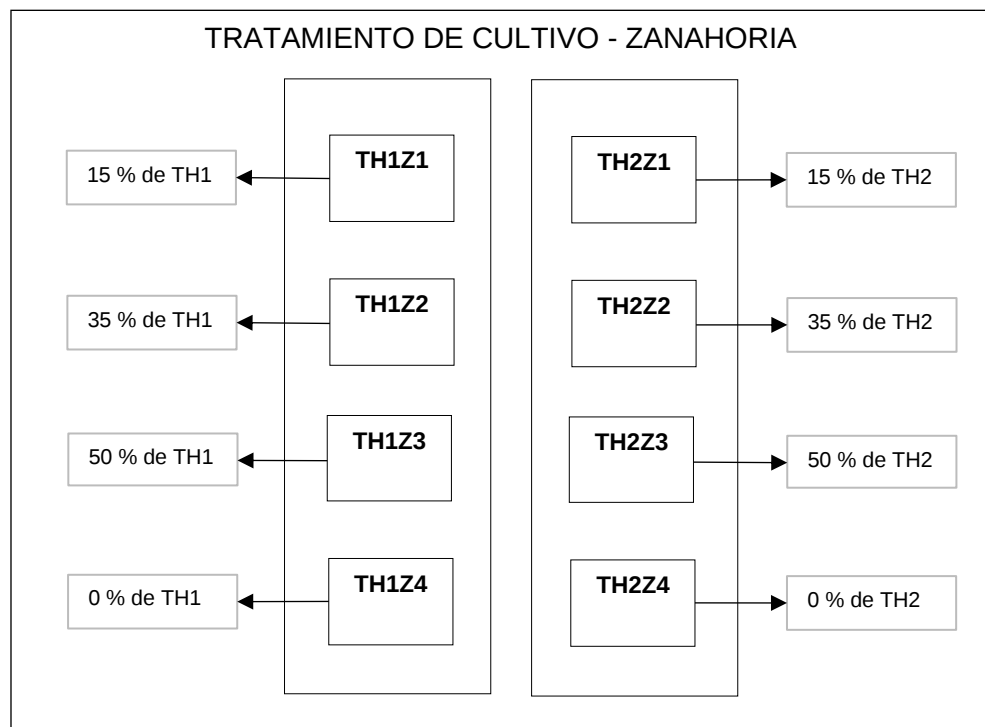


Figura 4. Tratamiento de cultivo de zanahoria.

Fuente: elaboración propia.

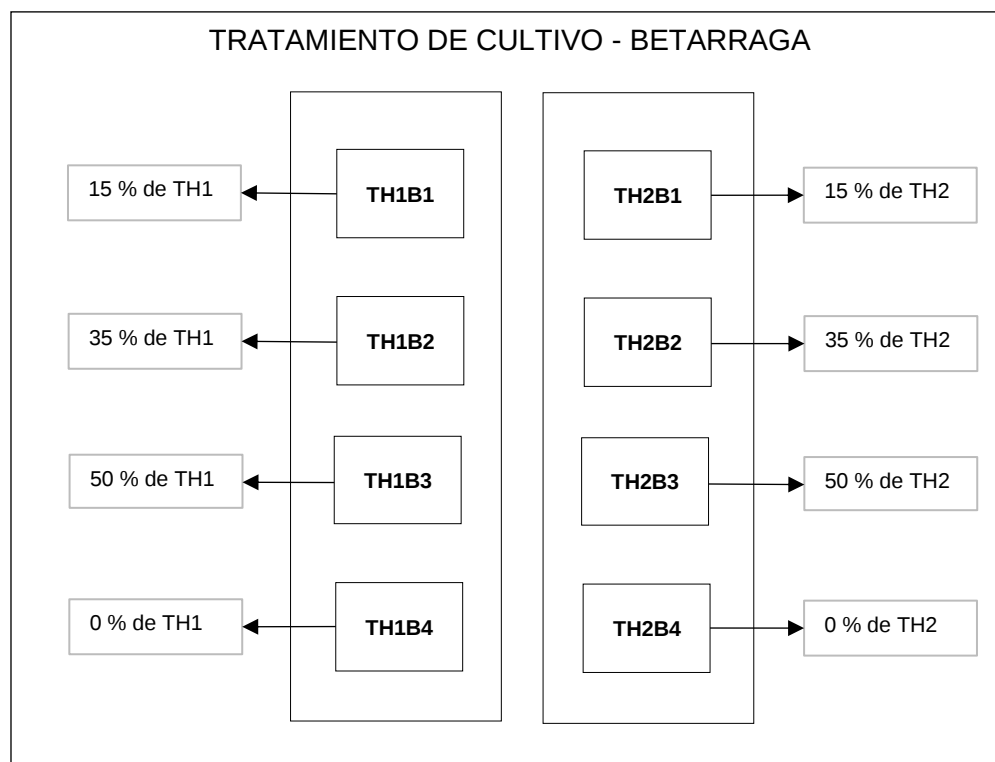


Figura 5. Tratamiento de cultivo de betarraga.

Fuente: elaboración propia.

Los cultivos fueron analizados hasta su etapa de germinación, para ello se empleó la escala extendida BBCH, un sistema desarrollado por el grupo de trabajo conformado por el Centro Federal de Investigaciones Biológicas para la Agricultura y Silvicultura, el Instituto Federal de Variedades, la Asociación Alemana de Agroquímicos y el Instituto para la Horticultura y Floricultura, todas estas organizaciones pertenecientes al país de Alemania que establece una codificación uniforme para los estadios fenológicos de las plantas mono y dicotiledóneas (58). Para el estudio se tomó la codificación del estadio 0 (Germinación), el cual para los cultivos de la zanahoria y betarraga señala lo detallado en las tablas 16 y 17 respectivamente.

Tabla 16. *Escala extendida BBCH para la etapa de germinación de la zanahoria.*

Estadio principal 0: Germinación	
00	Semilla seca
01	Comienzo de la imbibición de la semilla
03	Imbibición completa

05	La radícula emerge de la semilla
07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal
09	Emergencia: los cotiledones sales a la superficie del suelo

Fuente: Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono y dicotiledóneas cultivadas, Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura Y Silvicultura (58).

Tabla 17. *Escala extendida BBCH para la etapa de germinación de la betarraja.*

Estadio principal 0: Germinación	
00	Semilla seca
01	Comienzo de la imbibición; las semillas comienzan a absorber agua
03	Imbibición de la semilla terminada; el glomérulo empieza a cuartearse
05	La radícula emerge (raíz embrional) de la semilla (glomérulo)
07	Brote fuera de la semilla (glomérulo)
09	Emergencia: el brote traspasa la superficie del suelo

Fuente: Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono y dicotiledóneas cultivadas, Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura Y Silvicultura (58).

c) Prueba estadística:

Para identificar el tipo de prueba estadística a aplicar se establecieron los criterios para la selección de la prueba estadística (tabla 18), tomando en cuenta los datos obtenidos de cada indicador evaluado antes y después del proceso de higienización, contrastados con las siguientes normas D.S. N° 015-2017-VIVIENDA y la Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, además se tomó de referencia la tesis de Huacanca (18), para la elección de nuestra prueba estadística.

Tabla 18. *Criterios para la selección de la prueba estadística.*

Valor	Criterios			
	Cantidad de datos	Cantidad de Tratamientos o grupos	Variables	Tipo de datos
3	+ 3 datos	3 a más T o G	Mixto	Cuantitativos y cualitativos
2	2 datos	2 T o G	Relacionadas	Cuantitativos
1	1 dato	1 T o G	Independientes	Cualitativos

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se realizó la evaluación en base a los criterios definidos y se determinó que la prueba estadística a aplicar fue ANOVA de un factor, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 19. *Tabla de decisión para la selección de la prueba estadística.*

Criterios	Prueba estadística		
	ANOVA de un factor	T de student	Chi cuadrada
Cantidad de datos	3	3	3
Cantidad de T o G	3	2	3
Variables	2	1	1
Tipo de datos	2	2	2
Total	10	8	9

Fuente: elaboración propia.

3.5.3. Relación costo/beneficio de la higienización y disposición final de los lodos

Con respecto al análisis costo/beneficio, se realizó en base a lo desarrollado por Calderón (21), realizando lo siguiente:

Primero: se tomó como referencia el costo de la EO-RS por el traslado y disposición final de lodos.

Segundo: se estableció el promedio de la cantidad de lodos generados mensualmente en (t). Para ello, se proporcionaron los datos desde enero a julio del 2021.

Tercero: una vez que se estableció el costo por el traslado y cantidad generada de lodos, se calculó el costo total por el transporte y disposición final de lodos en soles (S/).

Cuarto: luego, se calculó el costo que llevaría el reusó de los lodos mediante el tratamiento de higienización con cal.

Quinto: finalmente, se realizó la comparación de los costos por la disposición mediante una EO-RS y el costo por el tratamiento de estos mediante la higienización con cal.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.

4.1.1. Procesos, disposición y clasificación de los lodos de la PTARD de Manchay.

4.1.1.1. Identificación de los procesos y actual disposición final de los lodos

En este ítem se abarca los componentes y fases operativas de la PTARD de Manchay, dando a conocer las actividades que se realizan en cada una de ellas.

La PTARD Manchay cuenta con 3.3 hectáreas, donde el tipo de aguas de ingreso son domésticas provenientes de seis colectores del distrito de Pachacamac, contando con un caudal de diseño de 60 l/s y teniendo un caudal actual de 56.12 l/s con un sistema de tratamiento de lodos activados - secuencial.

Teniendo los siguientes procesos de tratamiento:

- Tratamiento preliminar:

La estructura de tratamiento preliminar consta de un desripiado, desbaste grueso, sistema de desbaste fino de limpieza automática, sistema desarenador de limpieza automática y sistema desengrasador (tabla 20, figuras 6 y 7).

Tabla 20. *Unidades del pretratamiento.*

Fases	Proceso y/o actividades	Componentes de la PTAR
Tratamiento preliminar	Retención de los sólidos gruesos (piedras, palos, etc.). Aquí se retienen los sólidos gruesos y mediante un rastrillo se extraen de forma manual para su disposición.	Poza de desripiado
		Rejas gruesas de 2 cm
	Retención de sólidos finos, donde se realiza el filtrado de	Tamiz rotatorio de limpieza automática de 6mm

Fases	Proceso y/o actividades	Componentes de la PTAR
	sólidos, elevación, compactación y deshidratación de lo filtrado. Reduciéndose el volumen de (40 - 50 %).	
	Retención de sólidos sedimentales(arenas) hasta con una separación de 90 % de arenas con mayor a 0.2 mm).	Tanque desarenador de limpieza automática
	Separación mecánica de grasas y materiales de suspensión.	Desengrasador

Fuente: elaboración propia en base a lo propuesto por SEDAPAL.



Figura 6. Inicio del tratamiento de agua - tratamiento preliminar.

Fuente: propia.



Figura 7. Tamiz rotatorio.

Fuente: propia.

- Tratamiento secundario:

El sistema de tratamiento secundario o biológico se desarrolla mediante el Sistema de Aireación Extendida por Ciclo Intermitente (ICEAS). Este tratamiento dura aproximadamente 8 horas (tabla 21, figura 8).

Tabla 21. Unidades de tratamiento secundario.

Fases	Proceso y/o actividades	Componentes de la PTAR
Tratamiento Biológico	Permite regular sobrecargas de flujo.	
	En este sistema cuenta con dos compartimientos.	Tanques de aireación (ICEAS)
	• Pre-reacción: Recibe flujo continuo.	Tanques de compensación de caudal
	• Reacción: Se realiza la inyección de aire por sopladores centrífugos.	

-
- Sedimentación: al detenerse la agitación, permite que los sólidos se sedimenten hacia el fondo.
 - Decantación: El decanter gira para descargar las aguas residuales clarificadas.
 - Ecualizador: Regula el caudal para el bombeo al filtro de arena.
-

Fuente: elaboración propia en base a lo propuesto por SEDAPAL.



Figura 8. Tratamiento secundario.

Fuente: propia.

- Tratamiento de lodos:

Esta etapa inicia con el bombeo de lodos del ICEAS, por medio de bombas sumergibles, pasando por el espesador de lodos, tanque de aireador de lodos y decantador centrífugo (tabla 22 y figura 9).

Tabla 22. Unidades de Tratamiento del Tratamiento de Lodos.

Fases	Proceso y/o actividades	Componentes de la PTAR
Tratamiento de lodos	Obtención de lodos con mayor concentración.	Espesadores de lodos
	Homogeneizar las variaciones de contracción y volumen de lodo, mediante sopladores.	Almacenamiento aireado de lodos
	Deshidratación por un decantador centrífugo. En este proceso de polímeros para lograr una deshidratación mayor.	Deshidratadores de lodos
	Generando dos tipos de descarga, la fase líquida que retorna al tanque ICEAS y el lodo deshidratado hacia la loza de secado.	
Disposición	Asegurar un secado de los lodos.	Lozas de secado
final	Encapsulamiento de los lodos.	Disposición final en relleno sanitario

Fuente: elaboración propia en base a lo propuesto por SEDAPAL.



Figura 9. Aireador de lodos.

Fuente: propia.

- Tratamiento terciario:

Esta etapa inicia después del tratamiento secundario, donde el agua ingresa por filtros de arena y por una cámara de cloración (tabla 23 y figura 10).

Tabla 23. *Unidades de tratamiento terciario.*

Fases	Proceso y/o actividades	Componentes de la PTAR
Filtración	Retención de parásitos y huevos de helminto, cuenta con una etapa de filtración de 20 micrones, con tres filtros de arena.	Filtros Leopold
Desinfección	Desinfección para la eliminación de los coliformes, durante 30 minutos.	Sistema de cloración
Disposición final	Vertimiento de aguas residuales tratadas.	Descarga del efluente final al río Lurín

Fuente: elaboración propia en base a lo propuesto por SEDAPAL.



Figura 10. Zona de almacenamiento del cloro gaseoso.

Fuente: propia.

En la figura 11 se muestra el diagrama del sistema de tratamiento de la PTARD Manchay.

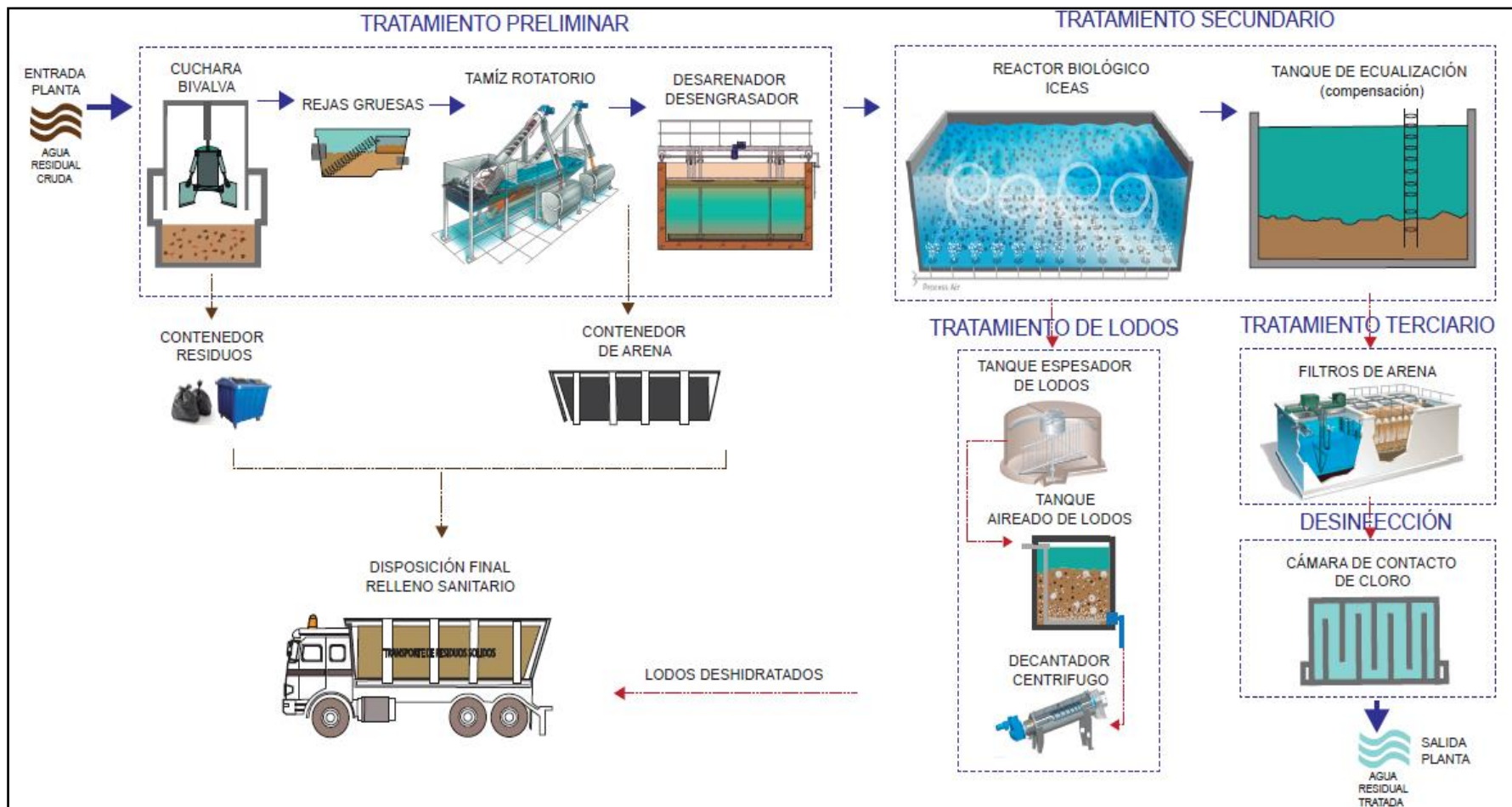


Figura 11. Tecnología de la PTARD Manchay.

Fuente: SEDAPAL.

A continuación, también se identifica la disposición del producto final que llega a ser el agua tratada y los subproductos que son los residuos sólidos, lodos, arenas y grasas.

- **Producto final:**

El agua tratada (efluente) es vertida hacia el cuerpo receptor (río Lurín), cabe precisar que los parámetros medidos en el efluente, antes de ser vertido se encuentran dentro del rango que señala el D.S. 003-2010-VIVIENDA.

- **Subproductos finales:**

Tabla 24. *Descripción de los subproductos.*

Subproductos	Descripción
Lodos	La extracción de lodos se da en el último proceso del tratamiento; es decir, en el deshidratador de lodos. Aquí se encuentran los recipientes especiales que serán llevados por una EO-RS a un relleno sanitario.
Residuos sólidos y flotantes	Se generan en los procesos del tratamiento preliminar, es decir, durante la utilización de la cuchara bivalva, en las rejillas gruesas, en las rejillas medianas y en las rejillas finas. Los que serán llevados por una EO-RS a un relleno sanitario.
Arenas	Se genera en los desarenadores, asimismo serán llevados por una EO-RS a un relleno sanitario.

Fuente: elaboración propia en base a lo propuesto por SEDAPAL.

En la figura 12 se muestra el diagrama de procesos indicando la disposición final del producto y subproductos.

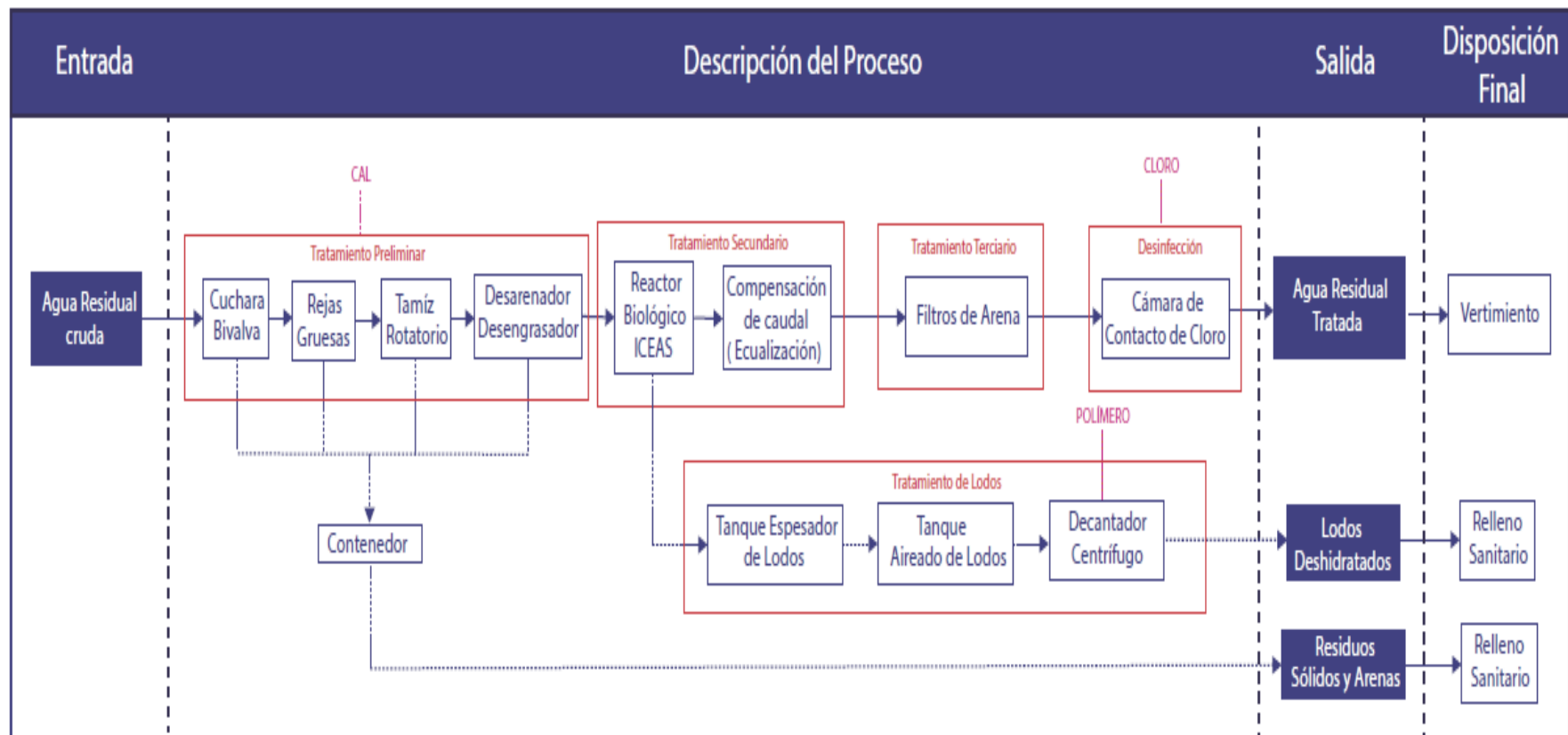


Figura 12. Diagrama de disposición final de los residuos generados en la PTARD Manchay.

Fuente: SEDAPAL.

4.1.1.2. Informe de Ensayo preliminar de los lodos

A continuación, se detalla los resultados previos al tratamiento de los lodos, de acuerdo con el Informe de Ensayo N° MA2113703, realizado del 12 al 21 de mayo del 2021 por el laboratorio SGS del Perú S.A.C.

- **Parámetro de estabilización**

Respecto a este parámetro es necesario medir la concentración orgánica inicial (Tabla 25), donde el D.S. N° 015-2017-VIVIENDA brinda un 60 % de concentración de materia orgánica, por lo que nuestros resultados iniciales correspondieron a un 418 %, siendo una cifra elevada respecto a la normativa (tabla 26), por lo tanto, no se cumpliría con lo establecido por ser mayor a lo requerido.

Tabla 25. *Parámetros físicos.*

Parámetro físico	Unidad	Concentración
Sólidos totales	mg/kg	173 031
Sólidos volátiles	mg/kg	723 285
Concentración de materia orgánica	%	418

Fuente: cotejo propio del Informe de Ensayo N° MA2113703.

Tabla 26. *Estabilización de lodos.*

Concentración de materia orgánica	
D.S. N° 015-2017-VIVIENDA	Informe de Ensayo N° MA2113703
Materia orgánica (SV) <= 60 % de Materia seca (ST)	418 %

Fuente: cotejo propio del Informe de Ensayo N° MA2113703 / D.S. N° 015-2017-VIVIENDA.

Respecto a la Norma Peruana D.S. N°015-2017-VIVIENDA, menciona textualmente: “en caso de no aplicar las tecnologías indicadas en el Anexo I o no obtener el valor de estabilización indicado en los anexos, el lodo resultante del

proceso empleado no puede ser calificado como biosólido de Clase A ni de Clase B”.

Ahora bien, en dicho anexo nos brinda un listado de tecnologías que permitirán cumplir con lo indicado, siendo entre ellas: “Proceso de tratamiento de aguas residuales con tiempo prolongado de permanencia de lodo en ambiente aerobio: lodos activados por aireación extendida, filtro percolador con recirculación del efluente”, indicando que si pertenecen a esta tecnología se considera estabilizado sin necesidad de comprobar la relación SV a ST, por lo que la PTARD Manchay tiene una tecnología de lodos activados secuencial, en el cual se tendría que consultar a la entidad supervisora.

- **Parámetros químicos**

Los resultados de los análisis de los parámetros químicos de los lodos provenientes de la PTARD de Manchay, según el Informe de Ensayo N° MA2113703, se encuentran dentro de los parámetros establecidos de la norma Peruana D.S. N° 015-2017-VIVIENDA (tabla 27).

Tabla 27. *Parámetros químicos.*

Parámetros químicos	Unidad	D.S. N° 015-2017-VIVIENDA	Informe de Ensayo N° MA2113703
Arsénico	mg/kg	40	4.803
Cadmio	mg/kg	40	1.025
Cromo	mg/kg	1200	28.896
Cobre	mg/kg	1500	104.156
Plomo	mg/kg	400	29.954
Mercurio	mg/kg	17	7.1550
Níquel	mg/kg	400	9.394
Zinc	mg/kg	2400	494.839

Fuente: cotejo propio del Informe de Ensayo N° MA2113703 / D.S. N° 015-2017-VIVIENDA.

- Parámetros biológicos

Para la medida de los parámetros biológicos, inicialmente se realizó una comparación de la norma peruana D.S. N° 015-2017-VIVIENDA con los resultados del Informe de Ensayo N° MA2113703 (tabla 28), donde se identifica que el parámetro de *Salmonella* para la Clase A se encuentra elevado.

Tabla 28. *Parámetros biológicos antes del tratamiento.*

Parámetro	Unidad	D.S. N° 015-2017-VIVIENDA		I.E. N° MA2113703
		A	B	
<i>E. coli</i>	NMP/1g	< 1000		7.7*
<i>Salmonella</i>	NMP/10gST	< 1	-	< 2.2355*
Huevos de helmintos	Huevos/4gS T	< 1		0*

Fuente: cotejo propio del Informe de Ensayo N° MA2113703 / D.S. N° 015-2017-VIVIENDA.

4.1.1.3. Análisis químicos y biológicos de los lodos

- Análisis químico

En la tabla 29, se visualiza los resultados obtenidos de los parámetros químicos analizados de los dos tratamientos a los lodos de la PTARD de Manchay.

Tabla 29. *Parámetros químicos del lodo tratado.*

Parámetro químico	Unidad	Tratamiento	
		Lodo + 20 % cal	Lodo + 30 % cal
Fósforo	mg/kg	16 996.89	15 360.15
Potasio	mg/kg	4 648.99	3 925.42
Nitrógeno orgánico	mg/kg	< 1.25	< 1.25
Materia orgánica	%	8.9	8.9

Fuente: cotejo del Informe de Ensayo N° MA2113703 y de los Informes de Ensayo N° IE-21-11063 y IE-21-11064.

Se realiza en la tabla 30, la comparación de los valores obtenidos con los valores propuestos por Gilsanz *et al.* (59).

Tabla 30. *Parámetros químicos del lodo tratado.*

Parámetro químico	Unidad	Tratamiento		Gilsanz et al.
		Lodo + 20	Lodo + 30	
		% cal	% cal	
Fósforo	%	1.70	1.54	0.0575
Potasio	mg/kg	4648.99	3925.42	3284.4
Nitrógeno orgánico	%	0.00013	0.00013	1.24

Fuente: cotejo del Informe de Ensayo N° MA2113703 y de los Informes de Ensayo N° IE-21-11063 y IE-21-11064.

De los resultados mostrados en la tabla anterior se obtiene que los valores del fosforo y potasio superan al valor propuesto por el autor y el valor del nitrógeno orgánico se encuentra por debajo del valor propuesto por Gilsanz et al. Sin embargo, como indica el autor, la aplicación de los lodos no afectan negativamente las propiedades químicas del suelo, por el contrario, favorece su calidad.

- Análisis biológico

En las siguientes tablas se visualizarán los resultados del análisis en laboratorio después del tratamiento con cal viva al 20 % y 30 % de los parámetros biológicos a los lodos provenientes de la PTARD de Manchay.

Tabla 31. *Parámetros biológicos - Normativa nacional.*

Parámetro	Unidad	D.S. N° 015-2017-VIVIENDA		Lodo + 20 % cal	Lodo + 30 % cal
		A	B		
<i>E. coli</i>	NMP/1g	< 1 000		700	11
<i>Salmonella</i>	NMP/10gST	< 1	-	< 3*	< 3*
Huevos de helmintos	Huevos/4gST	< 1		10	< 1*

*La concentración es el límite de detección del método.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la tabla 31 muestran que el lodo tratado con el 20 % de cal viva tiene altas concentraciones de *E. coli* y huevos de helmintos, encontrándose fuera del rango de la Normativa Peruana D.S. N° 015-2017-VIVIENDA, en comparación con los lodos aplicados con el 30 % de cal viva,

que se encuentran dentro del rango de la Normativa Peruana D.S. N° 015-2017-VIVIENDA para la Clase A; cabe precisar que el parámetro de *Salmonella* se encuentra en el límite de detección del método.

Tabla 32. *Parámetros biológicos - Normativa internacional.*

Parámetro	Unidad	NOM-004-SEMARNAT-2002			Lodo + 20 % cal	Lodo + 30 % cal
		A	B	C		
<i>E. coli</i>	NMP/g	<1000	<1000	<2000000	700	11
<i>Salmonella</i>	NMP/g	<3	<3	<300	<0.3*	<0.3*
Huevos de helmintos	Huevos/g	<1	<10	<35	2.5	<0.25*

*La concentración es el límite de detección del método.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la tabla 32, muestran que el lodo tratado con el 20 % de cal viva excede la concentración de huevos de helmintos para la Clase A, encontrándose fuera del rango de la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, a diferencia de los lodos aplicados con el 30 % de cal viva, que se encuentran dentro del rango de la Normativa Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 para todas las clases.

4.1.1.4. Clasificación de los lodos de acuerdo con la normativa Nacional y Mexicana

Para la clasificación de lodos, nos basamos en la Norma Peruana D.S. N° 015-2017-VIVIENDA y NOM-004-SEMARNAT-2002, donde de acuerdo con la clase se determina su posible aprovechamiento.

Tabla 33. *Clasificación de los lodos higienizados.*

Tratamiento	D.S. N° 015-2017-VIVIENDA		NOM-004-SEMARNAT-2002		
	A	B	A	B	C
Lodo + 20 % cal	-	X	-	X	X
Lodo + 30 % cal	X	-	X	-	-

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 33 se muestran los resultados de la clasificación de los lodos, determinando que los lodos con el 30 % de cal son clasificados como de Clase A tanto para la norma nacional como la mexicana, siendo así que el lodo tratado puede ser empleado para cultivos que no sean de consumo crudo, además, como acondicionador de suelos, en la producción de compost, plantaciones forestales y agrícolas, recuperar áreas degradadas, y como cobertura de rellenos sanitarios, de seguridad o relaves.

4.1.2. Comportamiento de los cultivos en la etapa de germinación

Luego de determinar el lodo que puede ser empleado como insumo de cultivo, se inició al proceso de germinación de la zanahoria y betarraga. Para ello, cada tratamiento y cultivo fue sembrado en recipientes de 5.5 cm de diámetro por 6 cm de altura.

4.1.2.1. Zanahoria

La siembra fue realizada el 01 de septiembre de 2021, luego se realizó el seguimiento diario desde la siembra hasta la germinación de la semilla de zanahoria; a continuación se detallan los resultados obtenidos por cada tratamiento.

- Placebo

Los valores presentados en la tabla 34, indican que las semillas plantadas como placebo, llegaron hasta la etapa de germinación en un periodo de 22 días, siendo los estadios 1, 5 y 7 los de mayor tiempo de duración.

Tabla 34. *Proceso de germinación de la zanahoria (placebo).*

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
01/09	00	Semilla seca	22
02/09	00	Semilla seca	
03/09	00	Semilla seca	
04/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
05/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
06/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
07/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
08/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
09/09	03	Imbibición completa	
10/09	03	Imbibición completa	
11/09	03	Imbibición completa	
12/09	05	La radícula emerge de la semilla	
13/09	05	La radícula emerge de la semilla	
14/09	05	La radícula emerge de la semilla	
15/09	05	La radícula emerge de la semilla	
16/09	05	La radícula emerge de la semilla	
17/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
18/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
19/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
20/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
21/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
22/09	09	Emergencia	

Fuente: elaboración propia.

En la figura 13 se muestra que la radícula de la semilla sembrada en el placebo emergió entre el 12 y 16 de septiembre (estadio 5), luego se observó que la zanahoria llegó al estadio de emergencia el 22 de septiembre (estadio 9).

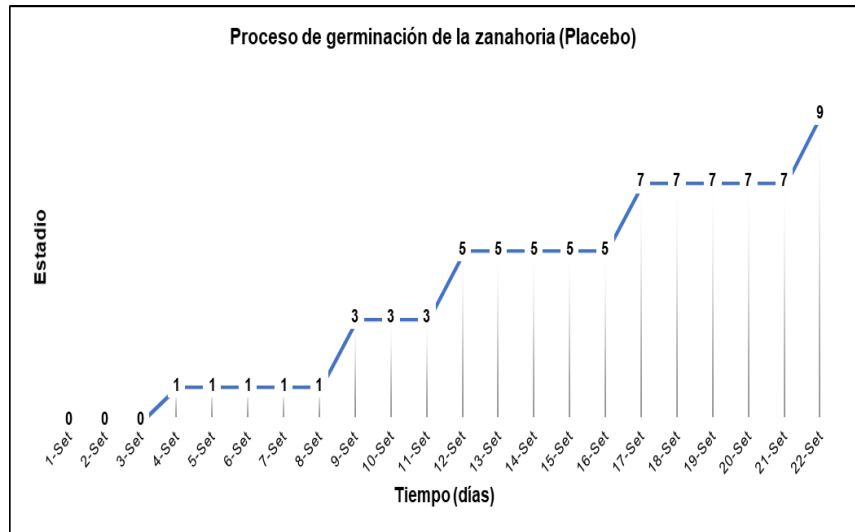


Figura 13. Proceso de germinación de la zanahoria (placebo).

Fuente: elaboración propia.



Figura 14. Placebo - zanahoria.

Fuente: elaboración propia.

- TH2Z1

Los resultados obtenidos (tabla 35) muestran que las semillas de la zanahoria sembradas en el tratamiento TH2Z1 (15 % (lodo + 30 % de cal) + 85 % de tierra), llegaron hasta su etapa de germinación en un tiempo de 30 días, siendo los estadios 5 y 7 los de mayor tiempo de duración.

Tabla 35. *Proceso de germinación de la zanahoria (TH2Z1).*

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
01/09	00	Semilla seca	30
02/09	00	Semilla seca	
03/09	00	Semilla seca	
04/09	00	Semilla seca	
05/09	00	Semilla seca	
06/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
07/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
08/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
09/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
10/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
11/09	03	Imbibición completa	
12/09	03	Imbibición completa	
13/09	03	Imbibición completa	
14/09	03	Imbibición completa	
15/09	03	Imbibición completa	
16/09	05	La radícula emerge de la semilla	
17/09	05	La radícula emerge de la semilla	
18/09	05	La radícula emerge de la semilla	
19/09	05	La radícula emerge de la semilla	
20/09	05	La radícula emerge de la semilla	
21/09	05	La radícula emerge de la semilla	
22/09	05	La radícula emerge de la semilla	
23/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
24/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
25/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
26/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
27/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
28/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
29/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
30/09	09	Emergencia	

Fuente: elaboración propia.

En la figura 15 se muestra los resultados de las semillas del tratamiento TH2Z1, en el cual indica que entre el 16 y 22 de septiembre la radícula emergió de la semilla (estadio 5) y desde 23 al 29 de septiembre, el hipocótilo con los cotiledones atravesaron el tegumento seminal (estadio 7), finalmente el último día de evaluación 30 de setiembre, la zanahoria llegó al estadio de emergencia (estadio 9).

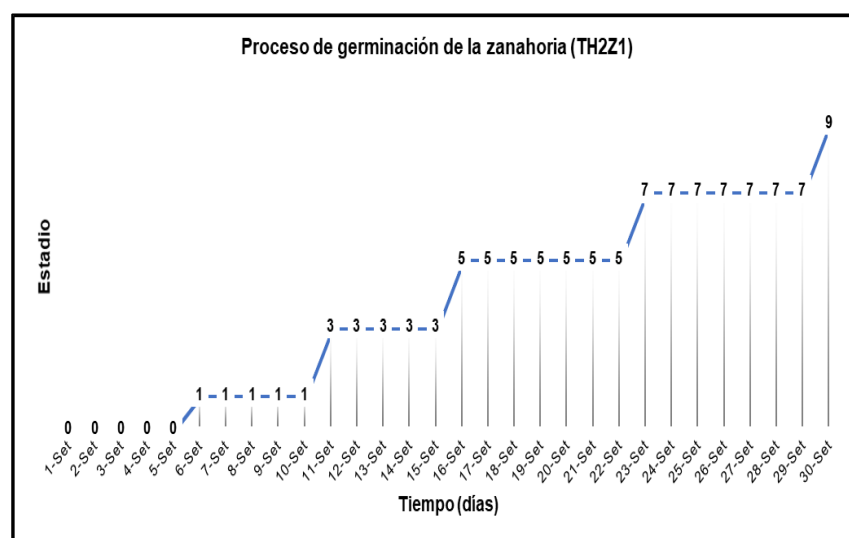


Figura 15. Proceso de germinación de la zanahoria (TH2Z1).

Fuente: elaboración propia.



Figura 16. Tratamiento TH2Z1 - zanahoria.

Fuente: elaboración propia.

- TH2Z2

Los resultados obtenidos (tabla 36) muestran que las semillas de zanahorias sembradas en el tratamiento TH2Z2 (35 % (lodo + 30 % de cal) + 65 % de tierra) germinaron en un periodo de 16 días.

Tabla 36. Proceso de germinación de la zanahoria (TH2Z2).

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
01/09	00	Semilla seca	16
02/09	00	Semilla seca	
03/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
04/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
05/09	03	Imbibición completa	
06/09	03	Imbibición completa	
07/09	03	Imbibición completa	
08/09	05	La radícula emerge de la semilla	
09/09	05	La radícula emerge de la semilla	
10/09	05	La radícula emerge de la semilla	
11/09	05	La radícula emerge de la semilla	
12/09	05	La radícula emerge de la semilla	

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
13/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
14/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
15/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
16/09	09	Emergencia	

Fuente: elaboración propia.

Tal como se muestra en la figura 17, en este tratamiento el cultivo de zanahoria llegó hasta el estadio de emergencia el 16 de septiembre (estadio 9).

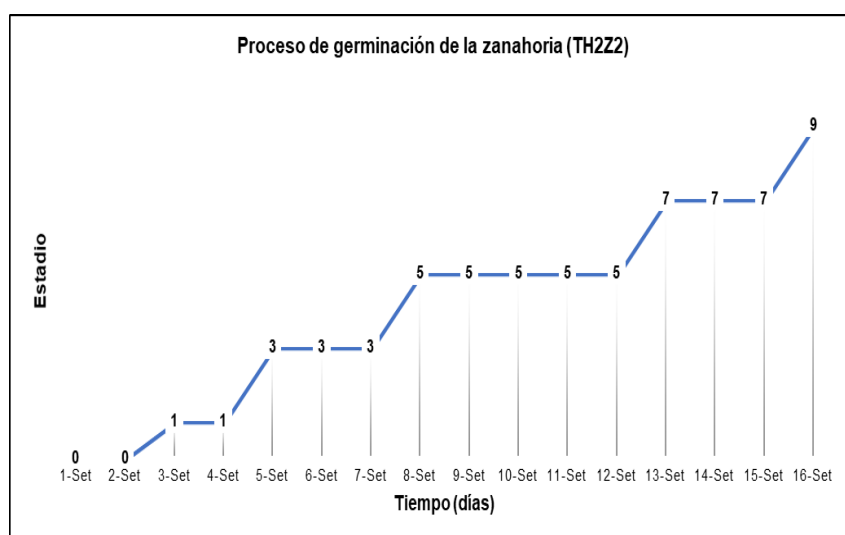


Figura 17. Proceso de germinación de la zanahoria (TH2Z2).

Fuente: elaboración propia.



Figura 18. Tratamiento TH2Z2 zanahoria.

Fuente: elaboración propia.

- TH2Z3

Las semillas de zanahoria que se sembraron en el tratamiento (tabla 37) TH2Z3 (50 % (lodo + 30 % de cal) + 50 % de tierra), germinaron en 20 días. Se observa que el estadio 9 fue el de mayor duración.

Tabla 37. Proceso de germinación de la zanahoria (TH2Z3).

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
01/09	00	Semilla seca	20
02/09	00	Semilla seca	
03/09	00	Semilla seca	
04/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
05/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
06/09	01	Comienza la imbibición de la semilla	
07/09	03	Imbibición completa	
08/09	03	Imbibición completa	
09/09	03	Imbibición completa	
10/09	03	Imbibición completa	
11/09	03	Imbibición completa	

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
12/09	05	La radícula emerge de la semilla	
13/09	05	La radícula emerge de la semilla	
14/09	05	La radícula emerge de la semilla	
15/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
16/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
17/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
18/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
19/09	07	El hipocótilo con los cotiledones atraviesan el tegumento seminal	
20/09	09	Emergencia	

Fuente: Elaboración propia.

El cultivo de zanahorias sembradas en este tratamiento llegó al estadio de emergencia el 20 de septiembre (estadio 9).

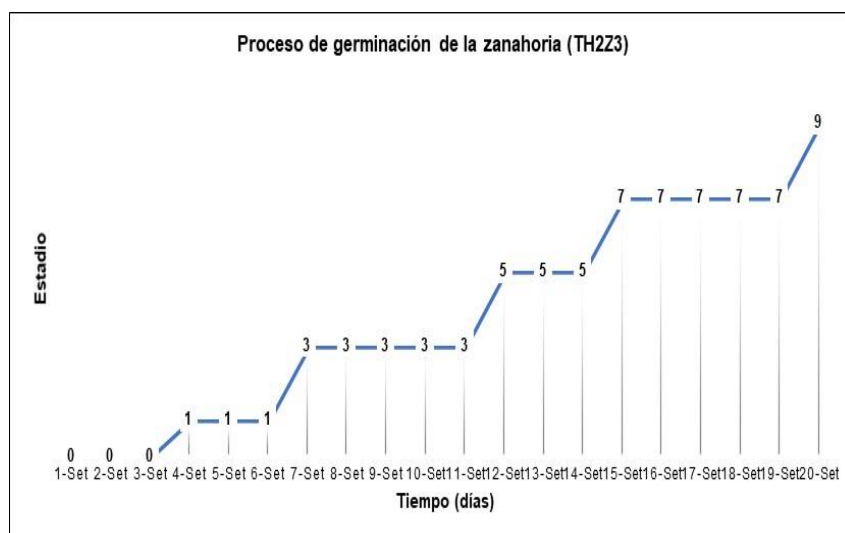


Figura 19. Proceso de germinación de la zanahoria (TH2Z3).

Fuente: elaboración propia.



Figura 20. Tratamiento TH2Z3 zanahoria.

Fuente: elaboración propia.

4.1.2.2. Betarraga

El seguimiento de la germinación de la betarraga inicio el 1 de septiembre, y la evaluación descrita a continuación se da por cada tipo de tratamiento.

- Placebo

Los resultados observados (tabla 38) muestran que las semillas de la betarraga sembradas en el placebo germinaron en un periodo de 12 días, siendo el comienzo de la imbibición (estadio 3) y el brote fuera de la semilla (estadio 7), los de mayor tiempo de duración.

Tabla 38. Proceso de germinación de la betarraga (placebo).

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de Germinación (días)
01/09	00	Semilla seca	12
02/09	00	Semilla seca	
03/09	01	Comienzo de la imbibición	
04/09	01	Comienzo de la imbibición	
05/09	01	Comienzo de la imbibición	
06/09	03	Imbibición de la semilla	

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de Germinación (días)
07/09	03	Imbibición de la semilla	
08/09	05	La radícula emerge	
09/09	07	Brote fuera de la semilla	
10/09	07	Brote fuera de la semilla	
11/09	07	Brote fuera de la semilla	
12/09	09	Emergencia	

Fuente: elaboración propia.

El cultivo de beterraga sembrado en el placebo alcanzó llegar al estadio de emergencia (estadio 9) el 12 de septiembre.

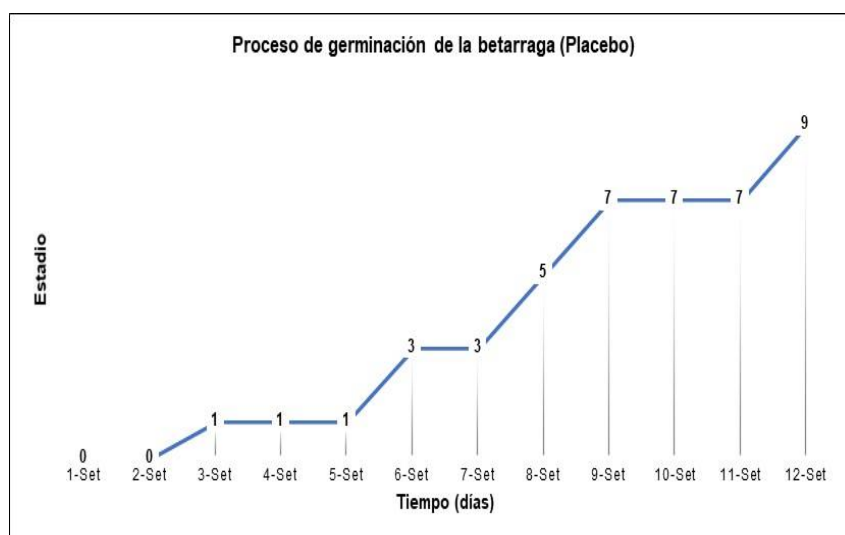


Figura 21. Proceso de germinación de la betarraga (placebo).

Fuente: elaboración propia.

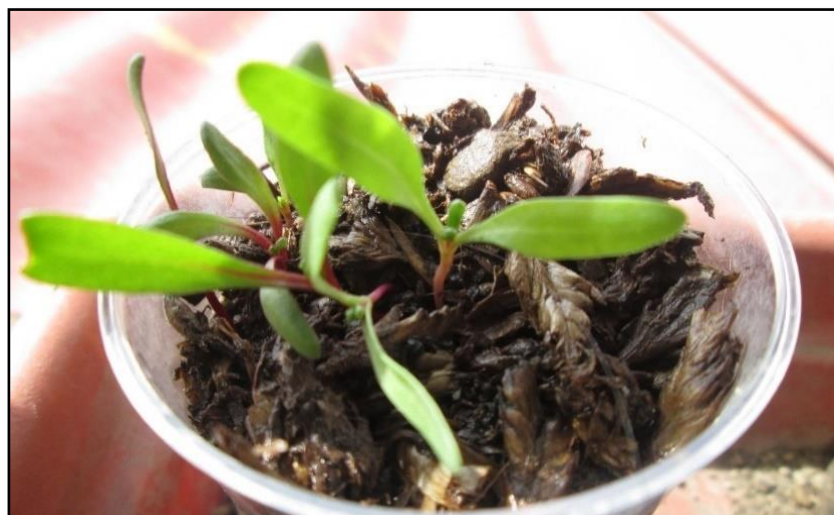


Figura 22. Placebo - betarraga.

Fuente: elaboración propia.

- TH2B1

De acuerdo con los resultados (tabla 39), las semillas de betarraga sembradas en el tratamiento TH2B1 (15 % (lodo + 30 % de cal) + 85 % de tierra), muestran que germinaron aproximadamente en 16 días, siendo el estadio de emergencia (estadio 9) el más predominante.

Tabla 39. *Proceso de germinación de la beterraga (TH2B1).*

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
01/09	00	Semilla seca	16
02/09	00	Semilla seca	
03/09	00	Semilla seca	
04/09	01	Comienzo de la imbibición	
05/09	01	Comienzo de la imbibición	
06/09	01	Comienzo de la imbibición	
07/09	03	Imbibición de la semilla	
08/09	03	Imbibición de la semilla	
09/09	03	Imbibición de la semilla	
10/09	05	La radícula emerge	
11/09	05	La radícula emerge	
12/09	07	Brote fuera de la semilla	

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
13/09	07	Brote fuera de la semilla	
14/09	07	Brote fuera de la semilla	
15/09	07	Brote fuera de la semilla	
16/09	09	Emergencia	

Fuente: elaboración propia.

Se observa en la siguiente figura que el brote fuera de la semilla (estadio 7) del cultivo de la betarraga se inició el día 12 de septiembre hasta el 15 de septiembre, pasando hacia el estadio de emergencia (estadio 9) el 16 de septiembre.

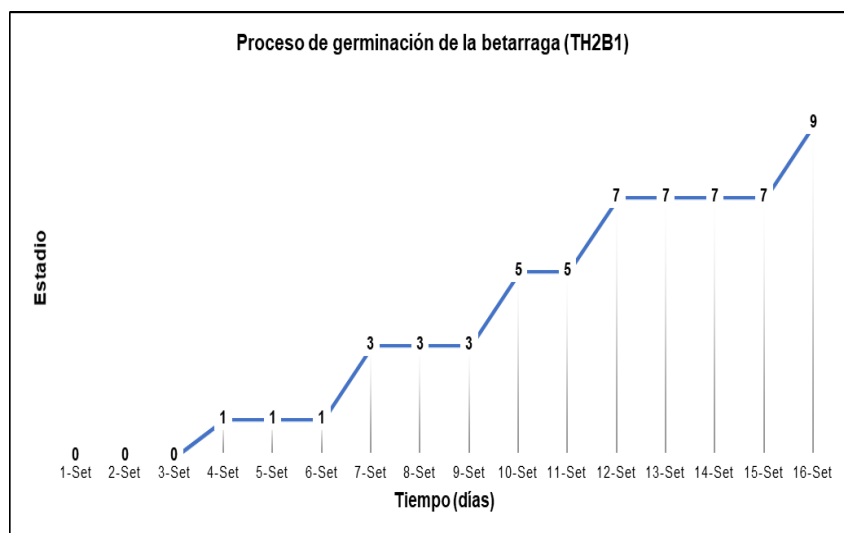


Figura 23. Proceso de germinación de la betarraga (TH2B1).

Fuente: elaboración propia.

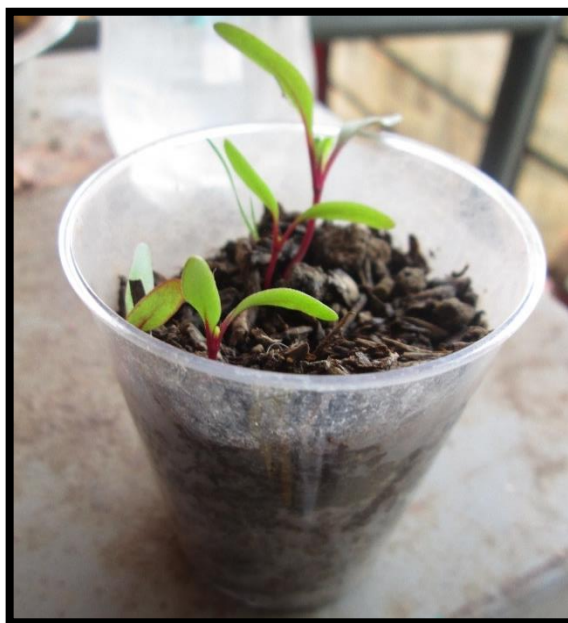


Figura 24. Tratamiento TH2B1 - betarraga.

Fuente: elaboración propia.

- TH2B2

Como se observa en la tabla 40, las semillas que fueron sembradas en el tratamiento TH2B2 (35 % (lodo + 30 % de cal) + 65 % de tierra), germinaron en un periodo de 15 días.

Tabla 40. *Proceso de germinación de la beterraga (TH2B2).*

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
01/09	00	Semilla seca	15
02/09	00	Semilla seca	
03/09	00	Semilla seca	
04/09	01	Comienzo de la imbibición	
05/09	01	Comienzo de la imbibición	
06/09	03	Imbibición de la semilla	
07/09	03	Imbibición de la semilla	
08/09	05	La radícula emerge	
09/09	05	La radícula emerge	
10/09	05	La radícula emerge	
11/09	07	Brote fuera de la semilla	15
12/09	07	Brote fuera de la semilla	

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
13/09	07	Brote fuera de la semilla	
14/09	07	Brote fuera de la semilla	
15/09	09	Emergencia	

Fuente: elaboración propia.

El cultivo de betarraga presentó el brote fuera de la semilla para el estadio de mayor tiempo de duración; finalmente alcanzó su estadio de emergencia (estadio 9) el 15 de septiembre.

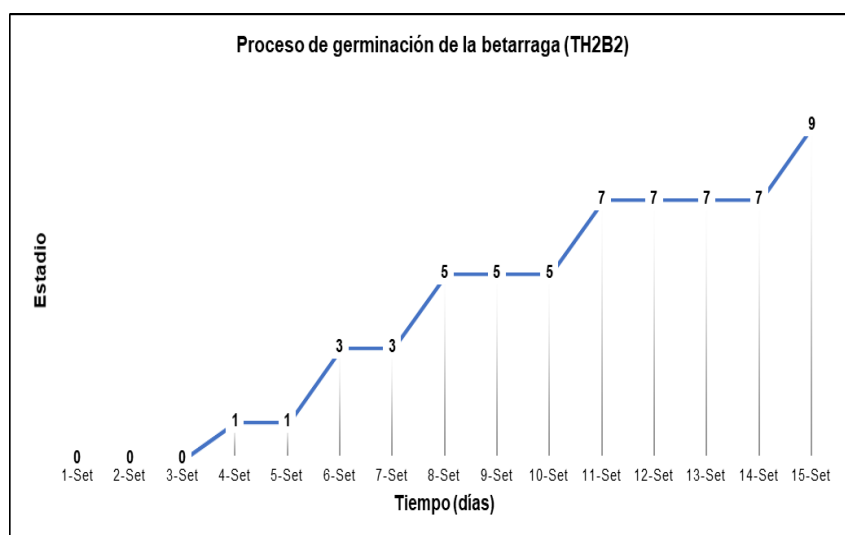


Figura 25. Proceso de germinación de la betarraga (TH2B2).

Fuente: elaboración propia.



Figura 26. Tratamiento TH2B2 - Betarraga

Fuente: elaboración propia.

- TH2B3

Los resultados que se muestran (tabla 41) indican que las semillas de betarraga sembradas en el tratamiento TH2B3 (50 % (lodo + 30 % de cal) + 50 % de tierra) germinaron en un periodo de 15 días, siendo el estadio de imbibición (estadio 3) y de emergencia (estadio 9) los de mayor tiempo de duración.

Tabla 41. *Proceso de germinación de la beterraga (TH2B3).*

Fecha	Codificación BBCH	Descripción	Tiempo de germinación (días)
01/09	00	Semilla seca	15
02/09	00	Semilla seca	
03/09	00	Semilla seca	
04/09	01	Comienzo de la imbibición	
05/09	01	Comienzo de la imbibición	
06/09	03	Imbibición de la semilla	
07/09	03	Imbibición de la semilla	
08/09	03	Imbibición de la semilla	
09/09	03	Imbibición de la semilla	
10/09	05	La radícula emerge	
11/09	05	La radícula emerge	
12/09	07	Brote fuera de la semilla	
13/09	07	Brote fuera de la semilla	
14/09	07	Brote fuera de la semilla	
15/09	09	Emergencia	

Fuente: elaboración propia.

El cultivo de betarraga alcanzó el estadio de emergencia (estadio 9) el 15 de septiembre.

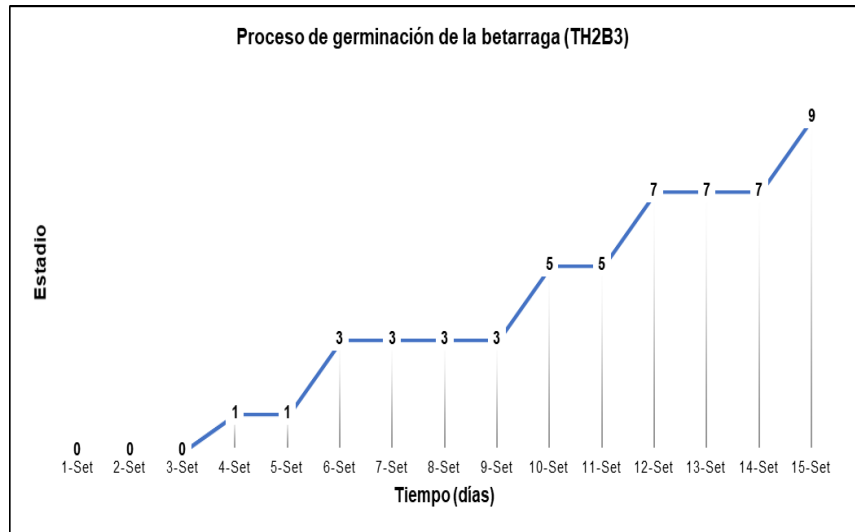


Figura 27. Proceso de germinación de la betarraga (TH2B3).

Fuente: elaboración propia.



Figura 28. Tratamiento TH2B3 - betarraga.

Fuente: elaboración propia.

4.1.2.3. Análisis de los cultivos

En la figura 29, los resultados muestran que las semillas sembradas en el tratamiento TH2Z2 germinaron 14 días antes que las semillas sembradas en el tratamiento de TH2Z1, mientras que las semillas del placebo y del tratamiento TH2Z3 germinaron en 22 y 20 días respectivamente.

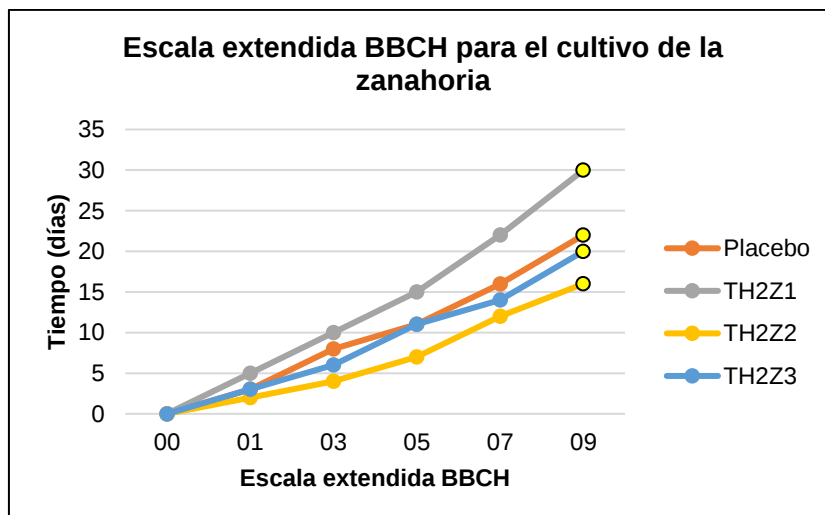


Figura 29. Escala extendida BBCH para el cultivo de la zanahoria.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, en la figura 30 se muestra que los tratamientos TH2B2 y TH2B3 fueron los que obtuvieron los mejores resultados, ambos con un tiempo de germinación de 14 días, a comparación de las semillas que fueron sembradas en el tratamiento TH2B1 que germinaron en 15 días, sin embargo, en el placebo se observa que el tiempo de germinación fue mucho menor (12 días).

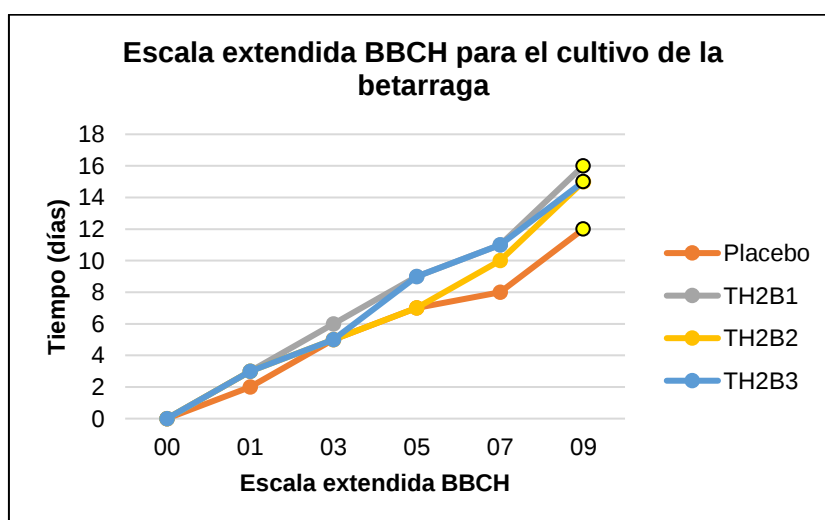


Figura 30. Escala extendida BBCH para el cultivo de la betarraga.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos nos señalan que el tiempo de germinación de la betarraga es menor que el tiempo de germinación de la zanahoria.

4.1.3. Relación costo/beneficio

A continuación, se presentan los costos referenciales con datos actuales tomando el precio por la EO-RS autorizada por la PTARD, para luego hacer una comparación con los costos realizados con el reaprovechamiento de lodos.

Se tomó en cuenta el precio por traslado y disposición final de residuos sólidos por la EO-RS que brinda servicios a la PTARD. Cabe precisar que según la Normativa Peruana D.L. N° 1278, se indica que los lodos generados por las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales son manejados como residuos sólidos no peligrosos, por lo tanto, se presentan los siguientes costos (tabla 46).

Tabla 42. *Costos por disposición de residuos no peligrosos.*

Descripción	Unid.	Cantidad	Costo (S/)
Transporte y disposición final de lodos	t	1	96

Fuente: referencias de cotizaciones.

Para identificar la cantidad de lodos, se tomó el promedio al día por mes desde enero a julio del 2021 (tabla 47), donde se indica la cantidad de lodos generados al día, siendo un promedio de 10.6 t.

Tabla 43. *Cantidad de lodo generado por día.*

Mes	kg	t
Enero	11 507.10	11.5
Febrero	11 407.50	11.4
Marzo	8 542.26	8.5
Abril	8 736.00	8.7
Mayo	12 475.81	12.5
Junio	10 920.00	10.9
Julio	10 831.94	10.8
Promedio	10 631.51	10.6

Fuente: SEDAPAL.

Teniendo en consideración que el promedio de generación por día es de 10.6 t, se identificaron los costos que se requeriría para su disposición final (tabla 48), por lo que sería S/ 1 017.60 para el transporte y disposición final en un relleno sanitario autorizado.

Tabla 44. *Costos de disposición de lodos.*

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario referencial (S/)
Transporte y disposición final	t	10.6	96.00
Costo por disposición de lodo generado/día (S/)			1 017.60

Fuente: elaboración propia.

Respecto al reúso de lodos, mediante el tratamiento de higienización al 30 % con cal viva, se tuvo el costo de S/100.00 por tonelada de cal (tabla 49).

Tabla 45. *Cantidad de lodo y cal requeridos por día.*

Descripción	Unidad	Costo unitario referencial (S/)
Cal viva	t	100

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta que el costo de cal viva es de S/ 100 por tonelada, se requerirá 3 180 kg por día, por lo tanto (tabla 50) se identifica el costo por lodos generados por día para ambas comparaciones, siendo para la disposición final de S/ 1 017.60 el cual incluye el transporte y la disposición final en el relleno sanitario, por otro lado, el costo para el tratamiento que nos permita su reúso es de S/ 318.00 siendo este segundo tratamiento más óptimo por la reducción de costos.

Tabla 46. *Comparación de costos de acuerdo con su disposición.*

	Transporte y disposición final		Cantidad requerida (t)	
	Unidad	S/	t	S/
Costo por disposición final	t	96.00	10.6	1 017.60
	Costo por Disposición de Lodo / día			
	Cal Viva			
Costo por reúso	Unidad	S/	t	S/
	t	100.00	3.18	318.00
	Costo para reusar lodo/día			

Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Efectividad de la higienización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay para su uso como insumo de cultivos

Dado lo mencionado en los resultados anteriores, se da a conocer (tabla 51) que al aplicar el tratamiento de higienización, el tratamiento 1 con el 20 % de cal viva no alcanza a disminuir las concentraciones de los parámetros biológicos.

Por lo tanto, se logró la disminución de los parámetros en el tratamiento 2, con el 30 % de cal viva, considerando los parámetros biológicos, identificando como Clase A según la normativa nacional según el D.S. N° 015-2017-VIVIENDA, pudiendo utilizarlo como insumo de cultivo.

Tabla 47. Efectividad del tratamiento de higienización.

Parámetros químicos	Unidad	INFORMES DE ENSAYO				
		D.S. N° 015-2017-VIVIENDA		Informe preliminar	Lodo + 20 % cal	Lodo + 30 % cal
Arsénico	mg/kg	40		4.803		
Cadmio	mg/kg	40		1.025		
Cromo	mg/kg	1200		28.896		
Cobre	mg/kg	1500		104.156		
Plomo	mg/kg	400		29.954	-	-
Mercurio	mg/kg	17		7.1550		
Níquel	mg/kg	400		9.394		
Zinc	mg/kg	2400		494.839		
Parámetros biológicos	Unidad	D.S. N° 015-2017-VIVIENDA		Informe preliminar	Lodo + 20 % cal	Lodo + 30 % cal
		A	B			
<i>E. coli</i>	NMP/1 g	< 1000	-	7.7	700	11
<i>Salmonella</i>	NMP/10gST	< 1		< 2.2355	< 3*	< 3*
Huevos de helmintos	Huevos /4gST	< 1		0	10	< 1*

Fuente: D.S. N° 015-2017-VIVIENDA / I.E. N° MA2113703 / IE-21-11063 / IE-21-11064.

Ahora bien, en la figura 31 se muestra la efectividad del lodo tratado utilizado como insumo de cultivo; se evalúa así el número de días en que tarda en germinar las semillas de zanahoria en los distintos tratamientos, la variación de días entre la germinación de las semillas sembradas sin la aplicación del lodo y las que presentan distintos porcentajes de este es de 10 días.

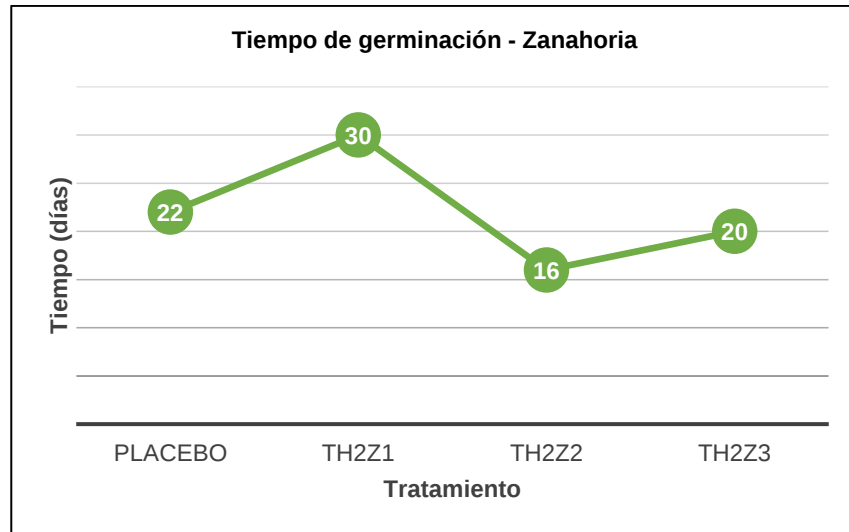


Figura 31. Tiempo de germinación - zanahoria.
Fuente: elaboración propia.

Además, en la figura 32 se muestra que la betarraga tuvo un menor tiempo de germinación, sin embargo, las semillas sembradas en el placebo germinaron en 12 días a comparación de los demás tratamientos que demoraron entre 3 a 4 días más.

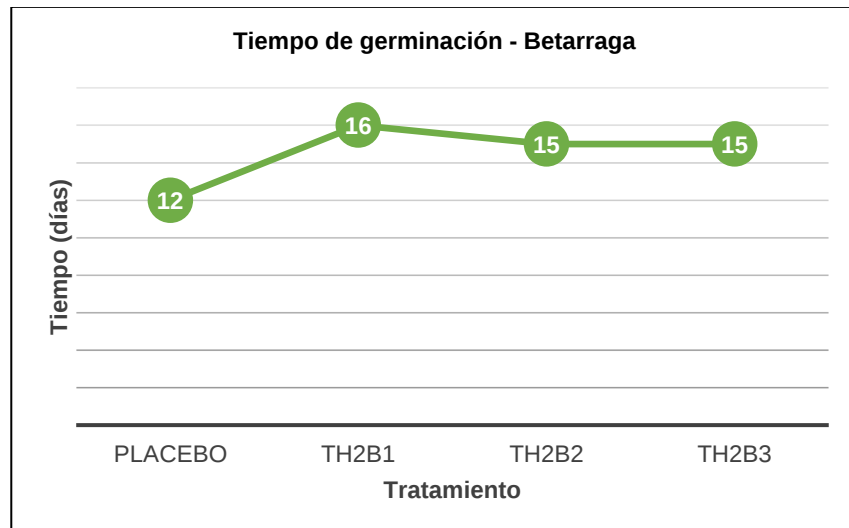


Figura 32. Tiempo de germinación - betarraga.
Fuente: elaboración propia.

4.2. Prueba de hipótesis

Para demostrar la correcta aplicación de la higienización de lodos, se presentan líneas abajo datos de los indicadores tomados al inicio del proceso experimental (12/05/2021) y al final (10/09/2021), las muestras iniciales fueron llevadas a

laboratorio SGS y las muestras finales al laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L., los cuales fueron necesarios para poder validar la hipótesis general y así demostrar si el lodo higienizado permitirá su uso como insumo de cultivo. De acuerdo con el D.S. 015-2017-VIVIENDA para considerar un lodo higienizado y ser clasificado con biosólido de Clase A este debe cumplir con: parámetros de estabilización, toxicidad química e higienización. Además, menciona que estamos obligados a cumplir como mínimo con uno de los indicadores (*E. coli* o *Salmonella sp.*) y huevos de helminto; en caso de no cumplir no puede ser reaprovechado por las actividades establecidas.

Los datos utilizados para la prueba de hipótesis fueron tomados del parámetro higienización (biológico) debido a que los parámetros de estabilización y toxicidad química desde el análisis inicial cumplen con lo solicitado por el D.S. 015-2017-VIVIENDA y por ende no se realizaron un análisis final, por lo que solo se cuenta con datos iniciales.

A continuación, se presentan los datos obtenidos del parámetro higienización.

4.2.1. Indicador de *E. coli*

A continuación, en la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos en función al análisis en laboratorio los cuales se contrastaron con las normas establecidas.

Tabla 48. Comparación de los resultados para *E. coli*.

<i>E. coli</i>					
Composición	Resultado Inicial	Composición	Resultado final	Normativa	
				D.S. N°015-2017-VIVIENDA	NOM-004-SEMARNAT-2002
Lodo	7.7*	Lodo higienizado con 30 % de cal viva	11	< 1000 NMP/1g	< 1000 NMP/1g

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 42 se evidencia que para el parámetro de *E. coli* el resultado inicial fue de 7.7* NMP/1g, pero luego de aplicar la higienización al lodo el resultado se incrementó a 11 NMP/1g.

4.2.2. Indicador de *Salmonella sp.*

A continuación, se muestra resultados obtenidos al inicio y final del proceso de higienización para *Salmonella sp.* los cuales se compararon con la normativa vigente establecida.

Tabla 49. Comparación de los resultados para *Salmonella sp.*

<i>Salmonella sp.</i>					
Composición	Resultado Inicial	Composición	Resultado final	Normativa	
				D.S. N°015-2017-VIVIENDA	NOM-004-SERMARNA T-2002
Lodo	< 2.2355*	Lodo higienizado con 30 % de cal viva	< 3*	< 1 NMP/10g ST	< 0.3 NMP/gST

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 43, se evidencia que en el parámetro *Salmonella* el resultado inicial fue de < 2.2355 NMP/10g ST, pero luego de aplicar la higienización al lodo se observa una reducción a <3* NMP/10g.

4.2.3. Indicador huevos de helmintos

De acuerdo con las evaluaciones realizadas en laboratorio se muestran a continuación resultados iniciales y finales para huevos de helminto.

Tabla 50. Comparación de los resultados para huevos de helmintos.

Huevos de Helmintos					
Composición	Resultado inicial	Composición	Resultado final	Normativa	
				D.S. N°015-2017-VIVIENDA	NOM- 004 - SERMARNAT-2002
Lodo	0*	Lodo higienizado con 30 % de cal viva	< 1*	< 1 huevo/4gST	< 0.25 huevos/g

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 44 se evidencia que en el parámetro huevos de helmintos el resultado inicial fue de 0 huevos/4gST, pero luego de aplicar la higienización al lodo se observa un aumento a < 1* huevos/gST.

4.2.4. Prueba de hipótesis general

La higienización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay permitirá su uso como insumo de cultivo.

Nivel de significación: ≤ 0.05

- Hipótesis nula (H_0): la higienización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay no permitirá su uso como insumo de cultivos.
- Hipótesis alterna (H_i): la higienización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay permitirá su uso como insumo de cultivo.

Se procedió a aplicar la prueba estadística ANOVA de un factor siendo un procedimiento que realiza un análisis de varianza de un factor para una variable dependiente cuantitativa respecto a una única variable de factor (la variable independiente) y estima el tamaño de efecto en ANOVA de un factor.

La tesis de Huacanca (18), donde aplica la prueba estadística de ANOVA de un factor para contrastar sus hipótesis y poder aceptar la hipótesis alterna o hipótesis nula, es tomada como referencia en el desarrollo para contrastar la hipótesis en esta tesis.

a. Análisis inferencial:

Tabla 51. *Análisis de la varianza de parámetros.*

ANOVA					
Inicial, Final, Norma	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	228753.466	2	114376.733	1.049	.407
Dentro de grupos	654266.430	6	109044.405		
Total	883019.896	8			

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 45, el análisis de la varianza para los tres parámetros que conforman el grupo de estudio presenta un estadístico F de 1.049 a dos grados de libertad y con un valor crítico de 0.407

(punto crítico menor a 0.05), lo cual evidencia que no existen cambios significativos en los parámetros que conforman los grupos de estudio.

Según la prueba de ANOVA, el P-valor o Sig. es 0.407 siendo mayor a 0.05, por lo cual se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, indicando que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que la higienización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay no permitirá su uso como insumo de cultivos.

4.3. Discusión de resultados

De acuerdo con lo que indican Machado (19) y Torres (39), se recomienda higienizar el lodo en un rango de 10 % a 20 % de cal, sin embargo, para la presente investigación se realizó la higienización de lodos con el 20 % y 30 % de cal viva, observando que en el segundo porcentaje los resultados mostraron una disminución en los parámetros biológicos.

El D.S. N°015-2017-VIVIENDA nos permitió identificar y clasificar los lodos, así como la norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, en diferentes clases, los cuales tienen distintos tipos de uso, teniendo en consideración que en la norma mexicana no se requiere el parámetro de estabilización en comparación con la normativa peruana, por lo tanto, solo se requiere el análisis de parámetros químicos y biológicos, pero al ser una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas no se tendría tantos inconvenientes en los parámetros químicos. Los resultados de los análisis muestran que no se redujeron los parámetros biológicos (*Escherichia coli* y huevos de helmintos) en los lodos tratados con el 20 % de cal viva, encontrándose así por encima del rango establecido en la normativa peruana, a diferencia del tratamiento con el 30 % de cal viva que si se encuentra clasificado como Clase A en la normativa peruana y mexicana.

Respecto al comportamiento de los cultivos en la etapa de germinación, los resultados obtenidos evidencian que los lodos higienizados con el 30 % de cal viva tienen una relación directa con el comportamiento de los cultivos, reflejando que las semillas de zanahoria germinaron entre los 15 y 30 días, mientras que las semillas de betarraga germinaron entre los 12 y 15 días, datos que al ser comparados con lo reportado por Machado (19), evidencian que los lodos higienizados con cal permiten la germinación de cultivos como la zanahoria y betarraga.

Respecto al análisis costo/beneficio, es posible la reutilización de los lodos de la PTARD de Manchay, ya que no se asumirá los costos por el traslado hacia un relleno sanitario. Se debe tener en cuenta que para el reúso de estos lodos se tendrá que manipular con los implementos de seguridad correspondientes, debido a que el personal estará en contacto con agentes patógenos.

CONCLUSIONES

Se ha identificado que la PTAR de Manchay realiza el proceso de tratamiento de las aguas residuales mediante los lodos activados, siendo la disposición final de sus lodos en un relleno sanitario. Sin embargo, evaluando las características físicas, químicas y biológicas de los lodos provenientes de la PTARD de Manchay, estos pueden ser usados como insumos de cultivos de acuerdo con la clasificación nacional y la norma mexicana, no obstante, se deberá tomar en cuenta que los cultivos sembrados no deben ser consumidos en crudo. Además, una vez que se considere la higienización de los lodos, se deberá tener en cuenta las características del lodo, el clima de la zona así como el suelo donde será aplicado, ello con el fin de evitar la generación de agentes patógenos que impidan su reaprovechamiento.

Los lodos de la PTARD Manchay se higienizaron con la finalidad de mejorar las características iniciales e identificar la relación con el crecimiento de los cultivos. El tratamiento con el 20 % de cal fue menos efectivo por lo que los parámetros se encontraron fuera de la normativa peruana establecida, perteneciendo a la clase B. Respecto al tratamiento con el 30 % de cal, fue más efectiva y los parámetros se encontraron dentro del rango permitido, clasificándose como A, lo cual es apto para el uso como insumo de cultivos.

En la evaluación de los cultivos, se concluye que las semillas de zanahoria sembradas en el tratamiento TH2Z2 (35 % (lodo + 30 % de cal) + 65 % de tierra) muestran que germinan en menor tiempo en comparación con las semillas que fueron sembradas en el tratamiento TH2Z1 (15 % (lodo + 30 % de cal) + 85 % de tierra), que demoraron 1 mes hasta llegar al estadio de emergencia. Por otro lado, las semillas de betarraga sembradas en los lodos en el tratamiento TH2B2 (35 % (lodo + 30 % de cal) + 65 % de tierra) y TH2B3 (50 % (lodo + 30 % de cal) + 50 % de tierra) mostraron menor tiempo de crecimiento de las semillas, llegando hasta la etapa de germinación en 15 días, sin embargo, en el placebo se presentó un menor tiempo de germinación (12 días).

En el Perú se genera una gran cantidad de lodos en las plantas de tratamiento debido al crecimiento demográfico, es por ello que se podría llevar a cabo la higienización de los lodos para su uso como insumo de cultivos ya que aportarían al suelo una gran cantidad de nutrientes, lo cual permitiría una reducción en los costos de traslado hacia su disposición final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) GABRIEL, E y GARCÍA, A. Análisis de los cambios de uso de tierra y sus dinámicas territoriales en la cuenca baja del río Chilca, Perú. [En línea]. Julio - diciembre, 2020. [fecha de consulta: 27 de agosto de 2021]. ISSN: 1665-0441. Disponible en: doi.org/10.35197/rx.16.04.2020.10.eg.
- (2) “Crisis mundial de la basura”: 3 cifras impactantes sobre el rol de Estados Unidos [En Línea]. *BBC News*, Estados Unidos, 8 de julio de 2019 [fecha de consulta: 25 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48914734>.
- (3) Informe del Banco Mundial: los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes. [En línea]. *Banco Mundial*, Washington DC, Estados Unidos, 18 de septiembre de 2020 [fecha de consulta: 25 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>.
- (4) Día Mundial del Reciclaje reducir, reutilizar y reciclar: las claves para que el mundo no se convierta en una montaña de basura [En línea]. *RTVE*, España, 17 de mayo de 2021 [fecha de consulta: 27 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.rtve.es/noticias/20210517/reducir-reutilizar-reciclar-claves-residuos-mundo/2090641.shtml>.
- (5) SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO (SUNASS). Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento. 2015 [fecha de consulta: 24 de julio de 2021]. Disponible en: <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>.
- (6) MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). Listado de rellenos sanitarios. 29 de Septiembre de 2021 [fecha de consulta: 2 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/279709-listado-de-rellenos-sanitarios>.
- (7) D. S. N° 014-2017-MINAM. Aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos. *Diario Oficial El Peruano*, Lima, Perú, 20 de diciembre de 2017.

- (8) R. M. N° 128-2017-VIVIENDA. Aprueban condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición final. *Diario Oficial El Peruano*, Lima, Perú, 5 de abril de 2017.
- (9) D. S. N° 015-2017-VIVIENDA. Aprueba el reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Diario Oficial El Peruano*, Lima, Perú, 21 de junio de 2017.
- (10) Economía Circular: definición, importancia y beneficios [En Línea]. *Noticias Parlamento Europeo*, Madrid, 16 de febrero de 2021 [fecha de consulta: 17 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>.
- (11) INSUMO. En: Diccionario de la Lengua Española [En línea]. Madrid: Real Academia Española, 2021 [fecha de consulta: 6 de agosto de 2021], Disponible en: <https://dle.rae.es/insumo?m=form>.
- (12) CANDELA, G. Propuesta de estabilización y aprovechamiento de lodos de PTAR y BES en Perú basadas en su caracterización fisicoquímica y microbiológica. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2020. 167 pp. [fecha de consulta: 2 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4422>.
- (13) GONZÁLES, M. y ATOCHE, A. Diagnóstico de la disposición actual de los lodos residuales en las lagunas de estabilización de Epsel S.A. - San José. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Chiclayo: Universidad Tecnológica del Perú, 2020. 65 pp. [fecha de consulta: 10 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/3253>.
- (14) HUAMANI, E. Evaluación del proceso de tratamiento de agua residual y sus lodos como subproducto, en una planta compacta de depuración por lodos activados. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2020. 236 pp. [fecha de consulta: 07 de agosto de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11024>.
- (15) RAMIREZ, B. Eficiencia de *Eisenia Foetida* en el tratamiento de lodos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales, mediante el vermicompostaje a escala piloto. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Peruana

Unión, 2020. 17 pp. [fecha de consulta: 2 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12840/3186>.

- (16) AGUERO, A. 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. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019. 80 pp. [fecha de consulta: 2 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2045>.
- (17) CENCIA, K. Efecto de la biofertilización con lodo generado en PTAR Concepción sobre el crecimiento de plántulas de *Eucalyptus globulus* Labill. Tesis (Título de Ingeniero Forestal y Ambiental). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019. 106 pp. [fecha de consulta: 10 de agosto de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5346>.
- (18) HUACANCA, C. Transformación de lodos generados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carhuaz en biosólido, mediante la tecnología de compostaje con microorganismos eficaces, Carhuaz - 2018. Tesis (Título de Ingeniero Sanitario). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2019. 157 pp. [fecha de consulta: 2 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3622>.
- (19) MACHADO, M. Higienización de lodos residuales con cal viva para la elaboración de compostaje en las lagunas de oxidación del distrito de San José. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Chiclayo: Universidad César Vallejo, 2019. 94 pp. [fecha de consulta: 06 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/39937>.
- (20) VALENZUELA, E. Aplicación de lodos activados en un suelo contaminado con arsénico, cultivado con Avena sativa L. en el distrito de Orcotuna, Concepción, 2016. Tesis (Título de Ingeniera Ambiental). Huancayo: Universidad Continental, 2019. 128 pp. [fecha de consulta: 06 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/5489>.
- (21) CALDERÓN, M. Análisis comparativo y propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de SEDAPAL. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Nacional Federico Villareal, 2018. 180 pp. [fecha de consulta: 27 de julio de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2708>.

- (22) CASTAÑEDA, W. Uso de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en lodos activados de la PTAR San Antonio de Carapongo y residuos orgánicos para la producción de humus - Lima 2018. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2018. 101 pp. [fecha de consulta: 08 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/34590>.
- (23) HUAMÁN, A. y PALCO, A. Valoración fisiológica como abono orgánico de lodos activados en las lagunas de estabilización de la localidad de Jaén. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Chiclayo: Universidad de Lambayeque, 2018. 61 pp. [fecha de consulta: 08 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/199>.
- (24) HUANQUI, A. Aprovechamiento de biosólidos provenientes de una Planta de Tratamiento de Agua Residual en una Unidad Operativa Minera - 2018. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2018. 127 pp. [fecha de consulta: 2 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8126>.
- (25) ONOFRE, E. Propuesta técnica de Gestión Ambiental Sostenible para el Aprovechamiento de Lodos que provienen de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en campamentos mineros del Perú. Tesis (Magíster en Regulación, Gestión y Economía Minera). Lima: Pontifica Universidad Católica del Perú, 2018. 76 pp. [fecha de consulta: 27 de julio de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13374>.
- (26) POMALAZA, J. y RAMOS, J. Vermiestabilización de lodos activados para la obtención de compost y su efecto en el índice de calidad de plántulas de *Pinus radiata* D. DON - San Pedro de Saño. Tesis (Título de Ingeniero Forestal y Ambiental). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016. 176 pp. [fecha de consulta: 26 de julio de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3479>.
- (27) ANDRADE, I. y SOLÓRZANO, D. Aprovechamiento de lodos de la Planta de Aguas Residuales del Cantón El Carmen como biosólidos para el sector forestal. Tesis (Título de Ingeniero en Medio Ambiente). Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, 2021. 79 pp. [fecha de consulta: 04 de agosto de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1420>.

- (28) PAUCAR, W. Uso de lodos residuales compostados como componente porcentual de sustratos en dos métodos de propagación de níspero (*Eriobotrya japonica*), en la provincia de Pichincha, Quito, periodo 2019 - 2020. Tesis (Título de Ingeniero en Medio Ambiente). Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2020. 82 pp. [fecha de consulta: 03 de agosto de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7063>.
- (29) YANGUICELA, T. Uso de lodos residuales compostados como componente porcentual de sustratos en dos métodos de propagación de aliso (*alnus glutinosa*) en la provincia de Pichincha, Machachi, periodo 2019-2020. Tesis (Título de Ingeniera en Medio Ambiente). Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2020. 75 pp. [fecha de consulta: 02 de agosto de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7063>.
- (30) MARÍN, D. Propuesta de aprovechamiento de lodos residuales provenientes de una PTAR del Municipio de Sopó Cundinamarca para la producción de un fertilizante Organo - Mineral. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Bogotá: Fundación Universidad de América, 2019. 172 pp. [fecha de consulta: 03 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7393>.
- (31) REINALDO, A. et al. Uso de lodos residuales como fertilizante en eucalipto - diagnóstico de investigación [En línea]. Junio, 2019. [fecha de consulta: 01 de agosto de 2021]. ISSN: 0718-3429. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000200103>.
- (32) VASQUEZ, J. y VARGAS, G. Aprovechamiento de lodos Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2018. 90 pp. [fecha de consulta: 01 de agosto de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10983/16425>.
- (33) RUIZ, A. y QUEVEDO, L. Análisis de los lodos provenientes del proceso de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Guatavita. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2017. 144 pp. [fecha de consulta: 31 de julio de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10983/14811>.
- (34) SUBIA, M. Valoración de lodos residuales procedentes de la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas de la EPMAPS Quito para su aprovechamiento en la actividad agrícola. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Quito: Universidad Internacional SEK,

2017. 53 pp. [fecha de consulta: 03 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2704>.

- (35) TORRES, M. Propuesta para el aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR de la Empresa Regional Aguas del Tequendama. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Bogotá: Fundación Universidad de América, 2017. 100 pp. [fecha de consulta: 26 de julio de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11839/6593>.
- (36) SADHWANI, J., MELIAN, N. y REDONDO, M. Gestión integral de aguas y lodos hacia una economía circular: valorización de lodos de depuradoras [En línea]. Diciembre, 2016. [fecha de consulta: 01 de agosto de 2021]. Disponible en: <http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2016/CT%202016/1998973754.pdf>.
- (37) CRUZ, L. Optimización de la aplicación de lodos de depuración de aguas residuales al abonado o mejora de suelos. Tesis (Doctor en Ciencias Ambientales). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2015. 450 pp. [fecha de consulta: 25 de julio de 2021]. Disponible en: <http://oa.upm.es/39429/>.
- (38) DIOCARETZ, M. y VIDAL, G. Aspectos técnicos y económicos de procesos de higienización de lodos provenientes del tratamiento de aguas servidas [En línea]. 2010. [fecha de consulta: 02 de agosto de 2021]. ISSN: 0717-196X. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29916956005>.
- (39) TORRES, P., MADERA, C. y MARTÍNEZ, G. Estabilización alcalina de biosólidos compostados de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas para aprovechamiento agrícola [En línea]. Noviembre, 2007. [fecha de consulta: 01 de agosto de 2021]. ISSN: 2248-7026. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24743>.
- (40) METCALF & EDDY. *Ingeniería de Aguas Residuales*. 3.º ed. España: McGRAW-HILL, 1995. 1459 pp. ISBN: 8-481-1727-1.
- (41) ROMERO, J. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Teoría y principios de diseño. 3.º ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. 1233 pp. ISBN: 958-8060-13-3.
- (42) COMISIÓN Estatal del Agua de Jalisco (CEA Jalisco). *Operación y mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el proceso de lodos activados. Manual de Procedimientos*. 2013. 256 pp. Disponible en:

<https://agua.org.mx/biblioteca/operacion-y-mantenimiento-de-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-con-el-proceso-de-lodos-activados-manual-de-procedimientos/>.

- (43) ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París, 2017. 202 pp. ISBN: 978-92-3-300058-2.
- (44) BERMEO, M. *Tratamiento de aguas residuales. Técnicas convencionales*. 2° ed. Guayaquil: Grupo Compás, 2016. 142 pp. ISBN: 978-9942-13-872-9.
- (45) MARAMBIO, C. y ORTEGA, R. Uso potencial de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas en la producción de cultivos en Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. [En línea]. Julio, 2003. N° 20. 20 - 23. [fecha de consulta: 10 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/8293>.
- (46) AMADOR, A., VELIZ, E. y BATALLER, M. Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. [En línea]. Noviembre, 2014. [fecha de consulta: 20 de agosto de 2021]. ISSN: 1015-8553. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181642434003>.
- (47) ALIANZA POR EL Agua. Manual de Depuración de aguas residuales urbanas. ARPIrelieve. 264 pp. Depósito Legal Z-2802/08
- (48) NORMA OS.090. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de Mayo de 2006.
- (49) OROPEZA, N. Lodos residuales: estabilización y manejo. Universidad de Quintana. [En línea]. 2006. 61 - 70. [fecha de consulta: 10 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://estrucplan.com.ar/lodos-residuales-estabilizacion-y-manejo/>.
- (50) HURTADO, A. Proceso de transformación de biosólidos de las Plantas De Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) con vermicompostaje y su aplicación en germinación, caso países europeos: España, Reino Unido, Francia, Portugal, Italia. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2015. 51 pp. [fecha de consulta: 01 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/7524>.

- (51) MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. *Manejo adecuado y reaprovechamiento de lodos*. Lima, 2017. 20 pp.
- (52) NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental -Lodos y biosólidos- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, *Diario Oficial de la Federación*, México, 15 de agosto de 2003.
- (53) R. M. N° 273-2013-VIVIENDA. Protocolo de monitoreo de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR. *Diario Oficial El Peruano*, Lima, Perú, 24 de octubre de 2013.
- (54) GERMINAR. En: *Diccionario de la Lengua Española* [En línea]. Madrid: Real Academia Española, 2021 [fecha de consulta: 25 de julio de 2021], Disponible en: <https://dle.rae.es/germinar>.
- (55) INSTITUTO MONITOREO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA). *Operación y mantenimiento de Plantas de Tratamiento de lodos activados*. México, 2009. 362 pp.
- (56) CEGARRA, J. *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2004. 353 pp. ISBN: 84-7978-624-8.
- (57) HERNÁNDEZ, R., FERNANDEZ, C. y BAPTISTA, M. *Metodología de la investigación*. 6.^a ed. México: MCGRAW-HILL, 2014. 632 pp. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- (58) CENTRO FEDERAL DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS PARA LA AGRICULTURA Y SILVICULTURA. *Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono-y dicotiledóneas cultivadas*, 1998. 123 pp. [fecha de consulta: 16 de agosto de 2021]. Disponible en: https://www.agro.basf.es/Documents/es_files/pdf_1_files/services_files/descarga.pdf f.
- (59) GILSANZ, J.C., LEONI, C., ARANDA S., SCHELOTTO, F., ACUÑA, A. *Uso agrícola de los lodos urbanos en la producción agrícola*. Agrociencia Uruguay, 2013.1 - 10.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables.

OBJETIVO	VARIABLES	SUBVARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
OBJETIVO GENERAL Evaluar la posibilidad de higienización de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay y su uso como insumo de cultivos.	VARIABLE INDEPENDIENTE Higienización de lodos	Agentes patógenos	Conformadas por las bacterias, protozoarios, hongos, virus, huevos de helmintos en lodos y/o biosólidos capaces de provocar enfermedades y epidemias en el ser humano. (D.S. N° 015-2017-VIVIENDA)	Llevar la muestra de lodo a un laboratorio donde realizan análisis de lodo para ser sometido al método NOM-004-SEMARNAT-2002 para huevos de helmintos y <i>Salmonella sp.</i> y para <i>Escherichia coli</i> se aplica el método SMEWW 9221 F.2, 23 rd Ed.2017, los resultados obtenidos permiten identificar la cantidad de patógenos y comparar con la ley para clasificarlo y saber si el lodo se encuentra higienizado.	- <i>Escherichia coli</i> (NMP/g). - <i>Salmonella sp.</i> (NMP/g). - Huevos de helmintos (1/g).
		Toxicidad química	Es la capacidad inherente del Biosólido de producir un efecto nocivo sobre los organismos vivos. De acuerdo con el D.S. N° 015-2017-VIVIENDA, las concentraciones no deben exceder ninguno de los valores indicados en la Tabla N° 2, si en caso excede no puede ser calificado como biosólido de Clase A ni de Clase B.	Llevar la muestra de lodo a un laboratorio donde realizan análisis de lodo para ser sometido al método EPA Method 3050B - Rev.2/EPA Method 200.7 - Rev. 4.4, los resultados obtenidos permiten identificar la cantidad de metales y compararlo con la ley.	- Arsénico (mg/kg) - Cadmio (mg/kg) - Cromo (mg/kg) - Cobre (mg/kg) - Plomo (mg/kg) - Mercurio (mg/kg) - Níquel (mg/kg) - Zinc (mg/kg)
		Aplicación de cal	Acción de mezclar cantidades de cal viva con proporciones de lodo.	Separar dos cantidades iguales de lodo y según el peso adicionar un 30 % y 20 % de cal viva para higienizar el lodo.	- % de cal

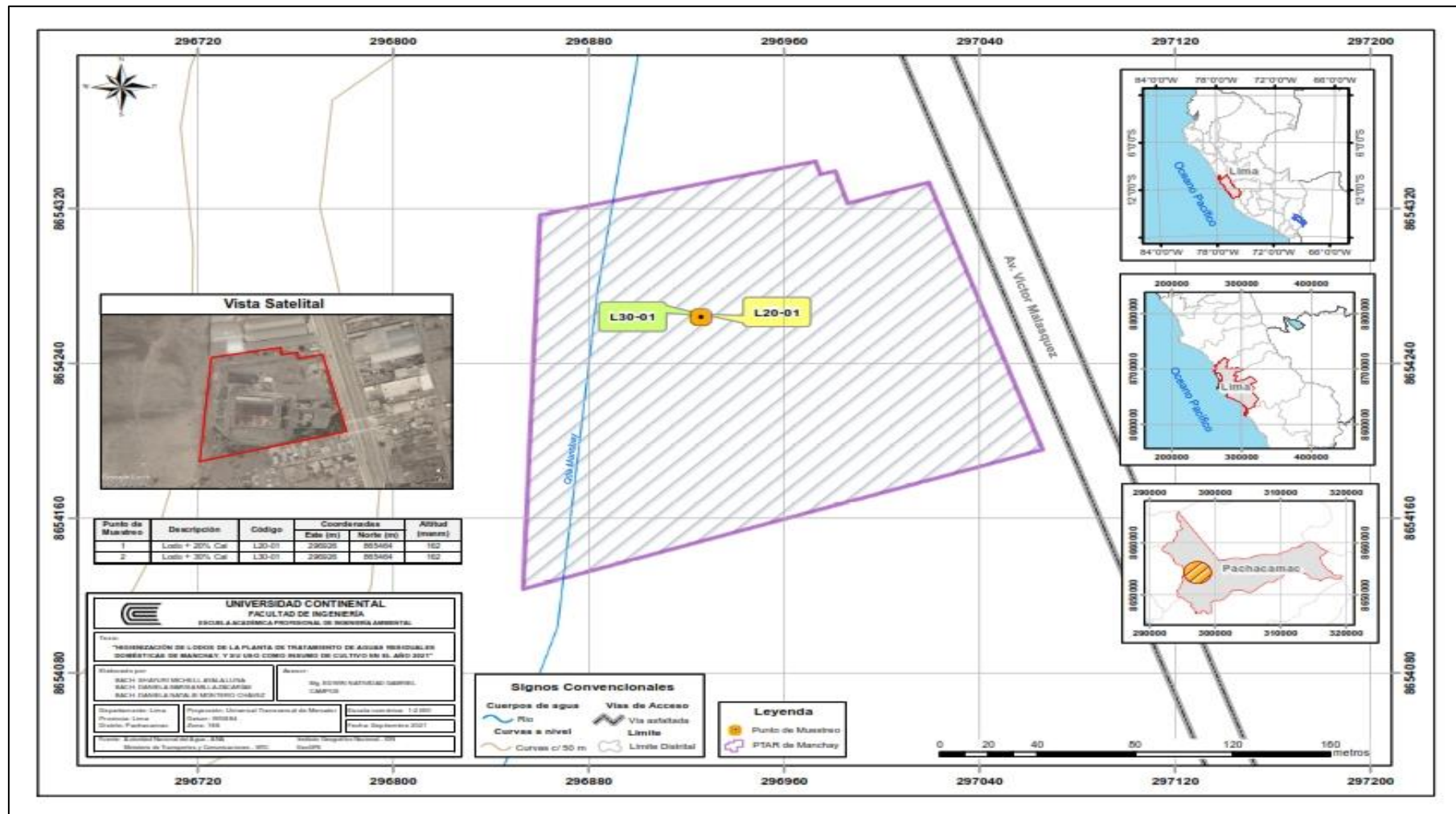
OBJETIVO	VARIABLES	SUBVARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
		Macronutrientes	Elementos necesarios en grandes cantidades para asegurar el crecimiento y la supervivencia de las plantas. Dentro de ellos, existen dos grupos: elementos primarios (N, P, y K) y secundarios (Ca, Mg y S).	Llevar la muestra de lodo a un laboratorio donde realizan análisis de lodo para ser sometido al método NOM-021-AS 08/SMWEE Part 4500 NH3 D, 4500NO2B, 4500NO3 E para obtener el nitrógeno y al método EPA Method 3050B - Rev.2/ EPA Method 200.7 - Rev. 4.4 para obtener fósforo y potasio, los resultados obtenidos permiten identificar la cantidad de metales y compararlo con la ley.	- Nitrógeno (mg/kg) - Potasio (mg/kg) - Fósforo (mg/kg)
		Estabilización de lodos	Proceso que se lleva a cabo a fin de reducir la presencia de patógenos, eliminar olores desagradables y reducir o eliminar su potencial putrefacción.	Llevar la muestra de lodo a un laboratorio donde realizan análisis de lodo para ser sometido al método adaptado SMEWW 23rd Ed.2017. Part 2540 E, APHA AWWA WEF Focod and Volatilo Solids Ignited al 550 °C para obtener Sólidos Volátiles y al método Adaptado SMEWW 23 rd Ed.2017. Part 2540 B APHA AWWA WEF. Total Dried at 103-105°C para obtener sólidos totales, los resultados permiten identificar la cantidad de sólidos totales y volátiles obtenidos y compararlo con la ley.	- % de sólidos totales. - % de sólidos volátiles.

OBJETIVO	VARIABLES	SUBVARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
	VARIABLE DEPENDIENTE Insumo de cultivos	Color del insumo de cultivo	Característica importante que permite identificar la calidad del insumo de cultivo y también la procedencia del lodo que se utilizó para realizar el insumo de cultivo.	Observar y anotar las variaciones que presenta el insumo de cultivo después de realizar la higienización con cal viva y también al ser mezclado con tierra, esto permite observar cual es la diferencia del lodo antes y después del proceso de higienización.	- Ficha de seguimiento.
		Textura del insumo de cultivo	Característica que indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el insumo de cultivo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el insumo y lo atraviesa.	Observar, tocar con guantes quirúrgico y anotar las variaciones que presenta el insumo de cultivo después de realizar la higienización con cal viva y también al ser mezclado con tierra, esto permite diferenciar el antes y después del proceso de higienización.	
Identificar los procesos, disposición y clasificación de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay.	Procesos, disposición y clasificación de los lodos	Procesos	Es un conjunto de etapas al cual se somete el agua para obtener como uno de los productos finales al lodo.	Consultar, recopilar información y realizar un diagrama de Flujo donde permita identificar y conocer los procesos, disposición y clasificación de lodos en la Planta de Tratamiento de Aguas	- Diagrama de flujo de procesos, disposición y clasificación de lodos de la PTAR de la Manchay.

OBJETIVO	VARIABLES	SUBVARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
		Disposición	Es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.	Residuales domésticas de Manchay.	
		Clasificación	Ordenamiento o disposición por clases de acuerdo con ciertas características del lodo. Establecidas de acuerdo con el Art 11° del D.S 015-2017-VIVIENDA.		
Evaluar el comportamiento de los cultivos en la etapa de germinación con los lodos higienizados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de Manchay.	Comportamiento de los cultivos en la etapa de germinación	Evaluación de la semilla	Es un proceso que se utiliza para determinar a través de criterios el comportamiento de la semilla en la etapa de germinación.	Observar y anotar en la Ficha de Seguimiento el tiempo de germinación de la semilla desde el momento de la siembra hasta la salida de la primera hoja, para diferenciar las variaciones en cada muestra.	- Tiempo de germinación de la semilla

OBJETIVO	VARIABLES	SUBVARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
Determinar la relación costo/beneficio de la higienización y disposición final de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Manchay.	Costo/beneficio de la higienización y disposición final	Evaluación del costo/beneficio de la higienización	Análisis de los beneficios y/o mejores resultados con el menor costo de inversión en la higienización.	Analizar y realizar una comparación de costo/beneficio entre la higienización y disposición final para determinar qué propuesta genera mayor ganancia.	- Relación de costo/beneficio.
		Evaluación del costo/beneficio de la disposición final	Análisis de los beneficios y/o mejores resultados con el menor costo de inversión en la disposición final.		

Anexo 2. Mapa de ubicación de la PTARD de Manchay.



Anexo 3. Aplicación de cal.



Fotografía 1. Salida de los lodos de la PTAR de Manchay.



Fotografía 2. Selección de muestras y aplicación de la cal.



Fotografía 3. Tratamiento con el 20 % de cal.



Fotografía 4. Tratamiento con el 30 % de cal.



Fotografía 5. Mezclado de muestras.



Fotografía 6. Selección de muestras.



Fotografía 7. Envasado de muestras.

Anexo 4. Recolección de muestras para su análisis en el laboratorio.



Fotografía 8. Vaciado de muestras para su análisis.



Fotografía 9. Rotulado de muestras.



Fotografía 10. Muestras selladas.

Anexo 5. Sembrado de la zanahoria.



Fotografía 11. Porcentaje de lodo.



Fotografía 12. Porcentaje de tierra.



Fotografía 13. Preparación de tratamiento.



Fotografía 14. Crecimiento de la semilla de zanahoria.



Fotografía 15. Germinación de cultivo de la zanahoria.

Anexo 6. Sembrado de la betarraga.



Fotografía 16. Porcentaje de lodo.



Fotografía 17. Porcentaje de tierra.



Fotografía 18. Sembrado de las semillas de betarraga.



Fotografía 19. Crecimiento del cultivo de betarraga.



Fotografía 20. Germinación del cultivo de la betarraga.