

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Valorización de Lodos Residuales provenientes de una Planta de
Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas a través del Proceso de
Compostaje en la Unidad Minera San Juan de Chorunga del
Departamento de Arequipa**

Tesis presentada por la Bachiller:
Peralta Apaza, Yudith Estefani
(0009-0008-0709-8318)
para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesor (a):
Dr. Colina Andrade, Gilberto de Jesús
(0000-0002-6623-0760)

Arequipa - Perú
2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 13 de Diciembre del 2023

Dictamen: 005835-C-EPIA-2023

Visto el borrador del expediente 005835, presentado por:

2015150132 - PERALTA APAZA YUDITH ESTEFANI

Titulado:

**VALORIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A TRAVÉS DEL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA
UNIDAD MINERA SAN JUAN DE CHORUNGA DEL DEPARTAMENTO DE AREQUIPA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29727348 - LAZARTE ARREDONDO SONIA
DICTAMINADOR**



**29611452 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR**



**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



Valorización de Lodos Residuales Provenientes de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas a Través del Proceso de Compostaje en la Unidad Minera San Juan de Chorunga del Departamento d

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Católica de Santa
María

Trabajo del estudiante

3%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

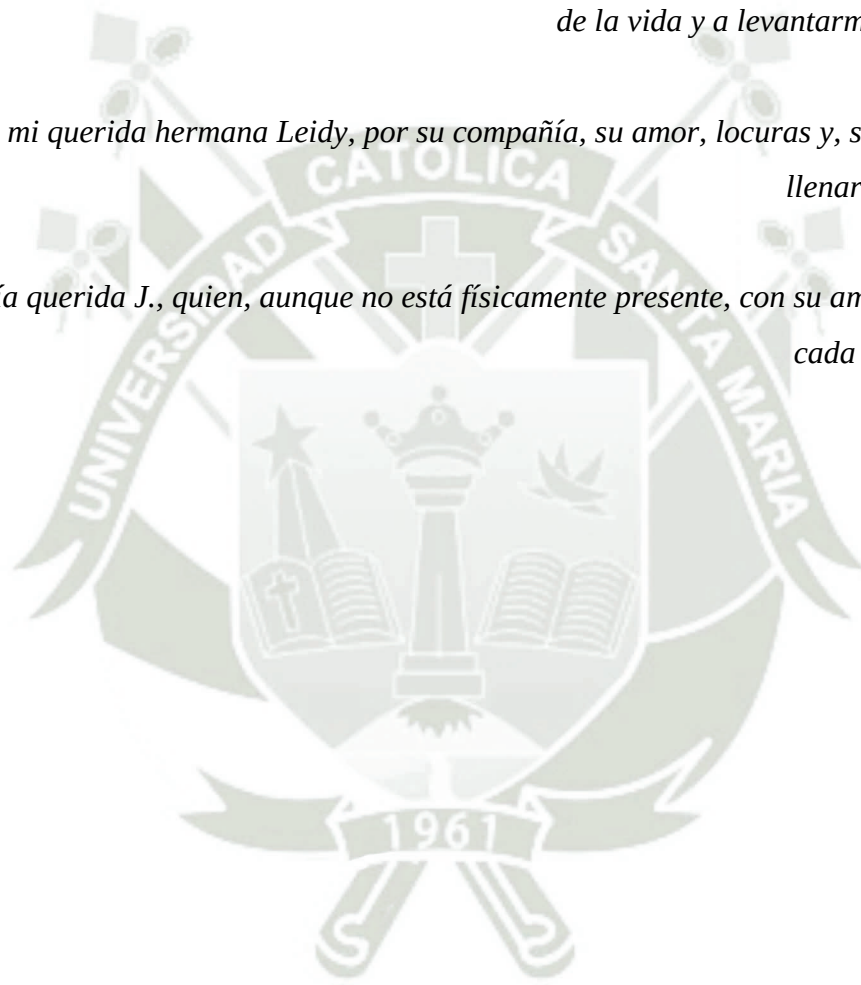
Dedicatoria

A mi amado padre Justo, quien siempre ha creído en mí. Por su confianza, su sacrificio, valor demostrado para salir adelante y amor incondicional.

A mi amada madre Sebastiana, mi heroína de capa larga, quien con su fortaleza, sabiduría y amor incondicional me ha enseñado a nunca rendirme ante los obstáculos de la vida y a levantarme en cada día.

A mi querida hermana Leidy, por su compañía, su amor, locuras y, sobre todo, por llenarme de alegría.

A mi tía querida J., quien, aunque no está físicamente presente, con su amor me guía en cada paso día a día



Agradecimiento

A mis padres y hermana, quienes siempre han sido el motor que impulsa mis sueños y esperanzas. Gracias por ser quienes son y por creer en mí.

A mi tío Segundino, por su confianza y apoyo recibido cuando lo necesite.

A mis docentes, Mag. Andrea Chanove y Dr. Gilberto Colina por su guía, apoyo y motivación para la culminación de la presente investigación.

Al ingeniero Héctor, por su confianza y exigencia, que han sido invaluableles.

A mis amigas, Yamilet, Hilda y Carmen, por su apoyo cuando las necesité, por estar ahí cuando mis horas de trabajo se hacían confusas.

A la Unidad Minera ubicado en San Juan de Chorunga, por permitirme realizar la presente investigación.

Agradezco a la universidad por abrirme las puertas, por las enseñanzas que me ha otorgado y las oportunidades brindadas para avanzar en mi carrera profesional, y especialmente a mi departamento por su constante apoyo.

RESUMEN

La contaminación ocasionada por la inadecuada disposición final de lodos residuales plantea nuevos desafíos en la búsqueda de alternativas para evitar impactos ambientales negativos. Por esta razón, la investigación tuvo como objetivo general valorizar lodos residuales que provenían de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas a través del proceso de compostaje en la unidad minera San Juan de Chorunga, ubicada en el departamento de Arequipa. Este proceso se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo experimental, con un alcance aplicativo. En el estudio, se tomaron muestras iniciales de los lodos residuales con el propósito de caracterizarlos. Posteriormente, las muestras pasaron por un proceso físico de desecación mediante la implementación de un desecador solar. Luego, se sometieron a un proceso químico de encalado, aplicando cal al 8% en función del peso de los lodos residuales, durante un periodo experimental de 5 días, con el fin de lograr su estabilización y transformación en biosólidos. Para la elaboración del compost, se llevaron a cabo dos tratamientos diferentes. En el tratamiento 1 se utilizó un 15% de biosólidos, mientras que en el tratamiento 2 se utilizó un 45% de biosólidos. En ambos casos, se incorporaron residuos orgánicos domésticos, aserrín y tierra fértil. Los resultados demostraron que el tratamiento 2 cumplió con los valores establecidos en la normativa NTP 201.208:2021. Fertilizantes. Se concluye que la valorización de lodos residuales comprende una alternativa de aprovechamiento de las propiedades que éstos poseen, para la obtención de compost que cumple con la normativa actual, mitigando los impactos ambientales negativos que genera la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la unidad minera San Juan de Chorunga, departamento de Arequipa.

Palabras clave: *Biosólidos, lodos residuales, estabilización, desecador solar, compost*

ABSTRACT

The contamination caused by the inadequate final disposal of residual sludge poses new challenges in the search for alternatives to avoid negative environmental impacts. For this reason, the general objective of the research was to value residual sludge that came from a domestic wastewater treatment plant through the composting process at the San Juan de Chorunga mining unit, located in the department of Arequipa. This process was developed under a quantitative approach and applying an experimental design with a correlational scope. In the study, initial samples of the residual sludge were taken for the purpose of characterizing them. Subsequently, the samples went through a physical drying process through the implementation of a solar desiccator. Then, they were subjected to a chemical liming process, applying 8% lime based on the weight of the residual sludge, for an experimental period of 5 days, in order to achieve its stabilization and transformation into biosolids. For the elaboration of the compost, two different treatments were carried out. Treatment 1 used 15% biosolids, while treatment 2 used 45% biosolids. In both cases, domestic organic waste, sawdust and fertile soil were incorporated. The results showed that treatment 2 complied with the values established in the NTP 201.208:2021. Fertilizers. It is concluded that the recovery of residual sludge comprises an alternative to use the properties that they possess, to obtain compost that complies with current regulations, mitigating the negative environmental impacts generated by the unit's domestic wastewater treatment plant. San Juan de Chorunga mine, department of Arequipa.

Key words: *Biosolids, sewage sludge, stabilization, solar desiccator, compost.*

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1. Problemática de la investigación.....	4
1.2. Justificación.....	6
1.3. Objetivos	9
1.4. Hipótesis.....	9
CAPÍTULO II.....	10
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	11
2.1. Antecedentes de la investigación	11
2.2. Marco teórico	16
2.3. Marco legal.....	33
CAPÍTULO III.....	37
3. METODOLOGÍA.....	38
3.1. Tipo y nivel de investigación	38
3.2. Diseño de la investigación.....	38
3.3. Materiales y equipos de medición.....	41
3.4. Métodos de investigación.....	42
3.4.1. Etapa 1. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos iniciales del lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la unidad minera San Juan de Chorunga.	42
3.4.2. Etapa 2. Obtención de biosólidos a través de la estabilización de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el proceso de secado y encalado	44
3.4.3. Etapa 3. Determinación de las condiciones adecuadas para la elaboración de compost bajo diferentes formulaciones utilizando los biosólidos obtenidos.....	48
3.5. Diagrama de flujo del proceso completo de valorización de lodos residuales.....	52

CAPÍTULO IV	54
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1. Resultados	55
4.1.1. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos iniciales del lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la unidad minera San Juan de Chorunga.....	55
4.1.2. Elaboración de biosólidos utilizando el lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Unidad Minera San Juan de Chorunga.....	57
4.1.3. Determinación de los parámetros óptimos para la elaboración de compost bajo diferentes formulaciones utilizando los biosólidos obtenidos en la unidad minera San Juan de Chorunga.....	60
4.2. Efecto de los factores meteorológico en el proceso de compostaje	71
4.3. Balance de Materia y energía del proceso de valorización de lodos residuales	71
4.3.1. Balance de Materia y energía de cada tratamiento	73
CAPÍTULO V	75
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1. CONCLUSIONES	76
5.2. RECOMENDACIONES	77
CAPÍTULO VI	78
6. REFERENCIAS	79
ANEXOS	91
Anexo 1. Proceso de tratamiento de aguas residuales de la Unidad Minera San Juan de Chorunga.....	92
Anexo 2. Cadena de custodia – análisis de lodos residuales	105
Anexo 3. Informe de Ensayo del Análisis de la caracterización inicial de los Lodos Residuales	106
Anexo 4. Comportamiento del pH y la Temperatura durante la prueba de tratamiento alcalino.....	109
Anexo 5. Certificados de calibración	110
Anexo 6. Balance del proceso de secado del lodo residual	124
Anexo 7. Análisis de la estabilización de lodos	125
Anexo 8. Análisis de la calidad de compost – Tratamiento 1.....	129
Anexo 9. Análisis de la calidad de compost – Tratamiento 2.....	135
Anexo 10. Prueba Estadística	141
Anexo 11. Meteorología.....	142
Anexo 12. Factores meteorológicos	146
Anexo 13. Fotografías	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Compuestos contaminantes en una planta de tratamiento de aguas residuales	19
Tabla 2. Tipos de lodos residuales.....	21
Tabla 3. Tipos de tratamiento de lodos.....	26
Tabla 4. Parámetros para ser considerado biosólido de Clase A y Clase B	29
Tabla 5. Parámetros de control	31
Tabla 6. Operacionalización de Variables	39
Tabla 7. Coordenadas geograficas de la zona de estudio	40
Tabla 8. Coordenadas de toma de muestra del lodo residual	43
Tabla 9. Estándares de comparación	43
Tabla 10. Porcentaje de cal viva de acuerdo al porcentaje de lodo residual	46
Tabla 11. Frecuencia de medición de los parámetros de control.....	47
Tabla 12. Detalle de los insumos en cada tratamiento para pilas de 60 kg	49
Tabla 13. Frecuencia de monitoreo de parámetros de seguimiento.....	50
Tabla 14. Parámetros para evaluar la calidad del compost obtenido.....	51
Tabla 15. Resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos del lodo.....	55
Tabla 16. Resultados del análisis de parámetros de higienización.....	56
Tabla 17. Comportamiento de pH durante el proceso de estabilización y secado	57
Tabla 18. Comportamiento de la temperatura durante el proceso de estabilización y secado.	57
Tabla 19. Resultados de la evaluación del lodo estabilizado.....	58
Tabla 20. Resultados de la reducción de parámetros que excedían la normativa.....	59
Tabla 21. Análisis de la calidad del Tratamiento N° 1	60
Tabla 22. Análisis de la calidad del Tratamiento N° 2	61
Tabla 23. Comparación de valores de calidad de compost con la normativa.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tecnologías para el tratamiento de Aguas Residuales.....	20
Figura 2. Diagrama donde se muestra los métodos de compostaje.....	32
Figura 3. Ubicación de la zona del proyecto	40
Figura 4. Diseño del prototipo realizado en el software Autodesk Inventor.....	44
Figura 5. Construcción del desecador solar.....	45
Figura 6. Base del desecador cubierta con geomembrana.....	46
Figura 7. Lodo residual con cal en el desecador solar.....	46
Figura 8. Inicio del proceso de secado del lodo residual.....	47
Figura 9. Biosólido obtenido después de 5 días	48
Figura 10. Biosólido triturado	48
Figura 11. Compost cosechado.....	51
Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de valorización de los lodos residuales.....	53
Figura 13. Comparación de parámetros de calidad según tratamiento.....	62
Figura 14. Humedad del compost.....	62
Figura 15. pH del compost	64
Figura 16. Conductividad eléctrica del compost	65
Figura 17. Relación carbono nitrógeno C: N del compost	66
Figura 18. Materia orgánica del compost	68
Figura 19. Nitrógeno del compost.....	69
Figura 20. Diagrama general del balance de masa durante el proceso de valorización de lodos residuales	72

INTRODUCCIÓN

La unidad minera de San Juan de Chorunga se encuentra ubicada en Río Grande en la provincia de Condesuyos, a 330 km hacia el noroeste de Arequipa, este yacimiento minero está formado por vetas auríferas por lo tanto se dedica a la extracción de dicho mineral. Esta unidad posee una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTAR) en funcionamiento, por lo tanto, genera residuos, como los lodos que deben ser transportados y dispuestos de manera adecuada.

Los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTAR) se generan debido a la agrupación de sólidos que contienen los efluentes, también son producto de la formación de nuevos sólidos suspendidos de los sólidos disueltos, estos sólidos pueden encontrarse en estado líquido, sólido o semisólido que resultan de las operaciones mecánicas del tratamiento de los excedentes líquidos residuales en las plantas de tratamiento, por lo tanto contienen elevada materia orgánica, metales pesados, agua, microorganismos, macro y micronutrientes. Se generan grandes volúmenes de lodos diarios conteniendo microorganismos patógenos que pueden ser considerados como riesgo para la seguridad y la salubridad del entorno ambiental (Amador et al., 2015).

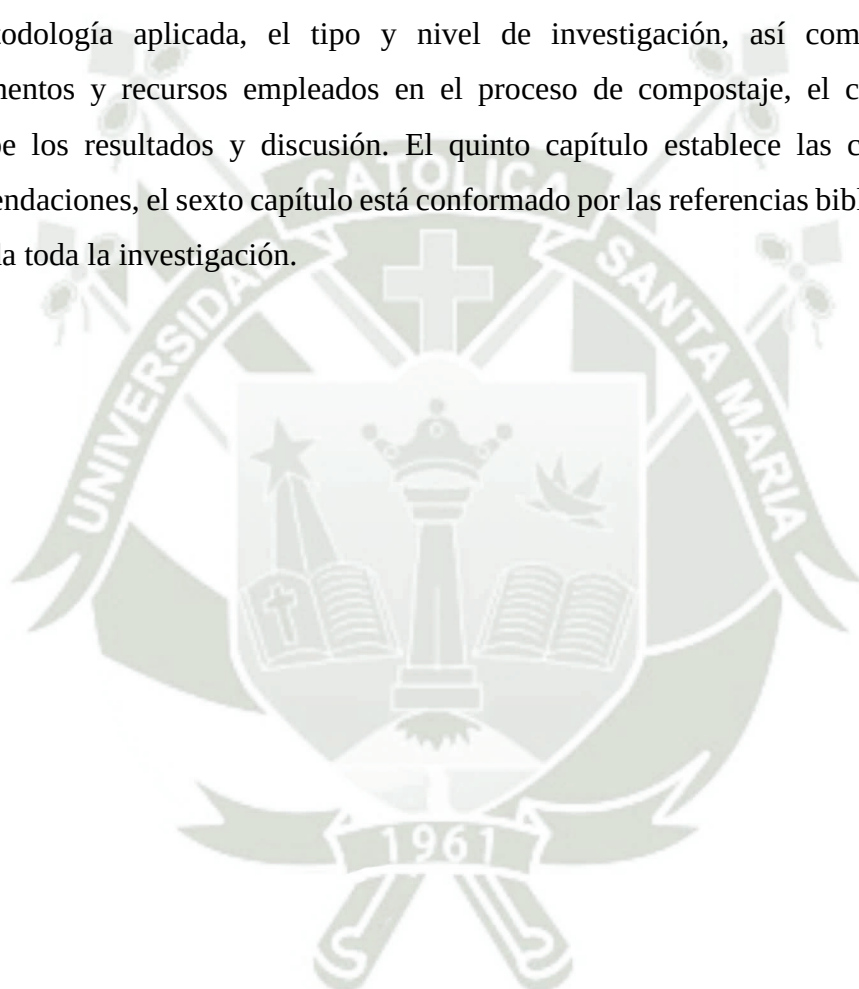
En los últimos años se ha incrementado el uso de abonos orgánicos entre los agricultores, debido a que los fertilizantes químicos involucran un costo elevado y este afecta su economía (Vicente & Vigil, 2012).

Dentro de la normativa peruana en materia ambiental se destaca el DS N°015-2017 Vivienda "normativa para el reaprovechamiento de los biosólidos provenientes de la estabilización de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales" que detalla las características de los lodos para su transformación en biosólidos y todos los parámetros que debe cumplir para poder ser reaprovechados respectivamente. (D.S. N° 015-2017-Vivienda, 2017).

Actualmente, la unidad minera San Juan de Chorunga dispone de estos lodos en el relleno sanitario autorizado de la empresa, lo que cubre los costos internos de transporte. Sin embargo, la gran cantidad de lodos generados reduce la vida útil de este relleno sanitario. Además, la acumulación de los lodos residuales para su disposición final genera malos olores, atrae posibles vectores y en el traslado posibles derrames, generando riesgos ambientales. Por lo tanto, se propone valorizar los lodos residuales de la PTAR a través del proceso de compostaje para reutilizar este residuo. De esta manera, la unidad minera se beneficiaría al reducir los costos operativos y mitigar los impactos ambientales que se generan. Además, el compost resultante podría ser utilizado para mejorar la estructura de

los suelos, proporcionando un ambiente favorable para el crecimiento de las plantas, lo que podría ser beneficioso para el cierre de los componentes ambientales y/o reforestación de distintas áreas.

En el primer capítulo de la presente investigación se encuentra el planteamiento del problema, que indica la problemática, justificación, objetivos e hipótesis de la investigación, mientras que el segundo capítulo está conformado por el fundamento teórico que indica los antecedentes, marco teórico y marco legal. El tercer capítulo explica la metodología aplicada, el tipo y nivel de investigación, así como el método, instrumentos y recursos empleados en el proceso de compostaje, el cuarto capítulo describe los resultados y discusión. El quinto capítulo establece las conclusiones y recomendaciones, el sexto capítulo está conformado por las referencias bibliográficas que respalda toda la investigación.





CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la investigación

En el Perú una de las actividades productivas más lucrativas y que involucran demanda es la minería, esta industria representa y genera gran cantidad de inversiones, ingresos y exportaciones, promoviendo el empleo a nivel nacional (Brousset et al, 2021). No obstante, así como genera impacto positivo en la economía del país, también ha creado diferentes conflictos socioambientales debido a la alteración de la calidad del ambiente por la generación de residuos, siendo uno de ellos la generación de lodos a causa de la depuración de efluentes.

Las excedentes líquidos residuales domésticos se caracterizan por tener dentro de su composición una alta carga de material orgánico, proveniente de los residuos sólidos, desechos humanos y fisiológicos (Berrio, 2021), es por ello que, cuando se realiza la depuración de efluentes residuales, se conciben como subproductos lodos ricos en nutrientes, materia orgánica, organismos patógenos y, en menor cantidad, metales pesados, siendo los dos últimos los que dificultan su aprovechamiento y disposición final, convirtiendo a dicho residuo en un potencial contaminante para el ambiente (Mancipe & Triviño, 2018).

Disponer adecuadamente de los lodos residuales involucra operaciones de transporte y disposición final costosas, por este motivo gran parte de estos son vertidos en los sistemas de alcantarillado o en fuentes hídricas superficiales, induciendo a la alteración del entorno ambiental (Cupe & Juscamaita, 2018).

Hoy en día, se promueven iniciativas para que todo residuo sea reutilizado y valorizado, y en el caso de los lodos no es la excepción, los cuales pueden ser aprovechados de distintas formas cuando se estabilizan, Mancipe & Triviño (2018) señalan que la alternativa más común es su aplicación como abono, debido a la carga de nutrientes que contiene; sin embargo, su uso está restringido bajo normativa en algunos países, ya que el biosólido, lodos estabilizados, deben cumplir con ciertas características.

A nivel regional en la zona sur del país se desarrolla la explotación minera de manera informal e ilegal. En Arequipa, la extracción de mineral se da de forma artesanal y a pequeña escala (Delgado, 2019), por lo tanto, en muchas de estas minas no se logra el manejo adecuado de los residuos, provocando la presión de los recursos, tales como agua, suelo, aire, flora y fauna respectivamente.

Múltiples autores estudiaron y aplicaron diversas técnicas para estabilizar y reutilizar los lodos residuales y/o biosólidos; por ejemplo, en la región de Arequipa. Huanqui (2018) aborda en su estudio el análisis de lodos generados en una PTAR y la implementación de técnicas de tratamiento térmico para transformar dichos lodos en suplementos para el suelo, siguiendo los lineamientos planteados en la R.M. N° 024-2017-Vivienda, norma que establece los parámetros para que un lodo se considere biosólido.

Ahora bien, la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la unidad minera San Juan de Chorunga cuenta con una serie de procesos para reducir los contaminantes de dichas aguas. Durante estos procesos, se generan una cantidad considerable de lodos residuales mixtos (aproximadamente 1m³ al día) provenientes de la decantación primaria y secundaria. Estos lodos presentan una concentración de aproximadamente el 0.80 % de masa y contiene un alto contenido de agua, sólidos orgánicos, grasas y microorganismos, como es el caso de *Escherichia coli* 7.6 x⁶ NMP/gST y *Salmonella* sp con una concentración de 25.42 NMP/10g ST, los cuales provienen de los lodos de decantación primario (proceso físico) y la mezcla de los lodos de decantación secundaria que involucran procesos biológicos, generando lodos mixtos. Estos lodos mixtos son dispuestos en áreas donde se les reduce el contenido de humedad mediante secado al aire libre para posteriormente ser extraídos y transportados para su disposición final al relleno sanitario reduciendo su vida útil e incurriendo en costos adicionales para la empresa al momento de su disposición final; sin embargo, con una adecuada tecnología, dichas características pueden ser aprovechadas debido a su alto valor agronómico.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación Ambiental

En la actualidad las investigaciones sobre tratamiento de aguas residuales se encuentran en auge, se proponen tecnologías para hacer más eficiente y más rentable el tratamiento; sin embargo, los lodos que se generan producto del proceso son dejados en segundo plano la gran mayoría de veces, dichos lodos sin un adecuado manejo representan un peligro para la estabilidad del suelo, se convierten en vectores de plagas e impactan negativamente en la calidad ambiental tanto a nivel de cuerpos de agua, suelos, aire y atmósfera, por los lixiviados que producen y las emisiones gaseosas (Huamani, 2020), tal es el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la unidad minera San Juan de Churunga, pues se produce una alta cantidad de lodos residuales que solo son dispuestos en un relleno sanitario, reduciendo las posibilidades de aprovechar los beneficios que nos ofrecen, es por ello que, ahondar en la caracterización de estos lodos y evaluar tecnologías para su transformación en biosólidos y posterior aprovechamiento contribuye a la minimización de su impacto ambiental y por ende a la conservación del medio ambiente, de acuerdo a lo establecido en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) específicamente con el ODS número 15, el cual busca detener e invertir la degradación de tierras y detener la pérdida de biodiversidad (ONU, 2015; citado en Uzcátegui, 2016), pues al tratar adecuadamente estos lodos residuales, se abren posibilidades de reaprovechamiento en temas de producción de abonos orgánicos que pueden ser utilizados por la unidad minera para la producción de plántones forestales y promover la ejecución de futuras campañas de forestación.

1.2.2. Justificación Social

Huanqui (2018) señala que los lodos residuales almacenados hasta su disposición final emanan malos olores, además, cuando no se les da un adecuado manejo, tienen el potencial de convertirse en focos infecciosos que atraen plagas o causan enfermedades infecciosas. En el caso de la unidad minera San Juan de Churunga, los malos olores que emanan estos lodos por el tiempo de almacenamiento que transcurre hasta su disposición final pueden ocasionar molestias en los trabajadores y población cercana, es por ello que al transformar los lodos en biosólidos y aprovecharlos para la elaboración de compost se contribuirá de forma

positiva a la reducción de olores y de acuerdo a lo indicado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) el año 2015 en su Objetivo de Desarrollo Sostenible número 3, garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades es esencial para el desarrollo sostenible, el aprovechamiento de lodos residuales reducirá el riesgo biológico, velando por la salubridad de los trabajadores y población aledaña, además de reducir el impacto visual del área de acumulación.

1.2.3. Justificación Económica

Cualquier actividad realizada genera aguas residuales, según la normativa dispuesta por el país, éstas deben ser tratadas y alcanzar valores por debajo de los límites establecidos (Rincón, 2019). En la unidad minera San Juan de Chorunga, los lodos residuales producidos son aireados previamente a su traslado al relleno sanitario para reducir la humedad presente, el traslado se realiza a través de una Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EO-RS), lo cual genera costos operativos, pues dicha EO-RS incrementa sus costos de acuerdo al peso de residuos transportados, por lo que al caracterizar estos lodos y evaluar su posible reutilización en procesos de producción de abonos orgánicos es posible revalorarlos, reduciendo costos en cuanto a su disposición final y almacenamiento temporal.

Por otro lado, según la utilidad que se les brinde a los lodos residuales, también pueden resultar rentables al generar ingresos trabajando con nuevas industrias (Cabrales, Ulloa & Almenares, 2018), en este caso, se utilizarán los lodos residuales para la elaboración de biosólidos que aceleran el proceso de compostaje, obteniendo de este modo abonos orgánicos que pueden ser usados por la empresa para la ejecución de proyectos de reforestación, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos y contribuyendo a la regeneración de la estructura del suelo, así mismo, se puede optar por la donación de este tipo de abonos a la población cercana para sus cultivos y a la vez fortalecer los vínculos.

1.2.4. Justificación Tecnológica

La inadecuada disposición final de los lodos residuales originados en una planta de tratamiento de aguas residuales provoca la alteración físico química de los componentes ambientales con los que tienen contacto (Huanqui, 2018).

En la unidad minera San Juan de Chorunga se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas donde se obtienen lodos residuales, estos lodos solamente son secados al aire libre y dispuestos en el relleno sanitario de la empresa, lo cual reduce la vida útil del relleno y no permite brindarle un adecuado manejo a este tipo de residuos, es por ello que la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos residuales, permitirá la aplicación de tecnologías apropiadas para su estabilización y transformación en biosólidos, como el caso del secado térmico, pues es una tecnología eficiente, rentable, con validez científica y que se ajusta a las condiciones de la unidad minera San Juan de Chorunga, permitiendo ser replicada en otras unidades similares, además, facilita el aprovechamiento del biosólido, reduciendo la concentración de patógenos y contaminantes originados por el inadecuado manejo de lodos residuales.

1.2.5. Justificación política/institucional

Actualmente no se le da la importancia debida al manejo de los lodos resultantes de la planta de tratamiento de aguas residuales, la disposición final que se le da a través de un relleno sanitario o de seguridad agota la capacidad de estos y la puesta en práctica de los estudios realizados para su reúso en el Caribe y América Latina son escasos (Ruiz & Quevedo, 2017), tal es el caso de la unidad minera San Juan de Chorunga, ya que los lodos residuales provenientes de su planta de tratamiento de aguas residuales domésticas no reciben un adecuado manejo.

La ley de gestión integral de residuos sólidos (D.L. N° 1278), MINAM (2017), incluye el término de valorización de residuos, promoviendo la evaluación de su capacidad de reaprovechamiento, específicamente en el art. 6 describe los lineamientos para gestionar apropiadamente los residuos, es por ello que la presente investigación busca la valorización de los lodos residuales de la unidad minera San Juan de Chorunga, para poder elaborar biosólidos que faciliten la obtención de abonos orgánicos que beneficiarán a las comunidades locales, así mismo beneficiará a la unidad minera, pues estos residuos recibirán un adecuado manejo, reduciendo costos de operatividad, prolonga el tiempo de vida del relleno sanitario, además, se mitigan impactos ambientales negativos producto de un mal

manejo de estos residuos, finalmente, mediante este proceso se asegura el cumplimiento de la normativa vigente (D.S. N° 015-2017-VIVIENDA y R.M. N° 024-2017-VIVIENDA) y se estarían evitando sanciones penales o multas por parte de las autoridades fiscalizadoras.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Valorizar lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas a través del proceso de compostaje en la unidad minera San Juan de Chorunga del departamento de Arequipa.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos iniciales del lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la unidad minera San Juan de Chorunga.
- Obtener biosólidos a través de la estabilización de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el proceso de desecado y encalado.
- Determinar las condiciones adecuadas para la elaboración de compost bajo diferentes formulaciones utilizando los biosólidos obtenidos.

1.4.Hipótesis

A través de la aplicación de tecnologías de tratamiento y estabilización se pueden modificar las características fisicoquímicas y microbiológicas del lodo residual, por lo tanto, es posible que el uso de biosólido generado en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTAR) de la unidad minera San Juan de Chorunga permita obtener compost con las características de calidad en el departamento de Arequipa.



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Ruiz & Quevedo (2017), en la investigación titulada “Análisis de los lodos provenientes del proceso de tratamiento de aguas residuales del municipio de Guatavita”, aplicaron una metodología dividida en cuatro etapas que consisten en el reconocimiento de instalaciones, la toma de las muestras, el análisis en laboratorio y la evaluación de la información obtenida, por lo tanto la presente investigación presentó también diferentes fases para llegar a obtener el compost a partir de lodos residuales previamente estabilizados con cal. Los hallazgos más relevantes fueron que al realizar la caracterización final de lodos residuales, estos no cumplen lo establecido en la normativa, sin embargo, se encuentran dentro de los límites, esto significa que se puedan utilizar en el manejo de suelos y agricultura. Adicionalmente se pudo observar que, para aumentar los nutrientes, mejorar la estructura del material y usarlo como compost, se debe mezclar con fermento de maíz y desechos de poda, por lo tanto, se tuvo en cuenta la posibilidad de contar con algún aditivo para que el compost presente las características de calidad necesarias.

Montesinos (2017), en la investigación titulada “Caracterización de efluentes de mina para la elección de la alternativa óptima de tratamiento”, aplica una metodología experimental que consta de tres etapas, iniciando con la caracterización de los materiales mineros, seguidamente la caracterización de los efluentes y finalmente la selección de alternativas para la depuración de los lodos residuales, esto sirvió para que la presente investigación tome como guía las alternativas de tratamiento de lodos, escogiendo el tratamiento que más se adecue a los lodos residuales, en este caso la cal. Los hallazgos más relevantes fueron que se logró identificar que las características de los lodos residuales varían según la litología y mineralogía del nivel de la mina, y que deben ser tratadas según el pH y carga metálica que poseen mediante pasivos y activos. El mayor consumo en Neutralización Directa es causado por la redisolución de los sólidos de las fases Fe y Al cuando el pH presenta valores de 7, lo que resulta en un mayor consumo de cal, por lo tanto, se tuvo en consideración el control de parámetros en el proceso de compostaje para evitar efectos negativos.

Vásquez & Vargas (2018), en la investigación titulada “Aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Funza como insumo

de cultivo y mejoramiento del suelo”, aplicaron una metodología experimental en la cual se analiza la zona y la generación de lodos residuales para luego poder hacer una comparación entre su utilización en cultivos, de esta manera poder demostrar su eficiencia en los mismos y demostrar que es un producto aprovechable. Por lo tanto, sirve de guía para la presente investigación debido a que indica los materiales utilizados para estabilizar los lodos, así como los tiempos de contacto y tratamiento de lodos. Los hallazgos más relevantes fueron que la concentración de materia orgánica en el lodo examinado da resultados favorables para su uso en el desarrollo del suelo ya que mitiga los efectos negativos de la sal, por lo tanto, es posible tratar los lodos para reutilizarlos como enmiendas o fertilizantes. El uso de biosólidos creado por la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Funza cumple lo establecido en el decreto 1287 del 10 de julio de 2014, que establece las condiciones para el uso de biosólidos.

Onofre (2018), en la investigación 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”, en su metodología propone alternativas de uso para lodos residuales y plantea una gestión para los lodos generados por las empresas mineras peruanas, esto sirve para tener en cuenta los posibles usos del compost y determinar la justificación ambiental de la presente investigación. Los principales hallazgos fueron que luego de tratar adecuadamente los lodos residuales, estos pueden convertirse en materia prima para la mejora de suelos de cultivo, haciéndolos más nutritivos, por lo tanto, recomienda que las compañías mineras peruanas introduzcan esta gestión de lodos residuales para poder cumplir la normativa vigente y evitar costos de transporte y disposición final de estos residuos contaminantes, mejorando las condiciones de vida de las zonas aledañas.

Noriega (2018), en la investigación titulada “Tratamiento de lodos por el método de digestión anaerobia termofílica para la obtención de biosólidos estabilizados provenientes de la laguna de estabilización secundaria de aguas servidas-Puno”, en su metodología, propone un diseño experimental que permite caracterizar estos lodos residuales y luego proceder a la digestión anaerobia para su estabilización, por lo tanto se tuvo en cuenta esta metodología para adaptar y mejorar la evaluación inicial de los

parámetros de los lodos residuales, considerando el tiempo, los materiales y la toma de muestras. Los hallazgos más importantes fueron que luego de realizar la caracterización de los lodos residuales, estos contaban con los parámetros adecuados según la literatura permitiendo su utilización como fertilizantes para suelos agrícolas luego de la estabilización por digestión anaerobia pues este procedimiento permite inactivar y eliminar los microorganismos nocivos presentes en estos lodos residuales.

Huanqui (2018), en la investigación titulada “Aprovechamiento de biosólidos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual en una Unidad Operativa Minera – 2018”, aplica una metodología en la que luego de identificar la problemática de la unidad operativa minera respecto a los lodos residuales de la PTAR, estos se caracterizaron física, química y microbiológicamente para luego seleccionar las tecnologías que se utilizaran para su tratamiento y se procedió a la elaboración del mismo. Al igual que en la tesis mencionada, en la presente investigación se realizó una caracterización inicial de los parámetros físico químicos y biológicos, una vez estabilizados los lodos debido a que excedían los parámetros de materia orgánica, *E. coli* y salmonella, se midieron nuevamente los parámetros para verificar los valores y seguir con el procedimiento de compostaje. Los principales hallazgos fueron que los lodos caracterizados no llegan a cumplir los parámetros de higienización y estabilización, pero no presentan toxicidad por metales pesados y en base a esto se seleccionó la tecnología adecuada para poder modificar los parámetros obtenidos, diseñando un horno de manera exitosa para el tratamiento de los mismos. Por lo tanto, la presente investigación replica el método de secado de lodos construyendo un desecador solar con las condiciones necesarias para su funcionamiento.

Flores (2018), En la investigación titulada "Análisis de lodos de la planta de tratamiento de la Universidad Rafael Landívar para su uso como abono orgánico", se llevó a cabo una evaluación del lodo como abono orgánico mediante la caracterización fisicoquímica y microbiológica, utilizando una metodología descriptiva. Para la obtención de la muestra, se extrajeron cinco muestras de 500 mL cada una para su análisis y para conocer sus características fisicoquímicas. Los parámetros medidos incluyeron humedad, nitrógeno total, fósforo total, potencial de hidrógeno, coliformes fecales y metales pesados. La conclusión de la investigación señala que los lodos no cumplen con los LMP en microbiología, pero sí cumplen con

los límites de metales pesados establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Este estudio, para la presente investigación, destaca la importancia de realizar un análisis inicial de caracterización de los lodos residuales para determinar los tipos de tratamiento necesarios.

Agüero (2019), en la investigación 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”, aplica una metodología de tipo experimental, de método inductivo para obtener resultados generales y de diseño longitudinal ya que se está midiendo en más de una ocasión los parámetros de la muestra de lodos residuales. Por lo tanto, esta información es útil para determinar la medición de parámetros, la cantidad de mediciones y los métodos usados. Los hallazgos más importantes fueron que luego de aplicar el tratamiento propuesto se logró eliminar Nitritos, Nitrógeno amoniacal, sulfatos y fosfatos mediante la aplicación de lombricultura para poder estabilizar y transformar estos lodos residuales y reducir las impurezas eficazmente. También es relevante, que la calidad de los lodos aumentó con menores niveles de contaminantes como nitrógeno amoniacal, nitritos y sulfatos, debido a que estudios previos habían demostrado que los nitritos y sulfatos pueden dañar el ambiente donde se dosificará, ya que produciría acidez, finalmente, se tuvo en cuenta que los niveles de nitrógeno del compost obtenido cumplan con lo indicado en la normativa.

Huamán & Huamán (2019), en la investigación titulada "Análisis y tratamiento de lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba para la obtención de compost y ladrillos combustibles", el diseño de investigación se clasifica como experimental y cuantitativo. Inicialmente, se llevaron a cabo determinaciones de las características físico-químicas y biológicas de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales. Posteriormente, se desarrollaron dos alternativas de tratamiento: la elaboración de compostaje y la fabricación de ladrillos combustibles. Para la obtención del compost, se realizaron tres pruebas utilizando diferentes proporciones de sustratos, como lodo, hojarasca de maíz y estiércol de cuy. Esta información nos ayuda a comprender la importancia de llevar a cabo diversas pruebas de compost con diferentes proporciones de sustrato, en consecuencia, nos ha servido como respaldo en la elaboración del compost. En cuanto a la fabricación de

ladrillos o pellets para usar como combustible, se mezcló el lodo con aserrín y cáscara de trigo en tres pruebas con diferentes cantidades. Como resultado, se determinó que la mejor proporción para el compost es mezclar el 60% de lodos con el material base, el 30% de hojarasca de maíz y el 10% de abono orgánico. En cuanto a la elaboración de ladrillos combustibles, la mezcla óptima consiste en el 43% de lodo, el 48% de aserrín y el 3% de agua, generando un poder calorífico de 77.5 Kcal. En conclusión, ambas alternativas demostraron ser efectivas en la aplicación de tratamiento a los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba.

Huamani (2020), en la investigación titulada “Evaluación del proceso de tratamiento de agua residual y sus lodos como subproducto, en una planta compacta de depuración por lodos activados”, en su metodología indica que se debe analizar el área de estudio en sus aspectos de hidrología y geología, además de la calidad de suelo, agua y aire, para luego analizar los lodos residuales y realizar diferentes alternativas para estabilizar estos. Por lo tanto, la presente investigación también analizó el origen de los lodos residuales en la descripción del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la unidad minera San Juan de Chorunga. Los principales hallazgos fueron que la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales es óptima, removiendo los contaminantes en el proceso y además se logra una estabilización de los lodos residuales considerando que estos pueden ser reutilizados y dejar de ser considerados como residuos. La fertilidad del biosólido se comparó con los parámetros de fertilizantes según NTP 311.557; en base a esto, se determinó que el biosólido obtenido es un acondicionador apropiado, mientras que en la presente investigación se utilizó la NTP 201.208:2021. Fertilizantes para establecer la calidad del compost.

Candela (2020), la investigación titulada "Propuesta de estabilización y aprovechamiento de lodos de PTAR y BES en Perú basadas en su caracterización fisicoquímica y microbiológica" tuvo como objetivo principal determinar si los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales y los lodos de los baños ecológicos secos cumplen con las características establecidas en el DS N°015-2017-VIVIENDA. En esta investigación, se visitaron ocho PTAR y tres BES, se recolectaron muestras de cada uno de estos componentes y se enviaron a analizar. Durante el análisis, se

encontró presencia de *E. coli* en todas las concentraciones, superando los límites permitidos. Como respuesta a este hallazgo, se propusieron diversas alternativas de estabilización, entre las cuales se incluye el secado térmico o solar. Este método está siendo utilizado en la investigación actual para la higienización de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UMSJCH.

Ayala et ál. (2022), en la investigación titulada "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", se llevó a cabo una investigación de tipo aplicada. En este estudio, se definieron las características de los lodos a tratar con el objetivo de evaluarlas, compararlas e interpretarlas. Se aplicaron diversos tratamientos a los lodos utilizando cal viva al igual que en la presente investigación.

En la primera etapa, se seleccionó la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) considerando la cantidad promedio mensual de lodos generados en la PTAR, eligiendo finalmente la PTAR de Manchay. Posteriormente, se procedió a la recolección de muestras de lodos para determinar los parámetros químicos, biológicos y de higienización a través de análisis de laboratorio. Con base en los resultados obtenidos, se optó por aplicar un tratamiento alcalino durante 7 días, con un pH mínimo de 12, utilizando cal viva en concentraciones del 20% y 30%. Para concluir, se realizó un segundo análisis de laboratorio comparando los resultados con el D.S N°015-2017-VIVIENDA y la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Finalmente, los biosólidos resultantes fueron utilizados en cultivos de zanahoria, y se concluyó que el tratamiento con el 30% de cal viva fue más efectivo, además, los parámetros de comparación se encontraron dentro del rango permitido según las normativas mencionadas.

2.2.Marco teórico

2.2.1. Aguas Residuales

Las aguas residuales son el producto de la combinación de uno o varios efluentes ya sean de aguas grises (aguas servidas de baño y lavados), aguas domésticas (excremento fecal y orina), aguas de instituciones como hospitales, comercios y otros establecimientos, aguas industriales y otras escurrientías. Son un recurso no valorado por lo que no se le brinda el manejo adecuado y no se le presta la

importancia necesaria en temas de gestión ambiental, por ser considerados factores problemáticos (Onofre, 2018).

Agüero (2019), indica que estas aguas residuales constan de dos elementos, la sólida y el efluente líquido denominado lodo. Estas aguas residuales pueden ser tratadas de dos maneras:

- Ubicar las aguas residuales en un estanque con la finalidad de asentar los sólidos y posteriormente tratar químicamente la superficie con productos para la reducción efectiva de compuestos contaminantes.
- Utilizar poblaciones bacterianas que descompongan materia orgánica logrando la depuración de lodos activados en presencia de oxígeno para acelerar el metabolismo microbiano.

2.2.1.1. Agua residual doméstica

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014), las aguas residuales domésticas son aquellas aguas de origen residencial y comercial que han sufrido una alteración en sus características originales pues contienen desechos fisiológicos provenientes de las actividades humanas, por lo tanto, requieren un tratamiento previo antes de ser reutilizadas o vertidas a un cuerpo de agua natural o a la red de alcantarillado.

2.2.2. Tratamiento de Aguas residuales

2.2.2.1. Pretratamiento

Durante el pretratamiento de aguas residuales se retienen materiales gruesos y finos con mayor densidad por agua y arena para permitir su tratamiento posterior, en este proceso se utilizan canaletas con rejillas gruesas y finas, trampas de arena y, en algunas situaciones, tamices específicos. Estas unidades, que comúnmente se pasan por alto en el diseño de las instalaciones de tratamiento, se requieren para evitar problemas causados por la entrada de arena, basura, plásticos y otros materiales en los procesos de tratamiento en sí (Ministerio del Ambiente, 2022).

2.2.2.2. Tratamiento primario

Se considera como unidad principal de tratamiento en cualquier sistema que permita la remoción de material en suspensión, a excepción del material coloidal o químicos disueltos en agua. Como resultado, la remoción del tratamiento

primario permite remover del 60 al 70% del total de partículas suspendidas y hasta el 30% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno materia orgánica sedimentable en el agua residual (Ministerio del Ambiente, 2022).

2.2.2.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario permite la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas realizadas por microorganismos que logran alcanzar resultados eficientes en cuanto a remoción de sólidos y DBO. En esta etapa de tratamiento se utilizan sistemas tales como la filtración biológica, percolación, así mismo se utilizan filtros rotativos o biodiscos, lodos activados convencionales y de aireación extendida, y lagunas de estabilización facultativas y aireadas (Ministerio del Ambiente, 2022).

2.2.2.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario tiene como objetivo principal la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo para evitar la eutrofización o desarrollo extenso de algas en lagos, lagunas o cuerpos de agua de baja circulación, para ello utiliza procesos de precipitación química de nutrientes, procesos de filtración, destilación, flotación, ósmosis inversa, entre otros, obteniendo un efluente que puede ser utilizado en el riego agrícola, crianza de peces, recarga de acuíferos o para uso industrial (Ministerio del Ambiente, 2022).

2.2.3. Planta de Tratamiento de Agua Residual

Una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (PTAR), comprende la infraestructura, los procesos y operaciones unitarias que consiguen modificar las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales domésticas o municipales, permitiendo su depuración (Fraume, 2006), sin embargo, un mal manejo de una PTAR puede llegar a representar una serie de impactos en el medio en el que se ubica, por el uso de químicos, consumo energético, emisión de gases, lodos y olores (Aguero, 2019).

En la Tabla 1 se presentan algunos contaminantes que pueden interferir en el tratamiento de las aguas residuales de tipo doméstico.

Tabla 1.
Compuestos contaminantes en una planta de tratamiento de aguas residuales.
Compuestos contaminantes en una planta de tratamiento de aguas residuales

Especies inorgánicas	Aquellas sustancias que no poseen carbono, como asbesto, amoníaco y cianuro son sustancias que tienen impactos de alta toxicidad al encontrarse en agua, generalmente dañando vegetales y la calidad del agua.
Especies orgánicas	Aquellas sustancias que tienen en su composición hidrógeno y carbono, como grasas, aceites y aquellas sustancias que necesitan oxígeno y sus efectos en el agua son la toxicidad de contaminación visual, alteración de niveles de oxígeno, causan enfermedades e incremento de salinidad.
Metales	Generalmente metales de transición, metaloides y los metales pesados, son los más tóxicos para el humano ya que por su afinidad con el azufre alteran las funciones básicas.
Radicales	Los Cianuros, con efectos sobre el sistema nervioso y la tiroides

Nota. Adaptado de Huanqui (2018)

2.2.3.1. Residuos de una Planta de Tratamiento de Agua Residual

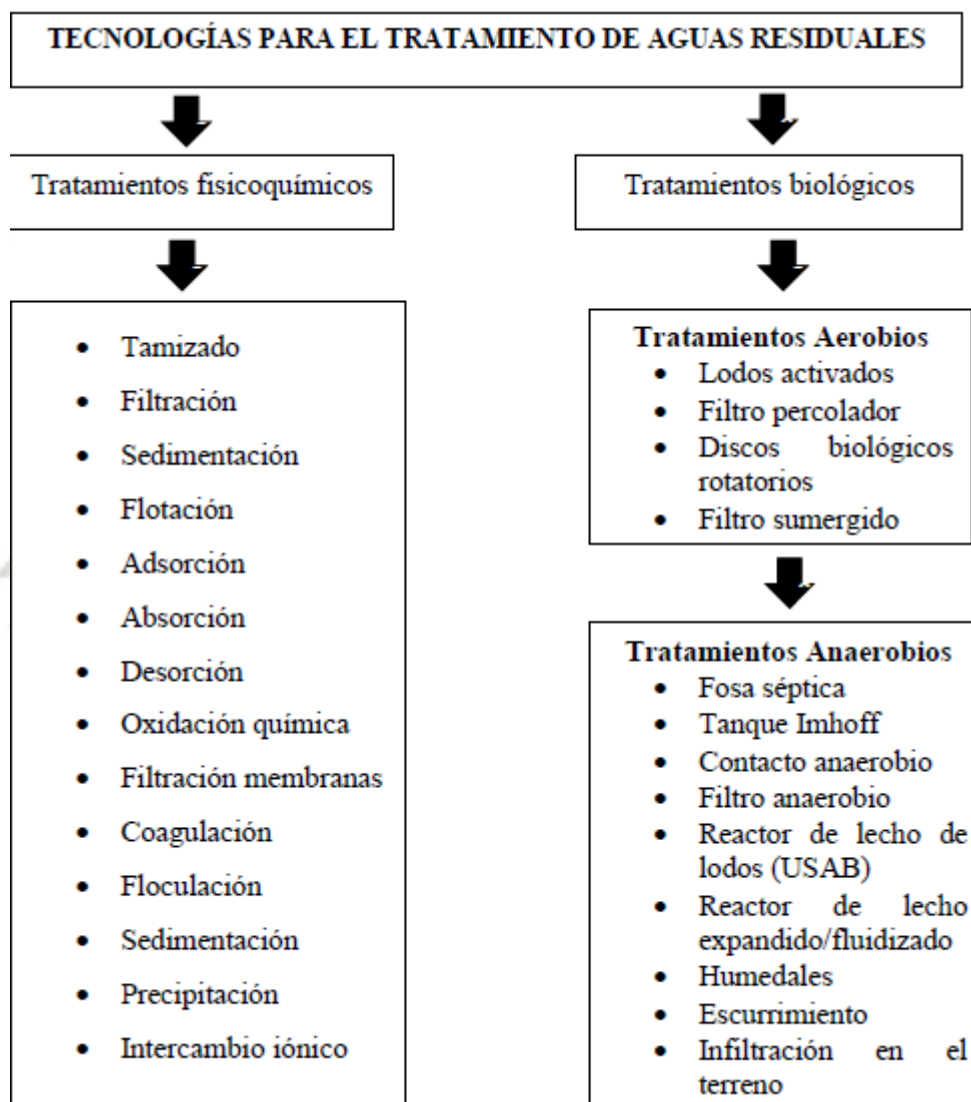
Los lodos residuales son los principales residuos generados en una PTAR, gran parte de este material se mantiene en las cámaras de rejilla y trampas de arena. En los decantadores, de origen primario como secundario, se acumulan lodos con alta concentración de materia orgánica e inorgánica en las tolvas de los decantadores y deben ser extraídos periódicamente (Ministerio del Ambiente, 2022).

2.2.3.2. Tecnologías para el Tratamiento de Agua Residual

La finalidad del tratamiento de aguas residuales es la remoción de los contaminantes, tanto inorgánicos como orgánicos que se presentan en partículas disueltas o en suspensión y poder obtener agua con una calidad adecuada para ser reutilizada y que cumpla con la normativa vigente. Teniendo en cuenta estos requerimientos se eligen dependiendo las características del agua residual que se

va a tratar y la calidad del agua que se desea obtener. (Acosta, 2018). Existen diferentes tecnologías para realizar el tratamiento de las aguas residuales, las cuales incluyen procesos físicos, procesos químicos y procesos microbiológicos que se encuentran representados en la Figura 1.

Figura 1.
Tecnologías para el tratamiento de Aguas Residuales



Nota. Extraído de Nacheva & Estrada (2017)

2.2.4. Lodos Residuales o fangos

Al tratar las aguas residuales, se remueven contaminantes para que puedan ser aptas para usarlas en otras actividades y también poder disminuir los daños ambientales, pero se debe tener en cuenta que, al tratar aguas residuales se generan

lodos residuales, que también deben ser tratados (Velazquez, y otros, 2019), estos lodos residuales son subproductos líquidos, semi líquidos o sólidos, con un alto contenido de agua, es decir entre un 93% a 99.5%, sustancias químicas y sólidos disueltos resultantes del tratamiento primario, secundario o terciario (Noriega, 2018).

Noriega (2018) identifica como fuentes de generación de lodos residuales o fangos a las plantas de tratamiento de agua potable y a las plantas de tratamiento de aguas residuales, como se detalla a continuación:

- **Lodos residuales provenientes de Plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) y Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR)**
 - Aquellos lodos que se generan en reactores reguladores de agua decantada, cruda y de lavado en las plantas de tratamiento de agua potable.
 - Aquellos lodos que se generan en el tratamiento de origen primario, secundario o terciario en las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- **Servicios de disposición de excretas sanitarias**
 - Lodos fecales de una planta de tratamiento de aguas residuales que llegan para su depuración.

2.2.4.1. Tipos de lodos residuales

Los lodos residuales formados en las plantas de tratamiento de aguas residuales difieren según el tipo de planta y la operación que se lleva a cabo, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.

Tipos de lodos residuales

Tipos de Lodos	Definición
Lodos de precipitación química	De tonalidad negra y de olor desagradable, pero no tanto como los lodos de precipitación primaria.
Lodos de lechos bacteriano	De tonalidad marrón y al estar frescos no generan malos olores, se degradan en menor tiempo que los lodos secundarios, si no cuentan con organismo ajenos, que puedan generar malos olores con rapidez.
Lodos de decantación primaria	De presentación limosa y marrón gris, generalmente sépticos y de mal olor

Tipos de Lodos	Definición
Lodos de decantación secundario	De color marrón, ligeros, bien aireados por lo que no generan olores como los anteriores, pero estas condiciones pueden variar al no tener a su disposición la cantidad necesaria de aire, oscureciéndolos y generando malos olores.
Lodos mixtos	Es la mezcla de los lodos de decantación secundaria con los lodos de decantación primaria.
Lodos digeridos	Son negros y de olor a tierra, generalmente provenientes de digestión aeróbica y con el 45% a 60% de materia orgánica.
Lodos peligrosos	Aquellos que contienen sustancias peligrosas para el medio y el ser humano, con un tratamiento que reduzca la fermentación y la patogenicidad para reducir la peligrosidad.
Lodos aprovechables	Lodos que pueden ser reutilizados y que provienen de tratamientos anaerobios y aerobios y que luego de su estabilización generalmente son empleados como fertilizantes o restablecedores de suelos.
Lodos no aprovechables	Estos lodos no son reaprovechables, ya que no poseen características adecuadas para darle otra utilidad. Pueden ser aquellos que son retenidos en las rejillas de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Nota. Adaptado de Aldana & Pérez (2017)

2.2.4.2. Características de los lodos residuales

Los lodos son considerados un residuo de consistencia mayormente líquida pues presentan aproximadamente 95% de agua en su composición, su contenido varía a través de la carga contaminante de los efluentes residuales iniciales y de los parámetros técnicos de la depuración de excedentes líquidos residuales. El tratamiento del efluente se centra en la contaminación en el agua, por lo tanto, los lodos residuales están compuestos por una amplia gama de materiales en suspensión o disueltos (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2013).

Algunos de estos lodos cuentan con aportes agronómicos porque contienen materia orgánica, N, P, K y en menor cantidad Mg y Ca, junto con otros micronutrientes importantes para los cultivos, mientras que otros tienen potencial contaminante porque contienen metales pesados como Zn, Pb, Ni, Hg, Cu, Cr y Cd, microorganismos patógenos y contaminantes de origen orgánico (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2013).

2.2.4.3. Caracterización de parámetros de los lodos residuales

- **Humedad**

La gravimetría mide la humedad en suelos y lodos midiendo la masa del cuerpo cuando está húmedo, luego ocurre la fase de secado y finalmente se realiza una sustracción entre los pesos originales y final para calcular la cantidad de agua en el cuerpo (Cárdenas & Molina, 2022).

- **Conductividad**

La conductividad eléctrica de un sustrato se ve afectada por varios parámetros, incluidos la cantidad de arcilla, cantidad de agua, la densidad y las propiedades mineralógicas de la arcilla. Sin embargo, la conductividad eléctrica superior a 1,7 dS/m tiene un impacto perjudicial en la estabilidad estructural, porosidad y densidad aparente de un sustrato (Tellez et al, 2018).

- **pH**

La escala de pH es muy importante en muchos procesos biotecnológicos, como la neutralización de residuos alimentarios. Adicionalmente es relevante en la importancia significativa en la minería y el manejo de la contaminación, como la neutralización de aguas y lodos residuales (Amaya et al., 2004).

- **Arsénico**

Según investigaciones el arsénico y sus componentes son cancerígenos para la especie humana, según estudios realizados acerca de las consecuencias en la salud originadas por el uso continuo de aguas con arsénico en algunas áreas (Francisca & Carro, 2014).

- **Cadmio**

En cuanto al efecto ambiental, se ha demostrado que la exposición al cadmio es peligrosa para el desarrollo animal y provoca malformaciones prenatales. A través de la digestión seca y anaeróbica, los lodos de depuradora pueden tratar para reducir el número de patógenos (Hanna, 2020).

- **Cromo**

El cromo es un contaminante frecuente en los efluentes industriales y lodos residuales de operaciones que incluyen la minería, galvanoplastia, teñido de cuero y producción de pintura (Cárdenas & Acosta, 2011).

- **Cobre**

Las concentraciones de cobre en el agua pueden darle un sabor metálico. Las manchas de color azul verdoso en los accesorios de plomería y otras superficies

que entran en contacto con efluentes residuales también pueden indicar corrosión o que se está liberando cobre en el agua, por lo tanto, grandes cantidades de cobre también pueden crear efectos secundarios con consecuencias para la salud, lo que indica que hay un problema (Doziera et al., 1914).

- **Plomo**

La coagulación, la filtración de arena y el intercambio de iones se utilizan para eliminar el plomo de los efluentes. También se pueden utilizar métodos de carbón activado y ósmosis inversa (Lavado et al., 2010).

- **Mercurio**

Aunque la mayor parte del mercurio se descarga en el entorno ambiental en forma metálica o inorgánica, varios tipos de bacterias pueden convertirlo en metilmercurio, la forma química más perjudicial de mercurio. El metilmercurio es una neurotóxica de consideración que daña el sistema nervioso y afecta negativamente el desarrollo prenatal y del recién nacido (Tavares, 2012).

- **Níquel**

El níquel se puede disolver o adherir a partículas suspendidas en agua y aguas residuales. Averiguar si el cuerpo toma, utiliza y expulsa una sustancia química es una técnica para evaluar si puede dañar a una persona (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 2016).

- **Zinc**

Los efluentes industriales que contienen zinc a menudo son generados por operaciones del rubro galvánico, minería, fabricación de baterías, etc. Los derivados de zinc se utilizan por una variedad de razones (Blanco et al, 1998).

- ***Escherichia coli***

La representación de *Escherichia coli* en fuentes hídricas es un indicador importante de contaminación reciente por efluentes residuales o por desechos animales. Es importante saber que la *Escherichia coli* y los desechos humanos o animales pueden ingresar al agua residual de diversas formas (College of Agriculture and life sciences, 2014).

- ***Salmonella sp***

La salmonella a menudo se transmite al agua por contaminación fecal de descargas de aguas residuales y animales. Estas bacterias se encuentran en ecosistemas acuáticos creados por el hombre, como las instalaciones de

enfriamiento de agua como las torres de enfriamiento y los condensadores evaporativos vinculados al aire acondicionado (Aconsa, 2020).

- **Materia orgánica**

La materia orgánica en los cuerpos hídricos se encuentra conformada por cientos de constituyentes, incluidas coloides macroscópicos, partículas y macromoléculas disueltas. Es fundamental la caracterización de la materia orgánica diluida en el agua de consumo humano para determinar sus características físicas y tasas de contaminación del agua (Fuentes et al, 2015).

2.2.5. Disposición de lodos

Es la operación o procedimiento de contener lodos o biosólidos en un lugar como paso final de su disposición de manera permanente, higiénica y ecológicamente segura, generalmente está a cargo de empresas operadoras de residuos sólidos (Diario el peruano, 2017).

2.2.6. Tratamiento de lodos

En algunos países de Latinoamérica ya existe una normativa respecto a los lodos residuales formados en la depuración de diferentes efluentes residuales, con la finalidad de poder hacer frente al deterioro de los recursos, proteger el entorno ambiental y la salubridad de la población que se encuentran en el entorno de la planta de tratamiento de aguas residuales, además para que el lodo residual llegue a ser reutilizado y aprovechado y disminuir sus impactos negativos. (Onofre, 2018).

2.2.6.1. Tipos de tratamiento de lodos

Para poder identificar el tratamiento adecuado de los lodos residuales, como se presenta en la Tabla 3, es necesario obtener la caracterización química y microbiológica de estos lodos, utilizando diversas metodologías de análisis para determinar el tratamiento adecuado.

Tabla 3.
Tipos de tratamiento de lodos

Espesamiento	Estabilización	Acondicionamiento	Deshidratación
Objetivo: Incrementar la concentración de sólidos	Objetivo: Incrementar la concentración de sólidos	Objetivo: Mejorar las características del lodo para facilitar su deshidratación	Objetivo: Reducir el contenido en agua
Operaciones básicas: Espesado por gravedad Espesado por flotación Centrifugación	Procesos básicos: Estabilización aerobia, anaerobia y estabilización química	Procesos básicos: Adición de floculantes	Operaciones básicas: Secado mecánico Secado térmico Eras de secado
Procesos Físicos	Procesos físicos, químicos y biológicos	Procesos Biológicos	Procesos Físicos

Nota. Adaptado de Onofre (2018)

2.2.6.2. Proceso de tratamiento

a. Estabilización de lodos

El término estabilización puede considerarse como el proceso o el conjunto de procesos que dan como producto final un lodo con las características apropiadas para poder ser usado sin comprometer la salud pública o al ambiente, esto puede lograrse química, biológica (aerobia o anaerobia), o físicamente. Las prácticas de estabilización más comunes son la estabilización con cal, compostaje, digestión anaerobia y digestión aerobia (Noriega, 2018).

Los tres objetivos principales del tratamiento de lodos residuales están enfocados en lograr su estabilización para garantizar una degradación controlada de las sustancias orgánicas que los componen, estos objetivos consisten en eliminar e inhibir los olores desagradables, disminuir el volumen e inactivar organismos patogénicos y reducir o eliminar su potencial de putrefacción para su posible utilización posterior o disposición final, estos objetivos se consiguen en mayor o menor grado en función del sistema de estabilización (Noriega, 2018).

b. Estabilización de lodos residuales con Cal

El objetivo de la estabilización alcalina es elevar el pH por encima de 12 unidades y mantenerlo allí durante al menos 72 horas para lograr una reducción significativa de patógenos y lodos; además, este valor de pH supera los límites de tolerancia para el crecimiento y supervivencia de organismos tan resistentes como los huevos de helmintos. Aunque la cal ha sido la sustancia más utilizada para este fin, también se han empleado mezclas de cal con cenizas de horno y cenizas volantes. Estos productos elevan la temperatura y crean iones de hidróxido, lo que eleva el pH. Debido a que la cal no se puede utilizar a nivel macro, algunos investigadores aconsejan combinarla con subproductos industriales como la ceniza, que contienen cantidades mínimas de metales y no interfieren con el proceso de reducción de patógenos. Se dio un caso que en el tratamiento primario se evaluaron lodos avanzados previamente deshidratados conteniendo entre un 71% y 86 % de humedad de una planta de tratamiento de aguas residuales piloto, cal viva e hidratados en porciones peso a peso que oscilan del 15% al 40%, alcanzando pH mayores a 12 unidades con ambos materiales en dosis superiores al 20% y eliminando entre un 98 y un 99% de coliformes fecales, por lo tanto el caso descrito previamente, respalda la eficiencia de la cal en la estabilización y tratamiento de lodos residuales (Torres et al., 2008).

c. Secado de lodos

Es factible bajar el peso del lodo secándolo, esto es provocado por la vaporización del agua presente en los lodos y a menudo se logra mediante el tacto, convección o radiación. No se requieren grandes volúmenes de aire ya que el calor que aporta el producto que se desprende y las paredes calentadas es adecuado, para la evacuación de vapor, se requiere una pequeña cantidad de flujo de gas, esto tiene la ventaja de reducir el uso de aire de escape (Lenntech, 2023).

El secado convencional consiste en tratar los lodos con aire caliente, a través de un calentador o intercambiador de calor de vapor se incrementa la temperatura del aire en el ambiente, luego se tiene contacto con el lodo en el secador de tambor o cinta. El secado radiante se refiere al calentamiento de lodos por radiación, por ejemplo, la radiación solar o la calefacción por infrarrojos (Lenntech, 2023).

Según (Lenntech, 2023) las condiciones deben ser consideradas al decidir sobre el mejor método teniendo en cuenta:

- Compatibilidad ambiental.
- Adherencia segura.
- La adaptabilidad del método de secado con respecto a los volúmenes variables de lodo.

d. Compostaje de lodos

Los lodos de tratamiento se producen como subproducto de la depuración de excedentes líquidos residuales en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Es un residuo orgánico generado por los lodos activados durante el tratamiento secundario y su estructura depende del tipo de agua tratada y la carga microbiana. Suelen tener un alto contenido de nitrógeno y agua, lo que dificulta su manipulación. Es una fuente intrigante de materia orgánica para la agricultura, y su uso directo en el suelo es legal y está aprobado. Es preferible estabilizar de forma natural, como por ejemplo mediante compostaje (Torres, y otros, 2005).

El compostaje es considerado un método biológico que transforma restos orgánicos de distintos materiales tales como lodos residuales, en un abono orgánico relativamente estable que mejora la productividad y la calidad de los suelos, ya que proporciona materia orgánica biodegradada estabilizada, libre de microorganismos patógenos y sustancias fitotóxicas (Acosta et al., 2012).

El compostaje puede realizarse mediante la implementación de un entorno que optimice las condiciones para que los agentes de la descomposición (microorganismos) proliferen, estas condiciones incluyen una mezcla correcta de carbono, nitrógeno y oxígeno, así como el adecuado control de temperatura, pH y porcentaje de humedad (Acosta et al., 2012).

2.2.7. Desecador solar

Los secadores solares emplean la radiación del sol para calentar el aire y eliminar la humedad del tejido de elementos como madera, hierbas, carne, semillas, verduras y fruta. La energía es radiada por el sol y las paredes del colector solar se calientan por conducción. El aire ligero que ingresa procede a calentarse y circula por convección hasta la región de secado, el agua de la muestra se evapora y sale por la parte superior de la zona de secado (Espinoza, 2016).

2.2.8. Biosólidos

Vienen a ser el resultante de la estabilización de los lodos residuales que se generan en el tratamiento de aguas residuales, poseen características microbiológicas, físicas y químicas que indican que se pueden reutilizar dependiendo la normativa existente en el país donde se generan.

También son considerados sólidos que se generan en el tratamiento de aguas residuales, que se estabilizaron biológicamente para concentrar sus nutrientes con microorganismos patógenos para tratar la presencia de diferentes metales pesados, para así poder utilizarlos como fertilizantes, mejoradores de suelo o acondicionadores según las características fisicoquímica que lleguen a poseer luego de su tratamiento (Ruiz & Quevedo, 2017).

Según el D.S. N° 015-2017 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017), para que un lodo residual se considere biosólido, la concentración de sus parámetros debe encontrarse dentro de los valores establecidos en la normativa como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4.

Parámetros para ser considerado biosólido de Clase A y Clase B

Parámetro	Valor
Zinc	2400 mg/Kg *
Níquel	400 mg/Kg *
Mercurio	17 mg/Kg *
Plomo	400 mg/Kg *
Cobre	1500 mg/Kg *
Cromo	1200 mg/Kg *
Cadmio	40 mg/Kg *
Arsénico	40 mg/Kg *
Materia Orgánica	≤ 60% de materia seca
Salmonella sp.	< 1 NMP/10 g materia seca
Escherichia coli	< 1000 NMP/1g materia seca
Huevos viables de Helminthos	< 1/4g materia seca o prueba de empleo de tecnología indicada en la norma

* Kg de materia seca.

Nota: Adaptado del D.S. N° 015-2017, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2017).

2.2.8.1. Aprovechamiento de biosólidos

Según Acosta et al. (2012), estos lodos residuales, luego de aplicar un tratamiento pueden ser utilizados como:

- Aplicación de biosólidos en el suelo, en enmiendas agrícolas.
- En la aplicación de especies forestales.
- En la aplicación de especies frutales.
- En la aplicación de áreas verdes y pasturas.
- En la remediación de áreas contaminadas y estabilidad de taludes.

2.2.9. Compostaje

Según la Norma Técnica Peruana NTP 2021.208, el compostaje se define como el “Proceso controlado de transformación física, química y microbiológica de la materia orgánica en condiciones aerobias y termofílicas, que genera un producto rico en sustancias húmicas, estable, maduro, por lo general de color marrón oscuro, sin olores desagradables, denominado compost” (2021, p. 9).

De acuerdo a Cuti & Vargas (2023), el compostaje consta de cuatro fases. En la fase Mesofila, los microorganismos comienzan a multiplicarse, logrando aumentar la temperatura hasta los 45°C aprovechando las fuentes de C y N generando calor y CO₂. En la fase termófila o de Higienización, los microorganismos mesófilos son sustituidos por microorganismos termotolerantes y termófilos, elevando la temperatura al máximo y destruyendo organismos patógenos. La fase de Enfriamiento o Mesófila II se caracteriza por la agitación de las fuentes de carbono y especialmente, el nitrógeno, la T° desciende a los 40-45°C; en esta etapa aparecen algunos hongos y el pH disminuye, manteniéndose alcalino. Finalmente, la fase de Maduración es la fase estable, donde se producen reacciones de condensación y polimerización de compuestos carbonados para formar ácidos húmicos y fúlvicos.

2.2.9.1. Parámetros de control durante el compostaje

Son los parámetros de seguimiento, aquellos valores que deben ser medidos a lo largo de todo el proceso de compostaje. El control de estos parámetros requiere un diseño adecuado para evitar que el proceso se vea afectado, donde intervienen factores físicos y químicos (Hurtado, 2022). Estos factores se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.

Parámetros de control

Parámetro	Valor	Indicador
Temperatura	Temperatura ambiente	Indicador de la actividad adecuada de los microorganismos mediante su variación.
Humedad	35%-50%	Factor imprescindible para la descomposición de la materia orgánica.
Conductividad	2-4 dS/m	Relacionada con la concentración de las sales solubles.
pH	6,5-8,5	Mediada de acides y basicidad del compost.
C/N	25:1 - 35:1	Para evaluar el desarrollo y calidad del compost
Materia Orgánica	≥ 20%	Fundamental para determinar la calidad agronómica del compost.
Nitrógeno	0,3 – 1,5%	Apoya la síntesis proteica para el desarrollo y crecimiento de los microorganismos.

Nota. Adaptado de la NTP 2021.208 (2021) y Cuti & Vargas (2023)

2.2.9.2. Madurez y calidad del compost

El compostaje es un proceso que involucra sustancias orgánicas heterogéneas y atraviesa por distintas etapas. Una de estas etapas es la termófila, en la cual se reducen la presencia de patógenos. Luego, sigue una etapa de maduración destinada a la degradación de sustancias fototóxicas, culminando en la obtención de un producto final estable. Se considera que el compost alcanza madurez al finalizar todo el proceso, sin presencia de sustancias tóxicas y esto se puede evidenciar mediante la textura y color del producto resultante. La calidad del compost se determina mediante el análisis de sus propiedades físicoquímicas y biológicas, así como el contenido de nutrientes y la capacidad de proveerlos (Mazzarino, Satti, & Roselli, 2012)

Según Torti, Butti & Binda (2019), un indicador de estabilidad incluye la variación de temperatura en la pila y el ambiente, los cambios de color hacia tonalidades más oscuras, el olor similar al de tierra mojada, pero sin desagradable, la producción de biomasa microbiana, la humificación e incluso la producción de

CO2. Los indicadores de madurez, al igual que los propuestos por Mazzarino, Satti & Roselli (2012), se fundamentan en estudios de fitotoxicidad.

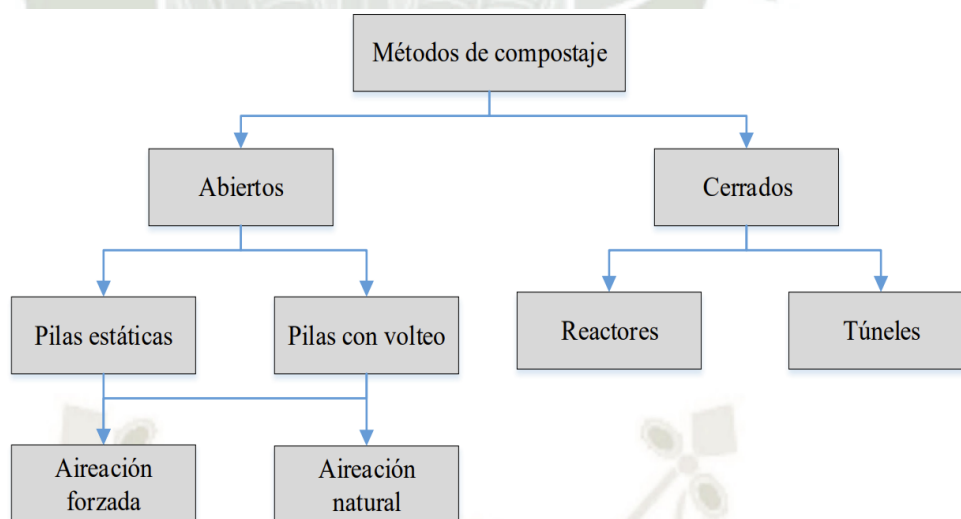
2.2.9.3. Técnicas de compostaje

Al igual que la FAO (2013), García & Villanueva (2021) distinguen las técnicas de compostaje en sistemas abiertos o en pilas y cerrados, los cuales se mencionan a continuación:

- a. Sistema abierto o en pilas: es un método simple, económico y el más utilizado. Además, con el fin de lograr una adecuada relación de C/N, temperatura y humedad, se alternan las capas de material a compostar en montones o pilas y pueden ubicarse al aire libre o protegidas bajo un techo.
- b. Sistemas cerrados: esta técnica implica un mayor control de los parámetros, ya que el material estará contenido en un recipiente, generalmente el área que ocupan no supera a los 2m². Existen dos métodos como se ilustra en la Figura 2.

Figura 2.

Diagrama donde se muestran los métodos de compostaje



Nota. Extraído de García & Villanueva (2021)

2.3.Marco legal

- **Constitución Política del Perú, 1993.**

La constitución política del Perú es la ley fundamental sobre la que se rige el derecho, la justicia y las normas peruanas, además, determina la estructura y organización del Estado peruano (Constitución Política del Perú, Art. 2, 1993).

En materia ambiental, el artículo 2° hace referencia a los “Derechos fundamentales de la persona”, estableciendo que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida (Constitución Política del Perú, Art. 2, 1993).

- **Ley N° 28611, Ley General del Ambiente**

La ley general del ambiente brinda los principios y normas que garantizan el derecho constitucional de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el deber de contribuir a la gestión ambiental eficaz y a la protección del medio ambiente y sus componentes, asegurando en particular la salud individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país (Ley N° 28611 - Ministerio del Ambiente, 2005) .

- **Ley 28245 Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental**

La presente ley tiene por objeto asegurar el más eficaz cumplimiento de los objetivos ambientales lo cual detalla dentro de su artículo cinco, los Principios de la gestión ambiental donde se hace referencia a la promoción y apoyo a las iniciativas voluntarias dirigidas a la prevención de la contaminación y en el artículo seis de los instrumentos de gestión y planificación ambiental contempla la elaboración de propuestas en materia de investigación y educación ambiental, así como el establecimiento de propuestas para la creación y fortalecimiento de los medios, instrumentos y metodologías necesarias para inventariar y valorizar el patrimonio natural de la nación (Ley 28245 - Ministerio del Ambiente, 2004).

- **D.L. N° 1278 - Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, que promueve la valorización y aprovechamiento de los residuos.**

Esta ley rige las actividades, procedimientos y operaciones de manejo y disposición de residuos sólidos, desde su generación hasta su disposición final, así como las múltiples fuentes de generación de desechos en los sectores económico, social y comunal. Especifica derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades para la recuperación de componentes, tratamiento de suelos y otras alternativas a la disposición final, en este decreto legislativo se incluye la valorización de los residuos, con la finalidad de que antes de disponerlos, primero se debe evaluar la capacidad para reaprovecharlos, en especial el art. 6° describe los lineamientos para gestionar apropiadamente los residuos (D.L. N° 1278 - Ministerio del Ambiente, 2016).

- **D.S. N° 015-2017-Vivienda - Decreto Supremo para aprobar el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.**

Este decreto está regido por el Reglamento para la Reutilización de Lodos Generados en las Estaciones de Tratamiento de Aguas Residuales, cuyo objeto es establecer disposiciones para determinar las características de los lodos; así como la clasificación, parámetros de producción y control de aplicación de biosólidos derivados de la determinación de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (PTAR). El objetivo de este Reglamento es fomentar la reutilización de los lodos generados en las PTAR, que, una vez transformados en biosólidos, podrán ser utilizados en operaciones agrícolas, forestales, industriales cerámicas, entre otras, teniendo en cuenta los riesgos en la salud y el medio ambiente (D.S. N° 015-2017-Vivienda, 2017).

- **D.S. N° 020-2015-MINAGRI, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para la Gestión de Plantaciones Forestales y los Sistemas Agroforestales.**

El presente reglamento tiene por objeto regular y promover de manera adecuada la gestión de plantaciones forestales y sistemas agroforestales a que hace referencia la ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre, en el artículo cinco hace referencia a los bosques plantados como áreas de ecosistemas forestales producto de la forestación o reforestación así como al aprovechamiento sostenible de los bienes y

servicios de los ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre a través de instrumentos de gestión (DS N° 020-2015-MINAGRI, 2015).

- **D.S. N° 011-2006-Vivienda, Norma Técnica de Edificación OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales.**

El objetivo principal es normar el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminar, básico y definitivo, están relacionadas con las instalaciones que requieren una planta de tratamiento de aguas residuales municipales y los procesos que deben experimentar las aguas residuales antes de su descarga al cuerpo receptor o a su reutilización (D.S. N° 011-2006-Vivienda, 2004).

- **R.M. N° 024-2017-VIVIENDA- Reglamento para el Reaprovechamiento de los Biosólidos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.**

Determinación de criterios de características de los lodos y estabilización de los lodos generados en los servicios de depuración de aguas residuales y clasificación de biosólidos, parámetros de producción y control de aprovechamiento (R.M. N° 024-2017-Vivienda, 2017).

- **R.M. N° 093-2018-Vivienda, Condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición final.**

Mediante esta Resolución se aprueba el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos. El Protocolo de Seguimiento de Biosólidos es una herramienta que ofrece la asistencia técnica necesaria para apoyar la producción de biosólidos y su correcta reutilización de acuerdo con las normas del Reglamento de Reutilización de Lodos Producidos en Estaciones de Tratamiento de Aguas Residuales. Asimismo, permitirá la creación de actividades de monitoreo a cargo de los productores y comercializadores, convirtiéndose en un instrumento invaluable para las acciones de supervisión y control ambiental en ausencia de laboratorios acreditados con las tecnologías requeridas para el análisis de las características de biosólidos, para generalizar la metodología y unidad de desarrollo respecto al monitoreo, evaluación de muestra y análisis de biosólidos de las Plantas de tratamiento de aguas residuales (R.M. N° 093-2018-Vivienda, 2018).

- **R.M. N° 128 - 2017-Vivienda, Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final.**

La presente resolución ministerial tiene por objeto regular las condiciones mínimas para el manejo de los lodos generados en las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y los provenientes de los servicios de disposición sanitaria de excretas y biosólidos. Incluye la regulación de las instalaciones donde se realiza la disposición final de lodos, con la finalidad de minimizar posibles impactos al ambiente, prevenir riesgos ambientales, proteger la salud y el bienestar de la persona y contribuir al desarrollo sostenible de los servicios de saneamiento (R.M. N°128-2017-Vivienda, 2017).

- **NTP 201.208:2021. Fertilizantes.**

Norma Técnica que se utiliza en compost de residuos sólidos orgánicos para su uso en la conservación y revegetación de áreas verdes, paisajes, parques y jardines, florerías y otras aplicaciones similares (Instituto Nacional de Calidad, 2022).

- **Objetivo de Desarrollo Sostenible 15 de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas “Vida de Ecosistemas Terrestres”**

El fin es preservar, recuperar y fomentar la utilización sostenible de los ecosistemas terrestres, manejar de manera sostenible los bosques, combatir la desertificación, prevenir y revertir la degradación del suelo, así como detener la disminución de la biodiversidad en América Latina y el Caribe (Naciones Unidas, 2022).



CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente tesis se enmarca en un enfoque cuantitativo, de tipo experimental, lo que nos permite recopilar y analizar datos numéricos de manera precisa y objetiva, para obtener una comprensión detallada de las relaciones y patrones existentes en nuestro estudio (Hernández et al, 1997).

La elección de una investigación de tipo experimental permite manipular y controlar variables en un entorno controlado, estableciendo relaciones causales y examinando el efecto de determinadas intervenciones o tratamientos en nuestra investigación, además, nos ayudará a validar hipótesis y a obtener conclusiones más sólidas y confiables.

Además, la presente investigación se considera aplicada, según Lozada (2014) señala que este tipo de investigación genera conocimiento a partir de la interacción con problemas identificados, ya sea en algún área productiva o la sociedad, aplicando finalmente una solución al problema para mejorar la calidad de vida de la sociedad. Por lo tanto, en esta investigación se resuelve el problema de la disposición final de los lodos residuales en la unidad minera San Juan de Chorunga, aplicando conocimientos teóricos y tecnologías de tratamiento para su estabilización y aprovechándose en la elaboración de compost.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel es correlacional, de acuerdo con Hernández et al. (1997).

3.2. Diseño de la investigación

Esta investigación presenta el diseño experimental, según Hernández, Fernández & Baptista (2014) señalan que también son llamados investigaciones de intervención, puesto que se manipula intencionalmente la variable independiente para crear situaciones para determinar los efectos de la causa en la que se interviene. En la presente investigación, se tuvo en cuenta la caracterización de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la unidad minera San Juan de Chorunga (variable independiente) y se calcularon los parámetros de acuerdo a los

indicadores establecidos, regulando los parámetros obtenidos de los lodos residuales que exceden la normativa mediante la aplicación de tecnologías para su estabilización, buscando la reducción de aquellas que sean consideradas un riesgo para la salud y el ambiente, cumpliendo con lo dispuesto en la normativa vigente para clasificarlo como biosólido y posteriormente aprovecharlo para la obtención de compost (variable dependiente), evaluando indicadores de calidad para otorgarle un nuevo uso.

3.2.1. Variables

3.2.1.1. Variable Independiente

- Caracterización de lodos residuales de la PTAR de la unidad minera San Juan de Chorunga

3.2.1.2. Variable Dependiente

- Aprovechamiento de biosólido para la obtención de compost

3.2.2. Operacionalización de Variables

En la Tabla 6 se muestra la operacionalización de variables de la presente investigación.

Tabla 6.

Operacionalización de Variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad
Independiente: Caracterización de lodos residuales de la PTAR de la unidad minera San Juan de Chorunga	Parámetros físicos	Humedad	%
		Conductividad	µS/cm
		pH	Sin unidad
	Parámetros de toxicidad química	As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn	mg/Kg
	Parámetros de higienización	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella sp.</i>	NMP/g NMP/10g
Dependiente: Aprovechamiento de biosólidos para la obtención de compost	Parámetros de estabilización	Materia orgánica Nitrógeno pH	%
			%
			Sin unidad
	Parámetros de toxicidad química	Indicadores que no cumplieron la normativa	mg/Kg
	Parámetros de higienización	Indicadores que no cumplieron la normativa	NMP/g NMP/10g
	Calidad del compost	Temperatura	°C
		Humedad	%
		Conductividad Eléctrica	dS/m
		pH	Unidad de pH
		C/N	%
		Materia Orgánica	%

3.2.3. Campo de verificación

3.2.3.1.Ámbito

La presente investigación tiene el área de aplicación en el sur del Perú, concretamente en el departamento de Arequipa.

3.2.3.2.Unidad de Estudio

La unidad de estudio de la presente investigación es la unidad minera de San Juan de Chorunga, como se muestra en la Figura 3, ubicada en el departamento de Arequipa. Políticamente, pertenece al distrito de Río Grande, provincia de Condesuyos, y se encuentra situada en las coordenadas geográficas que se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7.

Coordenadas geográficas de la zona de estudio

COORDENADAS UTM			
Sistema de coordenadas	Norte (m)	Este (m)	Altitud (m.s.n.m.)
WGS 84	8240581	708658	731.81

Figura 3.

Ubicación de la zona del proyecto



3.3. Materiales y equipos de medición

3.3.1. Materiales

- Carretilla
- Flexómetro
- Romana
- Papel tornasol
- Tamiz
- Vaso de precipitado de 40ml
- Madera de 1"
- Plástico transparente 100% PVC
- Malla mosquitera de acero inoxidable
- Tubería de PVC de 3/4"
- Geomembrana de polietileno de HDPE
- Clavos
- Tornillos
- Cola blanca
- Cinta
- Pala
- Bolsas plásticas
- Bolsas con cierre hermético
- Equipos de protección personal (guantes, botas, mascarillas, lentes, etc.)
- Cierra circular para carpintería
- Cutter
- Martillo
- Geomembrana

3.3.2. Equipos

- Balanza electrónica.
- Termómetro digital con sonda HI98509 de -50°C a 150 °C.
- Multiparámetro HACH HQ4D con medidor de pH (potenciómetro).
- Cámara de celular.
- Navegador GPS GARMIN modelo MAP 66S.

3.3.3. Insumos para el proceso de desecado y encalado

- Lodo residual
- Cal

3.3.4. Insumos para el proceso de compostaje

- Tierra fértil
- Lodo estabilizado
- Residuos orgánicos domésticos
- Aserrín
- Agua

3.3.5. Materiales de gabinete

- Laptop
- Impresora
- Calculadora
- Memoria USB
- Hojas Bond
- Lapiceros
- Plumón indeleble
- Cuaderno de notas

3.3.6. Recursos Informáticos

- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- Autodesk Inventor
- Visio profesional
- ArcGis
- Google Earth

3.4. Métodos de investigación

3.4.1. Etapa 1. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos iniciales del lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la unidad minera San Juan de Chorunga.

Para la toma de muestra de lodo almacenado se aplicó y adaptó el protocolo de monitoreo de biosólidos RM N°093-2018-Vivienda, obteniendo quince muestras puntuales para formar una muestra compuesta representativa del lodo residual a

tratar, las muestras fueron obtenidas del lecho de secado de la unidad minera en las coordenadas que indican la Tabla 8. Para la recolección de las muestras se tomó en cuenta el tipo de envase de acuerdo al volumen requerido y al método de ensayo para cada parámetro, se tomaron 2 kg de muestra de lodos para el análisis fisicoquímico y 0.5 kg para los análisis microbiológicos según lo solicitado por el Laboratorio de Servicios Analíticos Generales (SAG), después se colocaron en bolsas de polietileno selladas (bolsas ziploc), estas muestras fueron etiquetadas y rotuladas, finalmente se registró la información en la cadena de custodia.

Tabla 8.

Coordenadas de toma de muestra del lodo residual

Coordenadas UTM zona 18L		Altitud
E: 0708221	N: 8239986	695 msnm

En adelante se procedió con el análisis de los parámetros en el Laboratorio de Servicios Analíticos Generales (SAG), el cual cuenta con ensayos acreditados por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

Los parámetros considerados para el análisis fisicoquímico y microbiológico, como se muestra en la cadena de custodia (Anexo 2) fueron: Materia orgánica, pH, conductividad, humedad, nitrógeno total, parámetros de toxicidad química (Zn, Ni, Hg, Pb, Cu, Cr, Cr, Ar) y parámetros de higienización (*Salmonella sp*, Huevos Helmintos y *Escherichia coli*), resultados que finalmente fueron comparados con los parámetros del D.S. N° 015-2017-Vivienda, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de aguas residuales, valores que se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9.

Estándares de comparación

Parámetro	Unidad	D.S. N° 015-2017-Vivienda
Materia Orgánica	%	<=60 % de Materia seca (ST)
pH	Unid pH	---
Conductividad	dS/m	---
Humedad	%	---
Nitrógeno total	N%	---

Parámetros de toxicidad Química

Arsénico	mg/kg	40
Cadmio	mg/kg	40
Cromo	mg/kg	1200
Cobre	mg/kg	1500
Plomo	mg/kg	400
Mercurio	mg/kg	17
Níquel	mg/kg	400
Zinc	mg/kg	2400

Parámetros de Higienización

<i>Escherichia coli</i>	NMP/g ST	<1000
<i>Salmonella sp.</i>	NMP/10gST	<1
<i>Salmonella sp.</i>	NMP/4gST	---
Huevos de Helmintos	Huevos /4g ST	<1

Nota. Tomada del D.S. N° 015-2017-Vivienda

3.4.2. Etapa 2. Obtención de biosólidos a través de la estabilización de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el proceso de secado y encalado

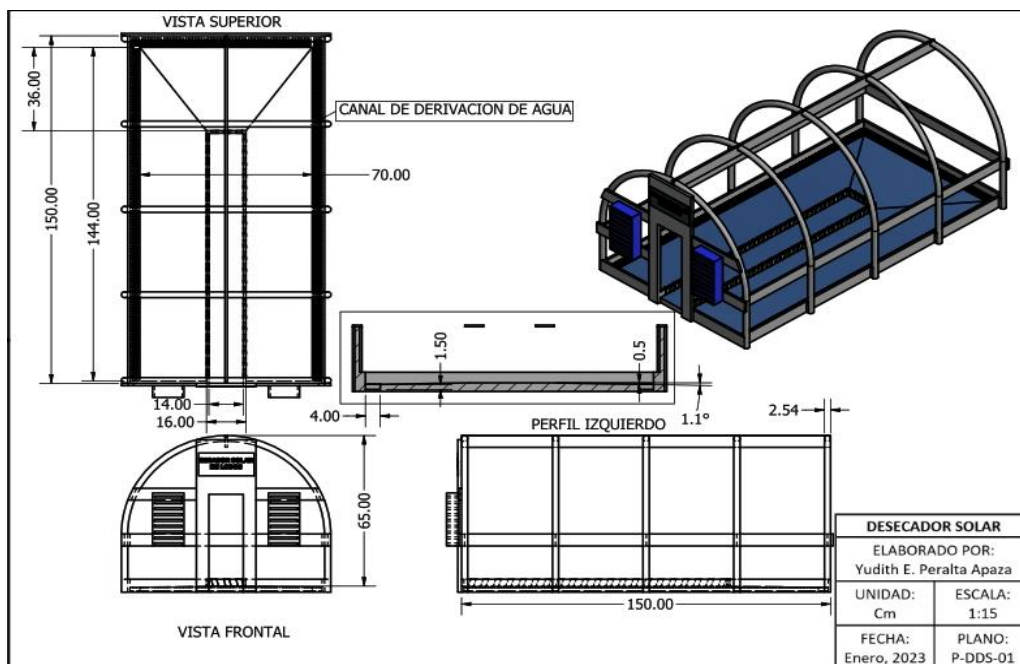
Para obtención del biosólido se estabilizaron los lodos residuales, los cuales atravesaron un tratamiento químico y físico.

a. Diseño, construcción e implementación del desecador solar:

El prototipo de la estructura del desecador solar fue tipo invernadero y el diseño se realizó mediante el software Autodesk Inventor, en la Figura 4 se observa la estructura elaborada en el software. Este diseño se realizó considerando un piso de madera de 1", una cubierta de plástico transparente 100% PVC, un canal de derivación de líquidos con malla mosquitera de acero inoxidable, una estructura de tubería de PVC de 3/4" y una cámara con dos ventiladores para el ingreso y salida de aire del interior de la cámara.

Figura 4.

Diseño del prototipo realizado en el software Autodesk Inventor



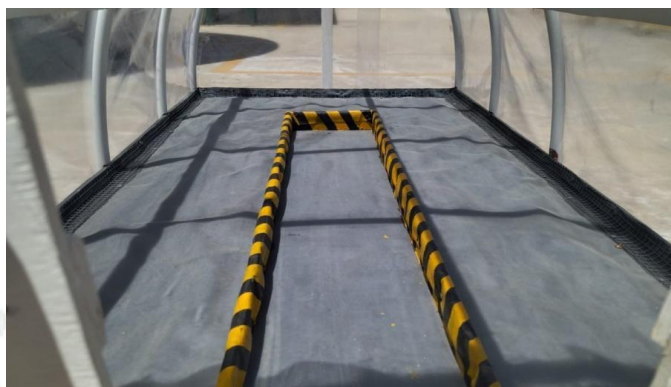
Las medidas del desecador solar de lodos implementado fueron de 150.00 cm de largo, 70.00 cm de ancho y 65.00 cm de alto, con una inclinación de 0.5 cm en la base para que el agua contenida en el lodo se deslice por gravedad hacia el canal de derivación de agua situados en los laterales y con un desfogue en la parte posterior de la base como se muestra en la Figura 5.

En la Figura 6 se muestra que la estructura de madera de la base se cubrió con geomembrana de polietileno HDPE para la contención de los efluentes residuales a fin de controlar la migración de fluidos de los lodos.

Figura 5.
Construcción del desecador solar



Figura 6.
Base del desecador cubierta con geomembrana



b. Tratamiento químico de los lodos residuales:

Para realizar la estabilización del lodo, este se mezcló con el alcalinizante (cal viva), con una dosis de 8% con respecto al peso seco de la muestra (Tabla 10), hasta tener una mezcla homogénea.

Tabla 10.
Porcentaje de cal viva de acuerdo al porcentaje de lodo residual

N°	Material alcalinizante	Alcalinizante (%)	Lodo residual (%)
1	Cal viva	8	92
		16.8 kg	194.2 kg

El % de alcalinizante va en función del peso seco de lodo.

c. Tratamiento de desecado de los lodos residuales:

Posterior a la adición de cal el lodo homogeneizado se vertió en el desecador solar como se muestra en la Figura 7.

Figura 7.
Lodo residual con cal en el desecador solar



El seguimiento de estabilización alcalina se llevó a cabo durante cinco días, siguiendo las pautas establecidas por Silva et al. (2013). Para hacer el seguimiento de la adición de cal sobre el lodo residual se evaluaron los parámetros pH y temperatura, la frecuencia de medición se detallan en la Tabla 11 y Anexo 4. Los equipos utilizados para estas mediciones estaban debidamente calibrados y certificados, como se indica en el Anexo 5. Los parámetros se midieron al interior del desecador solar directamente en la muestra homogeneizada. La temperatura se midió en tres niveles de profundidad, y estos valores se promediaron. Para el pH, se recolectaron pequeñas fracciones de muestra de tres zonas diferentes, promediando también al final los valores.

Tabla 11.
Frecuencia de medición de los parámetros de control

Parámetro	Unidad	Frecuencia	Equipo
pH	Unidades	Día 0: 4 mediciones en el día cada hora, durante las 4 primeras horas. Día 1 al 3: 2 mediciones diarias. Día 4 y 5: 1 medición diaria.	Multiparámetro HACH HQ40D con medidor de pH (potenciómetro).
Temperatura	°C	Día 0: 6 mediciones en el día cada hora, durante las 6 primeras horas. Día 1 al 3: 3 mediciones diarias. Día 4 y 5: 1 medición diaria.	Termómetro digital con sonda HI98509 – HANNA de -50°C a 150°C.

Nota: Adaptado de Torres et al. (2008)

En la Figura 8 se muestra el inicio del proceso de estabilización de los lodos residuales en el desecador solar, el cual fue vertido de forma homogénea para un secado total y uniforme del material.

Figura 8.
Inicio del proceso de secado del lodo residual



Posterior a los cinco días del proceso de desecado, el biosólido obtenido (Figura 9) se trituró de modo que la textura obtuvo el resultado de polvo como se puede observar en la Figura 10.

Figura 9.

Biosólido obtenido después de 5 días



Figura 10.

Biosólido triturado



d. Caracterización de los biosólidos

Una vez finalizado el proceso de estabilización, con la finalidad de evidenciar el efecto del tratamiento, se realizó nuevamente la medición de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Los parámetros de medición fueron los mismos que se midieron en la caracterización inicial del lodo y estos fueron comparados con los límites plasmados en el D.S. N° 015-2017-Vivienda.

3.4.3. Etapa 3. Determinación de las condiciones adecuadas para la elaboración de compost bajo diferentes formulaciones utilizando los biosólidos obtenidos

a. Selección y evaluación del material de partida.

El material de partida principal fueron los biosólidos obtenidos, para enriquecer y acelerar el proceso de compostaje se añadieron residuos orgánicos domésticos, tierra fértil y aserrín. La evaluación de los biosólidos se basó en la comparación de los parámetros obtenidos frente al D.S. N° 015-2017-Vivienda.

b. Obtención del material de partida.

Los biosólidos se obtuvieron como resultado de un tratamiento químico mediante la aplicación de la cal y desecado solar, la tierra fértil se obtuvo de una parcela del valle de San Juan de Chorunga, el aserrín se obtuvo del aserradero de madera de la Unidad Minera de San Juan de Chorunga y los residuos orgánicos domésticos se obtuvieron de los comedores ubicados en el campamento de la Unidad Minera de San Juan de Chorunga.

c. Configuración experimental.

De acuerdo a lo indicado por Florida y Reátegui (2019) se usó un diseño de bloques completo al azar (DBCA), con dos tratamientos y tres repeticiones cada uno, donde la variable fue el porcentaje de biosólidos presentes en la pila de compostaje, como se presenta a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12.

Detalle de los insumos en cada tratamiento para pilas de 60 kg.

Composición Porcentual					Pesos			
Tratamiento	Materia en estudio	Enriquecedor			Materia en estudio	Enriquecedor		
	Biosólido (%) [*]	Residuos Orgánicos Domésticos (%)	Aserrín (%)	Tierra fértil (%)	Biosólido kg	Residuos Orgánicos Domésticos kg	Aserrín kg	Tierra fértil kg
T1R1	15	20	20	60	9	12	12	36
T1R2	15	20	20	60	9	12	12	36
T1R3	15	20	20	60	9	12	12	36
T2R1	45	20	20	60	27	12	12	36
T2R2	45	20	20	60	27	12	12	36
T2T3	45	20	20	60	27	12	12	36

^{*}El porcentaje de biosólido se encuentra en base al peso total de la suma de enriquecedores (residuos orgánicos domésticos, aserrín y tierra fértil).

d. Dimensión de pilas de compostaje.

De acuerdo con Mendoza (2012) para evitar condiciones anaeróbicas, se formaron pilas de 0.50 m de ancho, 1.0 m de largo y 0.80 m de alto.

e. Instalación de las pilas de compostaje.

La técnica que se empleó para la elaboración del compost fue el sistema en pilas o montones dinámicos. En la primera capa se añadió la tierra fértil, seguidamente se añadió aserrín, a continuación, se añadió el lodo estabilizado totalmente triturado y por último se añadió la capa de restos orgánicos. Para terminar la instalación de pilas, se humedeció con agua para asegurar el proceso adecuado, finalmente las pilas fueron cubiertas con polietileno de baja densidad para alcanzar valores más altos de temperatura.

f. Monitoreo y control del proceso.

Una vez conformadas las pilas de compostaje se inició con el monitoreo de parámetros de seguimiento pH y temperatura. La frecuencia de monitoreo se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13.

Frecuencia de monitoreo de parámetros de seguimiento

Parámetros	Diario	Inter diario	Semanal
pH	X	---	---
Temperatura C°	X	---	---

Para el control del proceso el primer volteo se realizó en la primera semana (día 07), debido a que las temperaturas no eran muy elevadas. El día 8 se volvió a remover y se dejó al aire libre hasta el día 10, presentando un olor minino. El día 15 se volvió a voltear y se notó que todos los restos orgánicos habían sido descompuestos y ya no había olor, finalmente el día 20 el Tratamiento 2 ya estaba listo, de igual manera el día 30 el Tratamiento 1.

g. Cosecha del compost.

La madurez del compost se evidenció en primera instancia por la textura y olor (Figura 11), luego de 20 días se realizó un último volteo y luego haciendo

uso de una zaranda con orificios de 20 mm se tamizó el compost de cada tratamiento y sus respectivas repeticiones, finalmente estas fueron almacenadas para próximos análisis.

Figura 11.
Compost cosechado



h. Evaluación de la calidad el compost

Para la toma de muestra de la calidad final de los dos tratamientos de compost; primero se tamizó el compost y se formó una muestra compuesta de la parte superior, del medio e inferior del compost, luego se mezcló para homogeneizar, una vez lista, se colocó la muestra en una bolsa ziploc, considerando la cantidad de 3 Kg de cada pila, esta muestra fue rotulada, codificada, se colocó en un cooler y fue enviada al Laboratorio de Servicios Analíticos Generales (SAG), en la Tabla 14 se muestran los parámetros analizados. Finalmente, los valores resultantes fueron comparados con los requisitos de la NTP 201.208:2021. Fertilizantes para evaluar la calidad de este y conseguir su valorización.

Tabla 14.
Parámetros para evaluar la calidad del compost obtenido

Rango ideal de compost maduro	
Humedad	35%-50%
pH	6,5-8,5
Conductividad	2-4 dS/m
C: N	25:1 - 35:1
Materia Orgánica	≥ 20%
Nitrógeno	0,3 – 1,5%

Nota: Adaptado de la NTP 201.208 (2021)

3.5. Diagrama de flujo del proceso completo de valorización de lodos residuales

En la Figura 12 se presenta un diagrama de flujo que detalla el proceso de valorización de lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la Unidad Minera San Juan de Chorunga. Este proceso se centra en la transformación de los lodos mediante el compostaje, destacando las etapas clave como la toma de muestras representativas, el análisis físicoquímico y microbiológico, la comparación con la normativa DS N° 015-2017-Vivienda, la estabilización de lodos, el diseño e implementación de un desecador solar, tratamientos químicos selectivos, y la formación de pilas de compostaje. La Figura 12 ilustra el seguimiento constante del pH y la temperatura durante el proceso, culminando con la cosecha, almacenamiento y evaluación de la calidad del compost obtenido. Este diagrama encapsula de manera integral la estrategia aplicada para la gestión eficiente y sostenible de los lodos residuales.

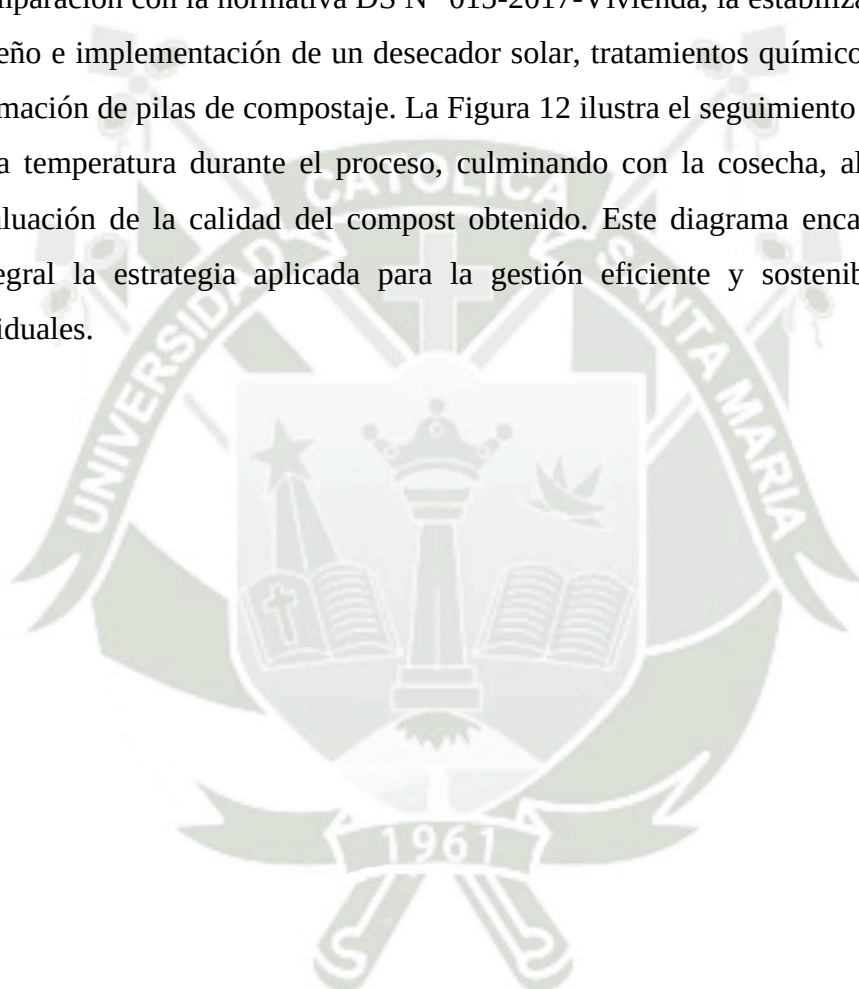
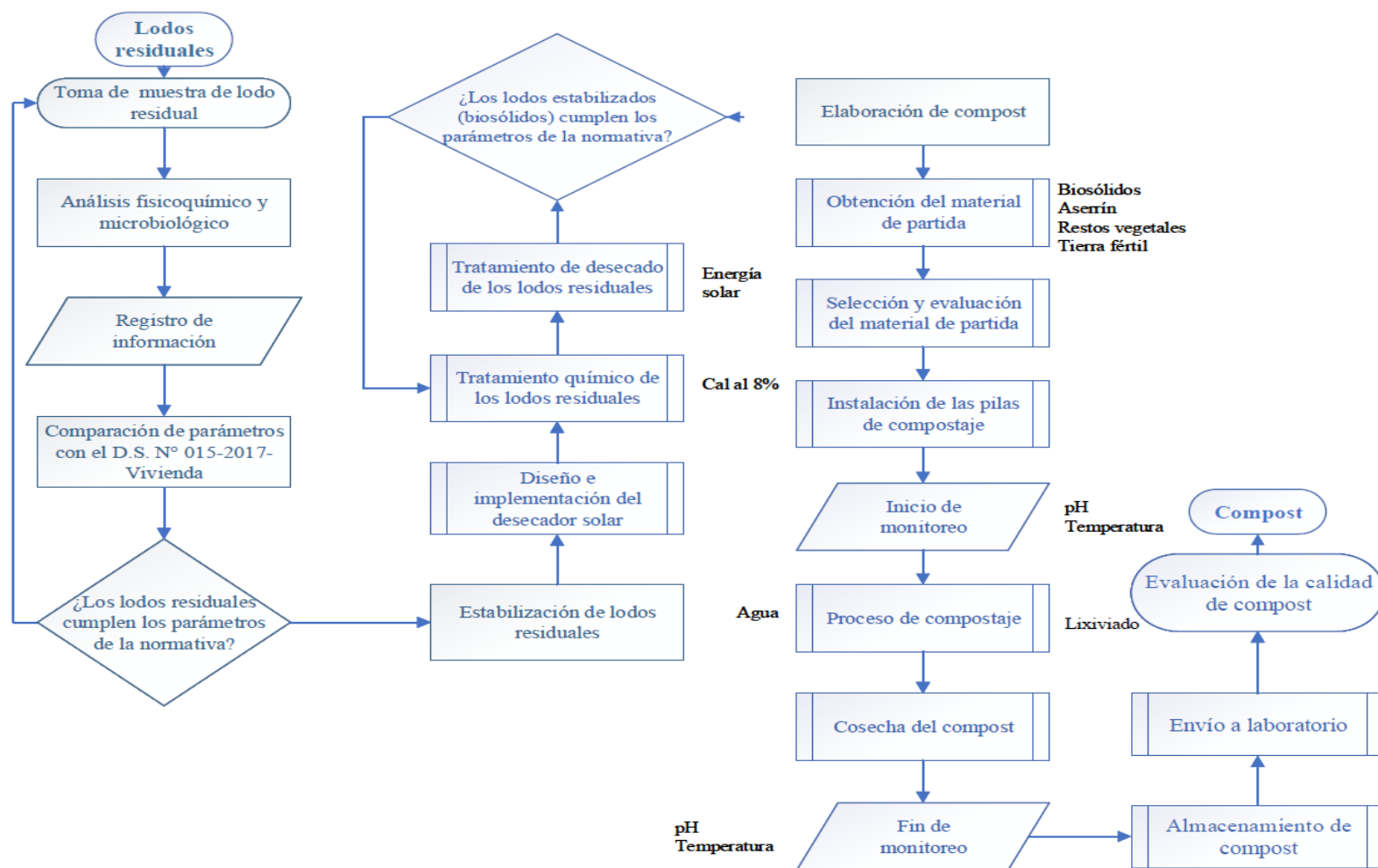


Figura 12.
Diagrama de flujo del proceso de valorización de los lodos residuales





CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Resultados

4.1.1. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos iniciales del lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la unidad minera San Juan de Chorunga.

Los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la unidad minera de San Juan de Chorunga son una combinación de agua y sólidos separados del agua depurada. En consecuencia, el lodo de la mina San Juan de Chorunga tiene una textura pastosa o seca.

En la Tabla 15 se detallan los resultados de la evaluación inicial de los parámetros fisicoquímicos de lodos comparados con la D.S. N° 015-2017-Vivienda. En el Anexo 3 se adjunta el informe de ensayo de laboratorio.

Tabla 15.

Resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos del lodo

Parámetros fisicoquímicos			
Parámetro	Unidad	D.S. N° 015-2017-Vivienda *	Resultados LO-01
Materia Orgánica	%	<=60 % de Materia seca (ST)	63.42
pH	Unid pH	---	5.51
Conductividad	dS/m	---	4.36
Humedad	%	---	85.76
Nitrógeno total	N%	---	3.32
Arsénico	mg/kg	40	15.32
Cadmio	mg/kg	40	1.34
Cromo	mg/kg	1200	12.75
Cobre	mg/kg	1500	62.55
Plomo	mg/kg	400	41.29
Mercurio	mg/kg	17	4.39
Níquel	mg/kg	400	4.02
Zinc	mg/kg	2400	420.63

*Reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las PTAR

Nota. Tomado del Informe de ensayo N°164183-2022 SAG

Los resultados de Conductividad, pH y Humedad fueron de 4.36 dS/m, 5.51 unid. pH y 85.76% respectivamente, no obstante, estos parámetros no presentan valor referencial en la normativa ambiental indicada. Realizando el contraste de valores se puede observar que se supera el valor permitido de materia orgánica, por lo tanto, indica que el lodo debe ser estabilizado previo a ser reutilizado en el compostaje. Adicionalmente al observar los resultados de la evaluación de las muestras de lodo residual, se determinó que los parámetros, Zinc, Níquel, Mercurio, Plomo, Cobre, Cromo, Cadmio y Arsénico no superan las concentraciones permitidas según el D.S. N° 015-2017-Vivienda de referencia. Respecto a los resultados de la evaluación de parámetros de higienización se obtuvieron los siguientes valores (Tabla 16).

Tabla 16.
Resultados del análisis de parámetros de higienización

Parámetros de Higienización			
Parámetro	Unidad	D.S. N° 015-2017-Vivienda *	Resultados LO-01
<i>Escherichia coli</i>	NMP/g ST	<1000	7.6×10^6
<i>Salmonella sp.</i>	NMP/10gST	<1	25.42
<i>Salmonella sp.</i>	NMP/4gST	---	10.169
Huevos de Helmintos	Huevos /4g ST	<1	<1

*Reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las PTAR

Nota. Tomado del Informe de ensayo N°164183-2022 SAG

Según la Tabla 16 se observa que los parámetros de higienización que superaron el valor referencial según la normativa fueron:

- *Escherichia Coli* (7.6×10^6) y *Salmonella sp* (25.42) que superan los valores de <1000 NMP/g ST y <1 NMP/10g ST respectivamente.

No obstante, los resultados de los huevos de Helmintos se encontraban por debajo del límite establecido en la normativa, lo cual significa que no se encontró presencia de los mismos.

4.1.2. Elaboración de biosólidos utilizando el lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Unidad Minera San Juan de Chorunga.

4.1.2.1. Estabilización del lodo residual mediante tratamiento de secado solar y tratamiento químico.

El tratamiento de estabilización y secado tuvo un periodo experimental de 5 días. En la Tabla 17 y Tabla 18 se presentan los resultados del monitoreo de los parámetros de control pH y temperatura (ver Anexo 4), mientras que en el Anexo 6 se muestra el balance de materia y energía del proceso de secado de estabilización del lodo residual.

Tabla 17.
Comportamiento de pH durante el proceso de estabilización y secado.

Tratamiento	pH											
	Día 0				Día 1		Día 2		Día 3		Día 4	Día 5
	1h	2h	3h	4h	1h	2h	1h	2h	1h	2h	1h	1h
L1 (8%)	12.10	12.51	12.34	12.36	12.41	12.27	12.40	12.42	12.44	12.43	12.42	12.43

Se puede observar que el pH se incrementa a 12 desde el día cero, llegando a un valor máximo de 12.59 el día 2 y el menor valor se presentó en la primera medición del día 0 respectivamente.

Para llevar a cabo la desecación y el encalado de los lodos, se trabajó en un rango de temperaturas de oscilo entre 30.3°C y 62.6°C, como se detalla en la Table 18. Además, se empleó una concentración del 8% para el proceso de encalado.

Tabla 18.*Comportamiento de la temperatura durante el proceso de estabilización y secado.*

Temperatura																	
Tratamiento	Día 0						Día 1			Día 2			Día 3			Día 4	Día 5
	1h	2h	3h	4h	5h	6h	1h	2h	3h	1h	2h	3h	1h	2h	3h	1h	1h
L1 (8%)	30.3	32.2	34.6	39.7	51.0	51.6	54.0	58.0	58.8	56.4	62.6	54.9	44.7	56.0	39.7	37	32.7

Respecto al parámetro de temperatura, se puede observar que inicia el día 0 con un valor de 30.3 °C, alcanzando el pico más alto de 62.6°C y finalizando en el día 5 con 32.7°C.

Por lo tanto, la temperatura aumenta a medida se lleva a cabo el proceso de higienización y conforme avanzan los días de estabilización, se mantiene antes de descender una vez que se han secado los lodos residuales.

4.1.2.2. Evaluación del lodo estabilizado

En la Tabla 19 se muestran los resultados de la evaluación del lodo estabilizado LO-01 de acuerdo al D.S. N° 015-2017-vivienda. Además, los resultados de laboratorio se encuentran en el IE N°166342-2022-SAG del Anexo 7.

Tabla 19.
Resultados de la evaluación del lodo estabilizado

Parámetro	Unidad	D.S. N° 015-2017-Vivienda *	Resultados LO-01 Lodo inicial	Resultados LO-01 Lodo estabilizado
Materia Orgánica	%	<=60 % de Materia seca (ST)	63.42	19.43
pH	Unid pH	--	5.51	12.24
Conductividad	dS/m	--	4.36	11.62
Humedad	%	--	85.76	36.73
Nitrógeno total	N%	1.5 a 6	3.32	2.3
Parámetros de toxicidad Química				
Arsénico	mg/kg	40	15.32	9.01
Cadmio	mg/kg	40	1.34	1.24
Cromo	mg/kg	1200	12.75	9.16
Cobre	mg/kg	1500	62.55	64.79
Plomo	mg/kg	400	41.29	23.65
Mercurio	mg/kg	17	4.39	1.56
Níquel	mg/kg	400	4.02	17.94
Zinc	mg/kg	2400	420.63	268.26
Parámetros de Higienización				
Escherichia coli	NMP/g ST	<1000	7.6 x 10 ⁶	<0.1813
Salmonella sp.	NMP/10gST	<1	25.42	<0.006473
Salmonella sp.	NMP/4gST	--	10.169	<0.006473
Huevos de Helminthos	Huevos /4gST	<1	<1	<1

*Reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las PTAR

Nota. Tomado del Informe de ensayo N°166342-2022 SAG.

Durante el análisis inicial de los lodos, los parámetros de materia orgánica con 63.42%, *Escherichia coli* con 7.6x10⁶ y *Salmonella sp.* con 25.42, habían superado los valores de acuerdo al D.S. N° 015-2017-Vivienda, sin embargo, luego del tratamiento químico mediante la aplicación de la cal y el secado solar el

lodo llegó a estabilizarse de forma eficiente, por lo tanto, se redujo los valores que se encontraban elevados en el lodo residual como lo indican los resultados de la tabla (20) a continuación.

Tabla 20.

Resultados de la reducción de parámetros que excedían la normativa.

Parámetro	Unidad	D.S. N° 015-2017-Vivienda *	Resultados de la estabilización
Materia orgánica	%	≤ 60 % de Materia seca (ST)	19.43
Parámetros de Higienización			
<i>Escherichia coli</i>	NMP/g ST	<1000	< 0.1813
<i>Salmonella sp</i>	NMP/10gST	<1	<1

*Reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las PTAR

Nota. Tomado del Informe de ensayo N°166342-2022 SAG

Se obtuvieron valores de reducción de 19.43% en materia orgánica, respecto a *Escherichia coli* se lograron valores < 0.1813 y en cuanto a *Salmonella sp* <1 valores menores a lo indicado en la normativa. Con respecto a la cantidad, se obtuvo un peso final de 108 kg, partiendo de un valor inicial de 211.03 kg de lodo residual mezclado con cal, lo que confirma una reducción del 48.72 %. Posteriormente se trasladó el biosólido (lodo estabilizado) hacia el área de compostaje para continuar con el proceso.

Los lodos generados tras el tratamiento de las aguas residuales se disponen en el lecho de secado y luego se trasladan al rellano sanitario, lo que representa un riesgo para la salud de los trabajadores y el medio ambiente debido a posibles derrames. Además, su descomposición causa molestias a las personas en el área de influencia, lo que indica que no se está aprovechando de manera adecuada. Por esta razón, es conveniente darles un valor agregado a los lodos residuales para obtener beneficios económicos, sociales y ambientales. En este caso, se propone la higienización para utilizarlos en la elaboración de compost, fortaleciendo la gestión de residuos y recomendando alternativas para su aprovechamiento.

4.1.3. Determinación de los parámetros óptimos para la elaboración de compost bajo diferentes formulaciones utilizando los biosólidos obtenidos en la unidad minera San Juan de Chorunga.

4.1.3.1. Resultados de la evaluación de la calidad del compost

a. Análisis de la calidad del Tratamiento N° 1

Tabla 21.

Análisis de la calidad del Tratamiento N° 1

Contraste de parámetros de compost maduro			
Parámetros	Unidad	Valores óptimos NTP 201.208:2021. Fertilizantes**	Valores de las medias obtenidas
Humedad	%	35%-50%	35.17±0.73
pH	-	6,5-8,5	7.36±0.44
Conductividad	dS/m	2 - 4	3,61±0.73
C: N	-	25:1 - 35:1	21.62±0.73
Materia Orgánica	%	≥ 20%	39.99±0.73
Nitrógeno total	%	0,3 – 1,5	1.26±0.17
Material de partida	kg	-	69
Compost cosechado	kg	-	34.23

**NTP que establece los requisitos del compost a partir de residuos sólidos orgánicos

Nota. Tomado del Informe de ensayo N°167390, 167391 y 167392 SAG

Según la Tabla 21 y Anexo 8 se puede observar que los resultados obtenidos en el Tratamiento 1 muestran valores cercanos a lo indicado en la NTP 201.208:2021. Fertilizantes, sin embargo, se obtuvo valores por debajo de la normativa respecto al parámetro relación C: N obteniendo como valor 21.79 en un rango permitido de 25:1 a 35:1.

b. Análisis de la calidad del Tratamiento N° 2

Teniendo como resultados los siguientes valores de calidad de compost a partir de la segunda formulación de compost.

Tabla 22. *Análisis de la calidad del Tratamiento N° 2*

Contraste de parámetros de compost maduro			
Parámetros	Unidad	Valores óptimos NTP 201.208:2021. Fertilizantes**	Valores de las medias obtenidas
Humedad	%	35%-50%	38.56±0.73
pH	-	6,5-8,5	7.61±0.72
Conductividad	dS/m	2 - 4	3,47±0.09
C: N	-	25:1 - 35:1	28.17±0.73
Materia Orgánica	%	≥ 20%	39.08±0.67
Nitrógeno total	%	0,3 – 1,5%	1.07±0.15
Material de partida	kg	-	87
Compost cosechado	kg	-	51.9

**NTP que establece los requisitos del compost a partir de residuos sólidos orgánicos

Nota. Tomado del Informe de ensayo N°167393, 167394 y 167395 SAG

En la Tabla 22 y Anexo 9 se puede observar que, el valor del parámetro relación C: N (28.0) está dentro del rango establecido según la normativa (25:1 – 35:1), lo que nos lleva a suponer que el Tratamiento 2 posee una mejor calidad en comparación al Tratamiento 1 y es considerado como compost de buenas características al cumplir la normativa NTP 201.208: 2021.Fertilizantes.

4.1.3.2.Calidad de compost según tratamientos

A partir de los resultados obtenidos en los análisis del compost final en los dos tratamientos, se puede obtener la siguiente comparación de valores de calidad como se observa en la Tabla 23.

Tabla 23.

Comparación de valores de calidad de compost con la normativa

Parámetros	Unidad	Valores ideales (NTP 201.208:2021. Fertilizantes) **	Valores Tratamiento 1	Valores Tratamiento 2
Humedad	%	35%-50%	35.17	38.56
pH	-	6,5-8,5	7.36	7.61
Conductividad	dS/m	2 - 4	3,61	3,47
C: N	-	25:1 - 35:1	21.62	28.17
Materia Orgánica	%	≥ 20%	39.99	39.08
Nitrógeno total	%	0,3 – 1,5	1.26	1.07

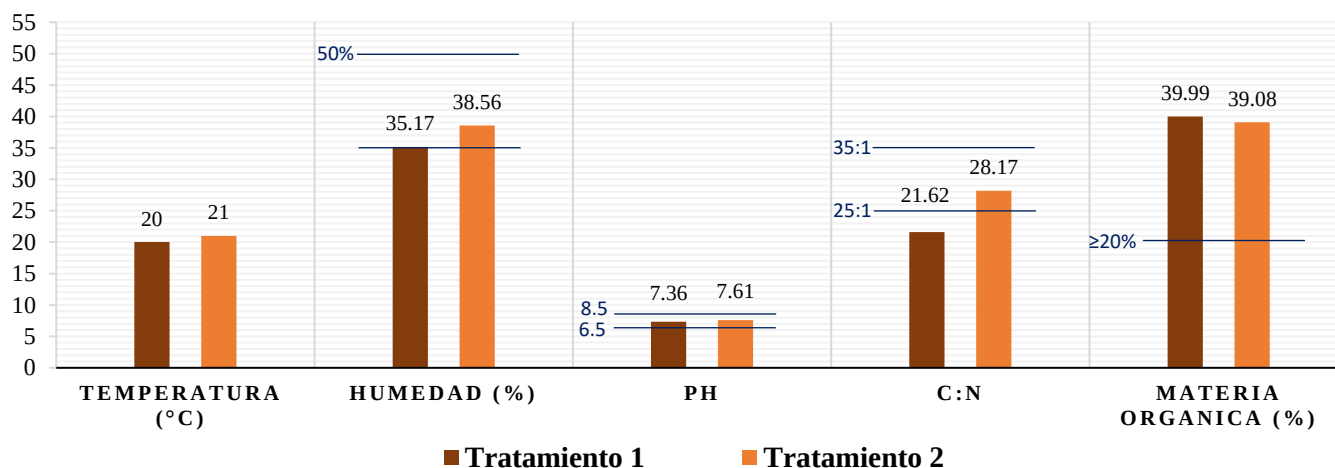
**NTP que establece los requisitos del compost a partir de residuos sólidos orgánicos

Tratamiento 1: 9 kg biosólido + 12 kg restos orgánicos + 12 kg aserrín + 36 kg de tierra fértil.

Tratamiento 2: 27 kg de biosólido + 12 kg restos orgánicos + 12 kg de aserrín + 36 kg de tierra fértil.

Figura 13.

Comparación de parámetros de calidad según tratamiento

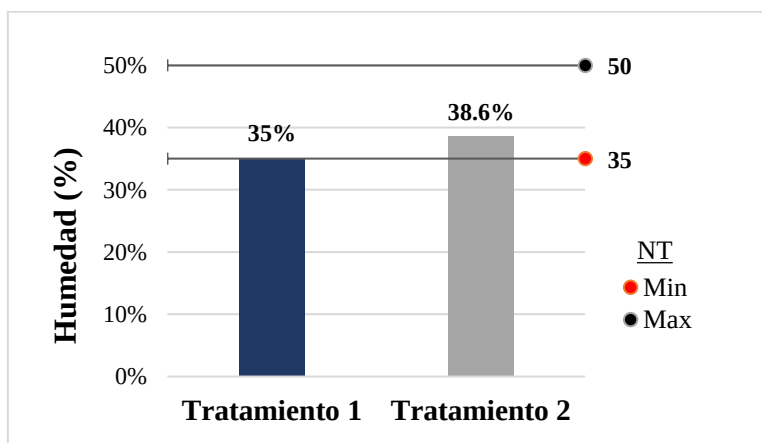


En la Tabla 23 y Figura 13 se observa que el compost N° 2 con su respectiva formulación 1 obtiene los valores más cercanos a los establecidos por la normativa NTP 201.208:2021. Fertilizantes aprobada por el INACAL (Instituto Nacional de Calidad, 2022), esta norma establece parámetros y valores que debe cumplir el compost elaborado de residuos sólidos orgánicos para la reforestación y mantenimiento de áreas verdes, jardines, parques, entre otros.

4.1.3.3. Humedad

Figura 14.

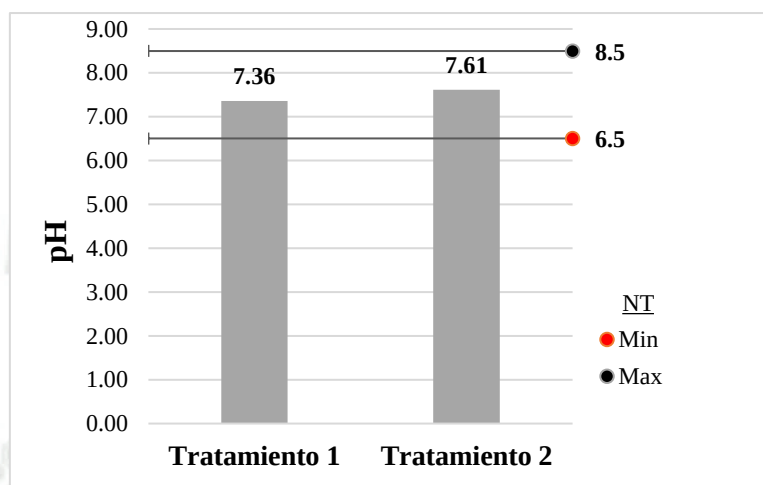
Humedad del compost



La Figura 14 revela que los resultados de la prueba t, aplicada al parámetro de humedad, denotan una diferencia estadísticamente significativa al nivel de confianza del 95% entre las medias de los dos tratamientos, T1 (35.16%) y T2 (38.56%). Esta diferencia se corrobora mediante un valor de $p=0.030$, el cual es inferior al umbral de significancia predefinido de 0.05. En cuanto al parámetro de humedad, se registró un 35.17% en el T1 y un 38.56% en el T2, lo cual guarda similitud con el porcentaje informado por Ramírez y Gallego (2016) con un 52%, asimismo, se destaca cierta concordancia con otro estudio que reporta un valor porcentual del 39% en la investigación de Becerra (2022). No obstante, se observa una discrepancia notable con algunos estudios, particularmente con la investigación de Garrido-Acosta et al. (2023) con 14.2%. En lo que respecta a la conformidad con la Norma Técnica Peruana 201.208 Requisitos para compost municipal, los valores de ambos tratamientos se sitúan dentro del rango establecido, lo que respalda la idoneidad del proceso de compostaje a partir de biosólidos obtenidos de lodos residuales. Una adecuada humedad es el resultado de una estabilización efectiva, Miraval (2019) indica que manejar adecuadamente la humedad influye de manera importante en el proceso de transformación del compost debido a que debe encontrarse entre el rango adecuado para que la población microbiana se desarrolle normalmente. Otros autores como indican Roben (2002) que la humedad adecuada es de 40 - 60%, ya que el porcentaje de humedad mayor a ese rango transformará el proceso en un proceso de putrefacción anaeróbica. Este parámetro es muy importante para asegurar el proceso de compostaje por ello es necesario tener en cuenta las condiciones climáticas, específicamente con respecto a la precipitación, para tomar medidas de control. Si el material está muy seco, los microorganismos no pueden continuar trabajando y la fabricación de compost se detiene. En cambio, si está demasiado húmedo, la mezcla del compostaje se apelmaza y los residuos se compactan. En estas condiciones, el oxígeno ya no puede entrar en acción en la mezcla.

4.1.3.4. pH

Figura 15.
pH del compost

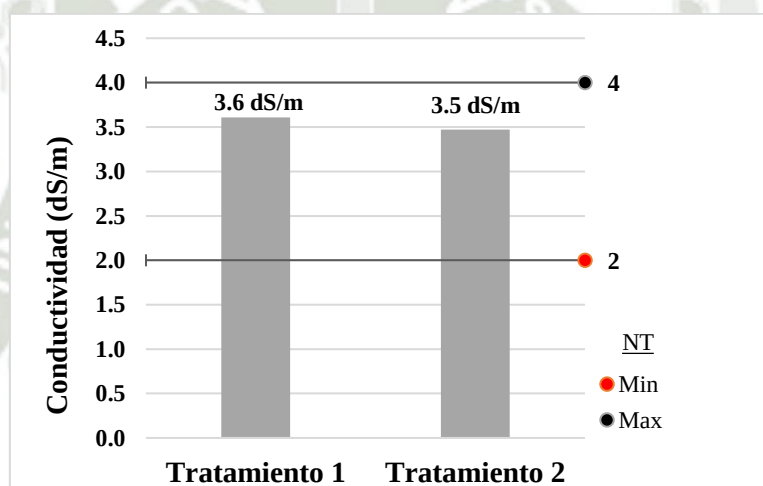


La Figura 15 revela que los resultados de la prueba t, aplicada al parámetro de pH, indican la ausencia de una diferencia estadísticamente significativa, con un nivel de confianza del 95%, entre las medias de los dos tratamientos, T1 (7.35) y T2 (7.61). Este hallazgo se sustenta en el valor de $p=0.778$, el cual excede el umbral de significancia predefinido de 0.05. En relación al parámetro de pH, que arrojó valores de 7.36 (T1) y 7.61 (T2), podemos concluir que su proximidad a un valor de 7 refleja cómo el proceso de transformación ha estabilizado efectivamente este parámetro, lo que se asemeja a los valores de pH entre 5 y 7.5 reportados en la investigación de Aguirre (2023), el pH de 7.2 en el estudio de Becerra (2022), el valor de 6.68 en la investigación de Ramírez & Gallego (2016), y el pH de 6.9 presentado por Jara et al. (2016). En contraste, se observan valores superiores a 8, que podrían haber generado dificultades en el seguimiento del estudio, como se evidencia en el pH de 8.90 en el trabajo de Garrido-Acosta (2023). Es importante destacar el estudio de Estela (2022), donde se presenta un rango de pH entre 6.6 y 8.0. Esto sugiere que, en ese caso particular, el compost podría haber sido específico para plantas que toleran un pH básico o que el proceso no se desarrolló adecuadamente. En cuanto a los parámetros de acidez establecidos por la Norma Técnica Peruana 201.208 de compostaje, es alentador observar que los valores obtenidos en ambos tratamientos cumplen con los márgenes aceptados por esta normativa, lo que confirma que son aptos y cumplen con los estándares establecidos para el compostaje. Según Nacarino & Lozano (2006), se sugiere que

los niveles de pH ideales deben mantenerse en un estado neutro y no deben exceder el valor de 8.5, esto se hace con el propósito de prevenir la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco. Roben (2002) destaca que, si el pH es demasiado ácido, es posible corregirlo utilizando cal para neutralizar el valor de pH en el compost, así mismo en este parámetro es necesario tener en consideración la actividad metabólica de los microorganismos presentes en la pila de compostaje, la cual dependerá del valor de pH de las materias primas (Moreno & Morál, 2008).

4.1.3.5. Conductividad eléctrica

Figura 16.
Conductividad eléctrica del compost



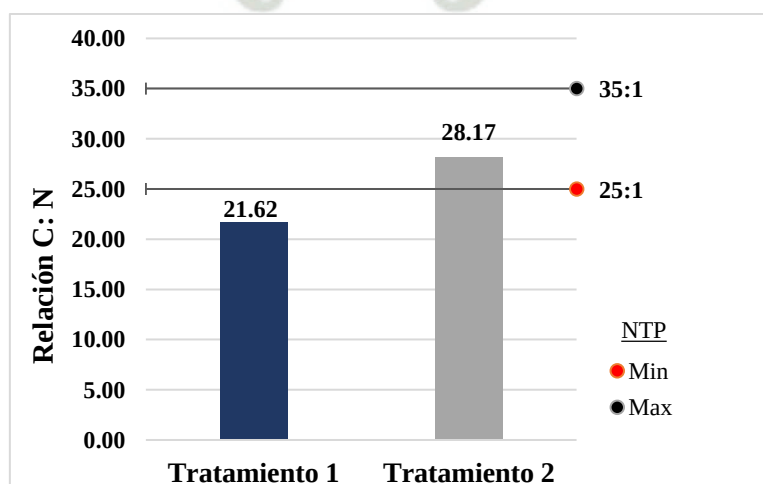
La Figura 16 revela que los resultados de la prueba t, aplicada al parámetro de conductividad eléctrica, indican la ausencia de una diferencia estadísticamente significativa, con un nivel de confianza del 95%, entre las medias de los dos tratamientos, T1 (3.60 dS/m) y T2 (3.46 dS/m). Este hallazgo se sustenta en el valor de $p=0.778$, el cual excede el umbral de significancia predefinido de 0.05. En lo que respecta al parámetro de conductividad eléctrica, que registró valores de 3.61 T1 y 3.47 T2, podemos afirmar que se logró mejorar los niveles de conductividad eléctrica, lo cual impacta de manera significativa en la calidad del compost. Estos valores son ideales y sugieren que el tratamiento aplicado ha favorecido la disponibilidad de nutrientes para las plantas, permitiendo su asimilación eficiente. Este hallazgo es coherente con investigaciones previas, como la cifra cercana de 4.8 a 15.2 dS/m en el estudio de Estela (2022), el valor

de 2.8 dS/m en la investigación de Becerra (2022) y el valor 2.5 dS/m de Arrieta (2020). Por otro lado, se observa una discrepancia marcada con valores más elevados, como el registro de 12.03 dS/m en el estudio de Díaz et al. (2010), así como resultados notablemente inferiores, como la cifra de 0.287 dS/m en el trabajo de Acosta et al. (2012). A pesar de estas diferencias, ambos tratamientos se sitúan dentro de los rangos establecidos por la Norma Técnica Peruana (NTP 201.208 Requisitos para compost municipal), lo que garantiza su cumplimiento con los estándares de calidad. Moreno y Moral (2008), argumentan que la conductividad eléctrica está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, Arrieta (2020) menciona también que este parámetro tiene tendencia a incrementarse a lo largo del proceso de maduración de compostaje debido a la mineralización de la carga orgánica y la generación de nitratos. Asimismo, en su investigación, Rodríguez (2017) registró una conductividad de hasta 4.07 en el compost final obtenido a partir de lodos residuales. Según los resultados obtenidos para este parámetro y lo señalado por Moreno y Moral (2008), así como por Arrieta en 2020, podemos inferir que la reducción de los niveles de conductividad eléctrica en nuestro proceso podría estar relacionada con el riego. Este proceso no solo diluyó las sustancias solubles presentes, sino que también desplazó iones y afectó determinadas reacciones microbianas, las cuales podrían haber consumido o modificado compuestos solubles. Como consecuencia, se produjeron lixiviados.

4.1.3.6. Relación C: N

Figura 17.

Relación carbono nitrógeno C: N del compost

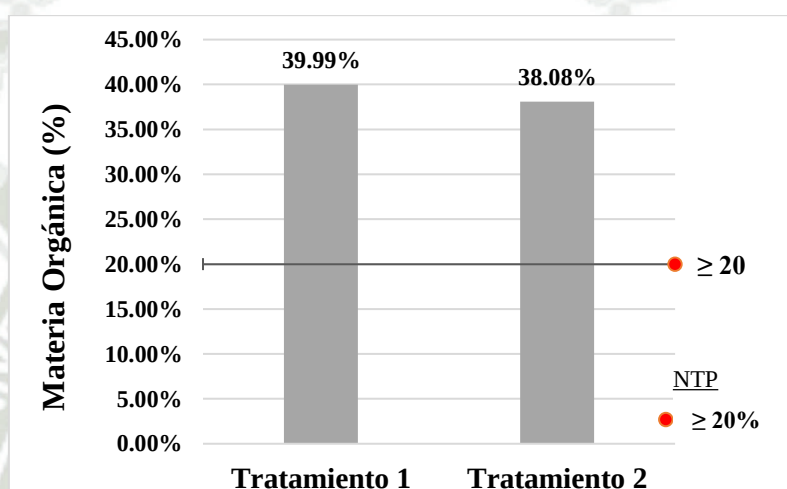


La Figura 17 revela que los resultados de la prueba t, aplicada al parámetro de relación carbono nitrógeno, denotan una diferencia estadísticamente significativa al nivel de confianza del 95% entre las medias de los dos tratamientos, T1 (21.62) y T2 (28.16). Esta diferencia se corrobora mediante un valor de $p=0.030$, el cual es inferior al umbral de significancia predefinido de 0.05. En relación al parámetro de la relación C/N, que arrojó valores de 21.62 (T1) y 28.17 (T2), es relevante mencionar que existen investigaciones previas que abordan este aspecto. Arrieta (2020) señala que en su investigación alcanzó relaciones C/N de hasta 16:1, mientras que Cabrera & Rossi (2016) obtuvieron valores inferiores a una relación de 15:1. Esta discrepancia sugiere la presencia de un déficit de carbono en el proceso, que en su investigación se corrigió mediante la adición de materiales ricos en carbono, como restos de poda, hojas secas, aserrín, entre otros. Además, se encuentran resultados divergentes en otras investigaciones, como la proporción de 10:1 presentada en el estudio de Jara et al. (2016). La Figura 17 ilustra que solo el tratamiento 2 cumple con los márgenes establecidos por la Norma Técnica Peruana 201.208 de compostaje y, por lo tanto, es considerado aceptable según estos estándares. Conforme a lo mencionado por Nacarino & Lozano (2006), una relación C/N por encima de los valores recomendados puede dar como resultado un compost inmaduro, mientras que una relación por debajo del rango establecido puede generar niveles elevados de amoníaco. No obstante, es importante destacar que la relación C/N tiende a mejorar con el tiempo, lo que contribuye a la estabilización del compost y mejora la calidad de sus características. Además, como lo indica Monsalve et al. (2017), una relación C/N excesivamente alta conduce principalmente a la inmovilización del nitrógeno, sin lograr la mineralización completa de todo el nitrógeno presente. Este aspecto resalta la crucial importancia de mantener un equilibrio adecuado en la relación C/N durante el proceso de compostaje. Como indican Román et al. (2013), cuando los materiales no logran alcanzar una proporción de carbono a nitrógeno adecuada, y existe un exceso de carbono en comparación con el nitrógeno, se produce un bloqueo biológico de nitrógeno, comúnmente conocido como "hambre de nitrógeno". Este fenómeno ralentiza el proceso de compostaje, afectando finalmente la calidad del compost obtenido. Al aplicar este compost al suelo, la microbiota tiende a consumir el carbono presente en el material, aumentando el

consumo de nitrógeno y agotando así las reservas de nitrógeno en el suelo. Por otro lado, un exceso de nitrógeno en comparación con el carbono puede generar un aumento en la temperatura del proceso y la emisión de malos olores debido a la liberación de amoníaco.

4.1.3.7. Materia Orgánica

Figura 18.
Materia orgánica del compost

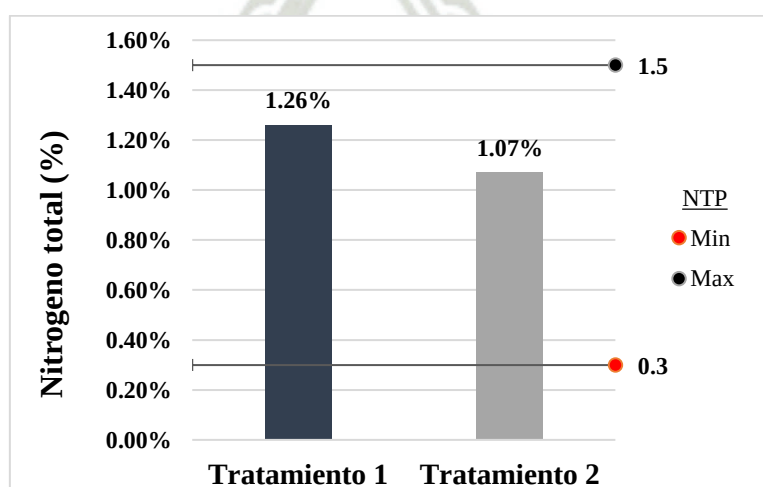


La Figura 18 revela que los resultados de la prueba t, aplicada al parámetro de materia orgánica, indican la ausencia de una diferencia estadísticamente significativa, con un nivel de confianza del 95%, entre las medias de los dos tratamientos, T1 (39.98%) y T2 (39.08%). Este hallazgo se sustenta en el valor de $p=0.414$, el cual excede el umbral de significancia predefinido de 0.05. En relación al parámetro de materia orgánica (MO), que arrojó valores del 39.98% (T1) y 38.08% (T2), podemos concluir que estos valores son adecuados y se encuentran dentro de los rangos aceptables para el proceso de compostaje. Estos resultados son consistentes con una amplia gama de investigaciones previas que respaldan la idoneidad de estos valores para llevar a cabo el compostaje con éxito. Un ejemplo de esta similitud se encuentra en la investigación de Garrido-Acosta (2023), que registró un 47.56% de MO, lo que indica valores superiores a los obtenidos en nuestro estudio. Además, se observa que Aguirre (2023) informó una cifra porcentual mayor al 45%, lo cual también respalda la validez de nuestros resultados. En un extremo, la investigación de Ramírez & Gallego (2016) presentó

un notable 84.44% de MO, y Jara et al. (2016) obtuvo un valor del 51.475%, lo que sugiere que nuestros resultados están en concordancia con investigaciones previas que muestran un alto contenido de materia orgánica. En relación a los parámetros establecidos por la Norma Técnica Peruana 201.208 de compostaje, es alentador observar que ambos tratamientos cumplen con los márgenes establecidos por esta normativa, lo que confirma que son más que aptos para su utilización en el proceso de compostaje. Según el Manual de Compostaje del agricultor Román et al (2013) menciona que la presencia de materia orgánica > 20 en el compost permite la mejora de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo, promueve también la reducción de vectores como roedores e insectos, la minimización de plantas no deseadas, patógenos y bacterias. Roben (2002) indica que la cantidad de materia orgánica perdida en porcentaje de peso es igual a la materia orgánica, asimismo, la aplicación de compost con un contenido adecuado de materia orgánica en el suelo es de suma importancia, ya que la materia orgánica constituye uno de los componentes más esenciales del suelo. No obstante, es crucial tener en cuenta que, para su aplicación, el compost debe encontrarse completamente maduro. Esto permite utilizarlo como enmienda del suelo, mejorando la estructura del mismo, aumentando la retención de agua y nutrientes, y fomentando un entorno propicio para el crecimiento de las plantas (Román et al., 2013).

4.1.3.8. Nitrógeno

Figura 19.
Nitrógeno del compost



La Figura 19 revela que los resultados de la prueba t, aplicada al parámetro de relación carbono nitrógeno, denotan una diferencia estadísticamente significativa al nivel de confianza del 95% entre las medias de los dos tratamientos, T1 (1.26%) y T2 (1.07%). Esta diferencia se corrobora mediante un valor de $p=0.019$, el cual es inferior al umbral de significancia predefinido de 0.05. En relación al parámetro de nitrógeno, que arrojó valores de 1.26% (T1) y 1.07% (T2), es evidente que estos valores son adecuados para lograr un óptimo desempeño en el proceso de compostaje. Esto se respalda al observar que estos valores son consistentes con investigaciones previas que han establecido rangos de referencia para el contenido de nitrógeno en el compostaje. Por ejemplo, Aguirre (2023) reporta un valor porcentual de nitrógeno superior al 0.8%, lo que indica una mayor concentración de nitrógeno en comparación con nuestros resultados. Además, se observa que los valores en el rango de 0.3% a 1.7%, respaldados por la investigación avalada por Estela (2022), concuerdan con los valores encontrados en nuestro estudio. También es relevante destacar que la investigación de Becerra (2022) presentó un valor del 1.37% de nitrógeno, lo cual es consistente con nuestros hallazgos. Sin embargo, se identifican discrepancias en estudios como el de Garrido-Acosta (2023), que informó un valor de 2.3725% de nitrógeno, así como en el caso de Ramírez & Gallego (2016), que registró un valor de 1.755%, lo que sugiere divergencias en los resultados. En cuanto al cumplimiento de los parámetros establecidos por la Norma Técnica Peruana 201.208 de compostaje, es alentador observar que ambos tratamientos se sitúan dentro del rango aceptable según esta normativa, lo que confirma su idoneidad y aptitud para el proceso de compostaje de acuerdo con los estándares establecidos. Conforme al Manual de Compostaje del agricultor de la Román et al. (2013), se recomienda un intervalo de concentración de nitrógeno que oscila entre el 1% y el 2%. En este sentido, es crucial tener en cuenta la presencia de nitrógeno en el compost final resultante, ya que, si este valor supera los límites establecidos, podría provocar la alcalinización del medio con el que entra en contacto o la generación de olores debido a la producción de amoníaco. Esta situación puede abordarse de manera efectiva mediante la incorporación de materiales ricos en carbono, como aserrín, hojas secas y restos de poda. Bohórquez (2019) resalta la importancia de gestionar adecuadamente este parámetro, ya que un exceso del mismo en forma de amonio, puede provocar contaminación ambiental a través de procesos como la infiltración en el suelo o la

volatilización, contribuyendo así a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Un compost que posee un porcentaje adecuado de nitrógeno funciona como un impulsor del crecimiento, ya que este elemento está implicado en los procesos principales relacionados con el desarrollo de las plantas (Román et al., 2013).

4.2.Efecto de los factores meteorológico en el proceso de compostaje

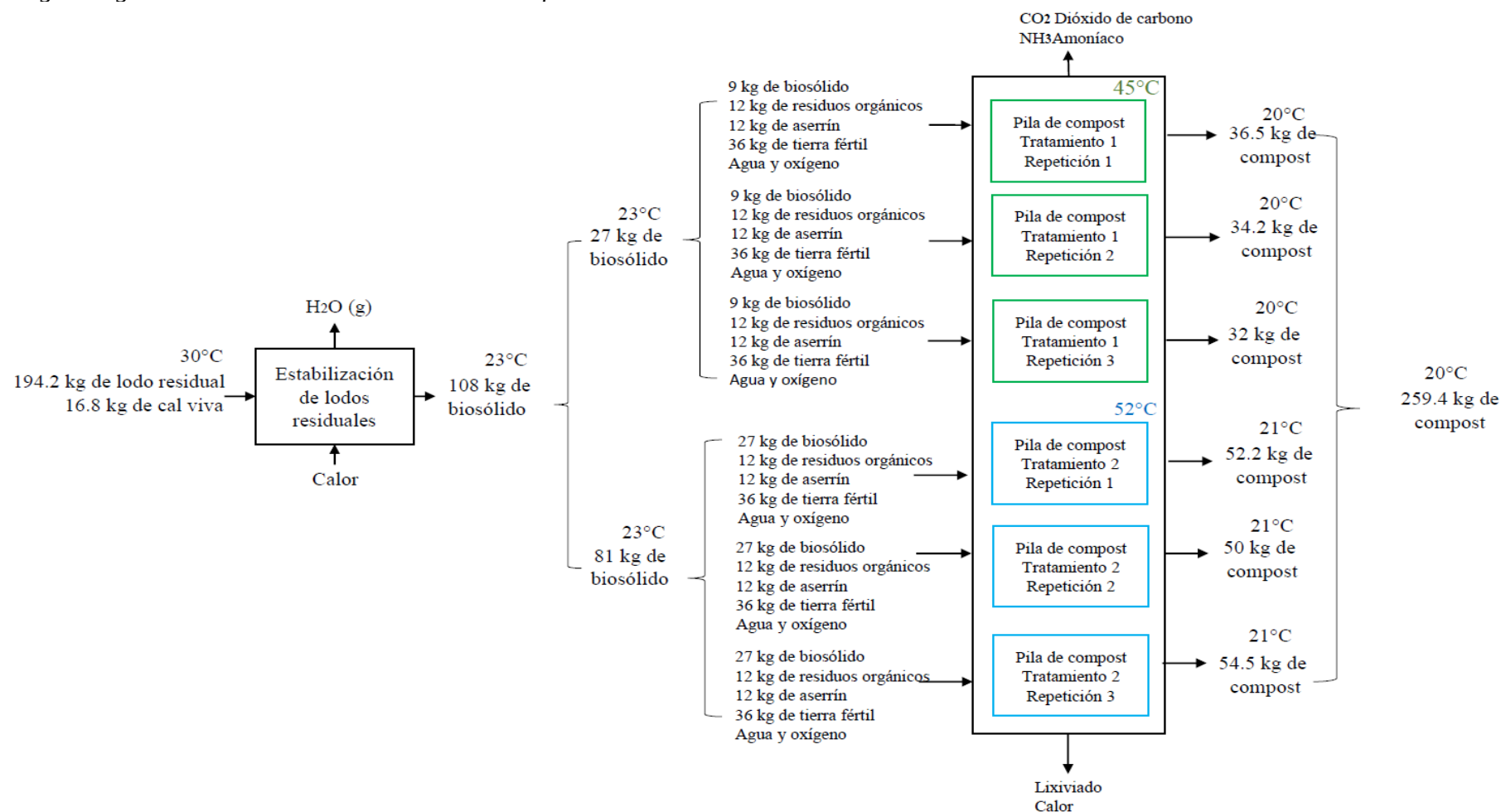
La radiación solar, con picos máximos de 253.2 W/m² y mínimos de 142.3 W/m², se reveló como un factor crucial en el compostaje al incidir en el equilibrio hídrico y promover el rompimiento fotoquímico de la lignina, acelerando la descomposición de los residuos. Las variaciones de temperatura ambiente (ver Anexo 11), oscilando entre 21.0 °C y 29.3 °C, mostraron una relación cercana durante la fase mesófila inicial y se aproximaron en la fase de maduración, facilitando la identificación de la cuarta fase y la planificación de la cosecha. La humedad relativa, con valores entre el 55.2% y el 81.0%, influyó en la pérdida de biomasa, intensificando la descomposición en la fase termófila y previniendo obstrucciones por exceso de humedad, como ocurrió en la investigación de Cuti y Vargas (2023). La dirección del viento, que predomina del Suroeste a velocidades de 5.1 a 8.9 Km/h (ver Anexo 12), favoreció la aireación pasiva, suministrando oxígeno, manteniendo la temperatura y eliminando la humedad de la materia orgánica durante el compostaje, tal como lo señaló Montero (2022).

4.3.Balance de Materia y energía del proceso de valorización de lodos residuales

La Figura 20 muestra un diagrama general del balance de masa durante el proceso completo de valorización de los lodos residuales.

Figura 20.

Diagrama general del balance de masa durante el proceso de valorización de lodos residuales



En la Figura 20, se evidencia que, en el proceso, se partió de 194.2 kg de lodo y se enriqueció con 16.8 kg de cal viva para lograr la estabilización. Esto resultó en la obtención de 108 kg de biosólido, que posteriormente se combinó con residuos orgánicos, aserrín y tierra fértil con el propósito de llevar a cabo el compostaje. Al finalizar el proceso, se generaron un total de 259.4 kg de compost. La ganancia de masa se atribuye a la inclusión de materiales adicionales durante la fase de preparación del compost, destacando así la eficacia de la transformación de residuos en un producto útil y sostenible.

A lo largo del proceso, se observaron cambios significativos en términos de energía. Durante la etapa de estabilización con cal viva, se generó calor y vapor de agua, evidenciando una temperatura constante de 30°C. En las fases de compostaje, se alcanzaron temperaturas variables, oscilando entre 20°C y 45°C en un caso y entre 21°C y 52°C en el otro. Estos rangos térmicos son indicativos de la actividad microbiana y la consiguiente transformación de la materia orgánica. Además, se liberaron gases como CO₂ y NH₃, subrayando la intensidad del proceso biológico. Cabe destacar que la producción de calor se manifestó en diversas etapas, demostrando que la energía se liberó de manera constante a lo largo del proceso de transformación.

4.3.1. Balance de Materia y energía de cada tratamiento

A continuación, se muestra detalladamente el balance de materia y energía de cada tratamiento.

Estabilización de los lodos residuales

194.2 kg de lodo residual + 16.8 kg de cal

La disminución del 48.72% de la materia durante el proceso de estabilización de lodos residuales mediante el uso de cal viva se alinea con los impactos químicos y físicos esperados de la cal viva en la descomposición de materia orgánica, así como en la purificación de los lodos. Este decremento constituye una señal alentadora de la efectividad de la cal viva en el tratamiento de lodos residuales.

Tratamiento 1

9 kg de residuos orgánicos + 12 kg de aserrín + 12 de residuos orgánicos + 36 de tierra fértil → 34.2 kg de compost + CO₂ + Calor

Tratamiento 2

27 kg de residuos orgánicos + 12 kg de aserrín + 12 de residuos orgánicos + 36 de tierra fértil → 52.2 kg de compost + CO₂ + Calor

En los tratamientos de compostaje, observamos que se logra una reducción del 50.43% en el tratamiento 1 y del 40% en el tratamiento 2, valores que coinciden con la investigación realizada por Cuti y Vargas (2020), quienes obtuvieron una reducción de 42.3 %, cumpliendo ambos trabajos con lo indicado por Román et al. (2013) en el Manual de compostaje de la FAO, quien señala que el porcentaje de reducción en una pila de compost puede alcanzar hasta el 50%. Durante el proceso de compostaje, se generaron dióxido de carbono, calor y lixiviados como subproductos. Es importante destacar que este balance no proporciona cantidades específicas de CO₂, calor y agua generados, ya que estas cifras suelen variar según las condiciones de compostaje.



CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. En la caracterización inicial, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas de la unidad minera de San Juan de Chorunga cumplen con el D.S. N° 015-2017-Vivienda, sin embargo, los parámetros de *Escherichia coli*, *Salmonella sp* y materia orgánica superan los límites establecidos según la normativa.
2. Se obtuvieron biosólidos a través de la estabilización de lodos residuales por medio del tratamiento físico de desecado y tratamiento químico de encalado, aplicando cal al 8 % en función de los pesos, logrando la depuración del lodo residual en los parámetros *Salmonella sp*, *Escherichia coli* y materia orgánica, logrando de este modo que los biosólidos obtenidos cumplan con los parámetros deseados en cuanto a *Escherichia coli* - *Salmonella sp*.
3. El compost elaborado bajo diferentes formulaciones de biosólidos y materiales muestra características favorables para su utilización como abono orgánico en actividades de producción agrícola y forestal pues se evaluó la calidad del compost obtenido a partir de los biosólidos, alcanzando valores que se encontraban dentro de lo requerido en la normativa NTP 201. 208:2021. Fertilizantes, destacando como optima la formulación del compost 2 según los análisis.

5.2.RECOMENDACIONES

1. Es importante realizar la caracterización inicial de los parámetros del lodo residual para analizar en qué estado se encuentra este residuo y elegir el tipo de tratamiento adecuado para alcalinizar o estabilizar este material antes de ser utilizado en nuevos productos.
2. Se debe considerar realizar investigaciones a futuro utilizando otro tipo de alcalinizante para estabilizar lodos, como es el caso del silicato de calcio, sodio y hierro y probar la eficiencia de estos productos en la purificación de lodos residuales.
3. Se recomienda emplear más formulaciones de compost utilizando diferentes cantidades de lodo residual y materiales, con el fin de observar cual es el comportamiento y características de calidad en cada caso.
4. Es necesario llevar un control adecuado de los parámetros para obtener compost con las características optimas, evitando superar los valores establecidos en la normativa. De igual manera, se debe controlar la humedad, y en caso de presentarse un exceso de este parámetro, agregar material seco como paja, aserrín, papel o dejar el compost expuesto a la luz solar.
5. Se recomienda realizar las mediciones de caudal y caracterización de los lixiviados generados en el procesos de compostaje. Esto es fundamental para considerar la elaboración de diseños destinados a su tratamiento para evaluar opciones que pueden incluir métodos térmicos, biológico, sistema de membranas, procesos físico - químicos o sistemas naturales que demuestren su capacidad para interactuar de manera positiva con el medio ambiente.



CAPÍTULO VI

6. REFERENCIAS

- Acosta, Y., Zárraga, A., Rodríguez, L., & El Zauahre, M. (2012). Cambios en las propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje de lodos residuales. *Multiciencias*, 12, 18-24. <https://www.redalyc.org/pdf/904/904311090003.pdf>
- Acosta, A. (2018). *Caracterización fisicoquímica de muestras de lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de San Lorenzo*. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo. Obtenido de https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/13198/21-quimica-acosta-alfredo-una.pdf
- Aconsa. (2020). *Bacterias en el agua: ¿cuáles son las más habituales? ¿nos deben preocupar?* Obtenido de <https://aconsa-lab.com/bacterias-en-el-agua/#:~:text=despu%C3%A9s%20de%20consumirlos,-,Fuente%20de%20contaminaci%C3%B3n,ganado%20y%20los%20animales%20salvajes.>
- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Níquel (Nickel)*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs15.html
- Aguero, A. (2019). *Tratamiento de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas con la aplicación de la lombricultura en la Compañía Minera Chungar – 2019*. Cerro de Pasco - Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2045>
- Aguirre Illatopa, J. G. (2023). Calidad de compost de residuos orgánicos urbanos producido en la planta de valoración de la municipalidad provincial de Leoncio Prado. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2445>
- Aldana, A., & Pérez, R. (2017). *Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento de lodos en una PTAP convencional. Caso de estudio: planta de tratamiento de agua potable de El Espinal - Tolima*. Bogotá: Ciencia Unisalle. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/702/
- Amador, A., Veliz, E., & Bataller, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *CENIC. Ciencias Químicas*, 1-10. Recuperado el 5 de agosto de 2022, de <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>

- Amaya, Cañon, & Aviles. (2004). Control de ph para planta de tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* (14), 86-95. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2332469.pdf>
- Arias, F. (2012). *Metodología de la investigación*. Obtenido de <http://virtual.urbe.edu/tesispub/0105003/cap03.pdf>
- Arrieta, G. (2020). *Evaluación del proceso de compostaje a base de residuos de cocina con bosta de caballo provenientes de la UNALM*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4698/arrieta-vela-gabriela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ayala Luna, S. M., Milla Zacarias, D. M., & Montero Chavéz, D. N. (2022). *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*. Huancayo: Universidad Continental. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12235>
- Berrio, A. (2021). *Tratamiento de aguas residuales domésticas con sistemas biológicos: revisión bibliográfica*. Lima, Perú: [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/78730>
- Becerra Hurtado, G. M. (2022). Valorización de residuos orgánicos municipales y su compostaje mediante el método takakura, distrito de San Jerónimo, Andahuaylas 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/91948>
- Bohórquez Santana, W. (2019). El proceso de compostaje (Vol. 1). Universidad de la Salle. https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=-X_1DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=compostaje+materia+org%C3%A1nica&ots=0JiNaT3Gy6&sig=htfeT9tfTlbJuyOd28cOsHvuOnc&redir_esc=y#v=onepage&q=materia%20org%C3%A1nica&f=false
- Blanco, A., Gutierrez, D., Jimenez, O., Santiago, M., & Manzano, B. (1998). Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas de la provincia de Salamanca. *Esp. Salud pública*, 53-65. Obtenido de <https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v72n1/plomo.pdf>
- Brousset Minaya, A., Rondan Sanabria, G., Chirinos Marroquin, M., & Biamont Rojas, I. (2021). Impacto de la Minera en Aguas Superficiales de la region Puno - Peru. *Fides Et Ratio*, 21, 187-207. doi:ISSN 2411-0035

- Cabralles, Y., Ulloa, M., & Almenares, R. (2018). Caracterización física y química de lodos residuales de la cantera El Cacao: propuesta de uso industrial. *Minería y Geología*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122018000400003&lng=es&nrm=iso
- Cabrera, V., & Rossi, M. (2016). *Propuesta para la elaboración de compost a partir de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas del distrito de Miraflores*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2251/Q70-C32-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Camero, D. M. F., Ballesteros, M. I., & Bendeck, M. (1999). Variación de parámetros fisicoquímicos durante un proceso de compostaje. *Revista colombiana de química*, 28(1), 75-86. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/17259>
- Candela Levano, G. M. (2020). *Propuesta de estabilización y aprovechamiento de lodos de PTAR y BES en Perú en su caracterización Fisicoquímica y Microbiológica*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4422>
- Cárdenas, G., & Molina, F. (2022). Alternativas para tratar lodos originados en sistemas de tratamiento de aguas residuales: una revisión. *Ingeniería*, 27(3), 301.
- Cárdenas, J., & Acosta, I. (2011). Remoción de Cromo Hexavalente por el Hongo *Paecilomyces* sp. Aislado del Medio Ambiente. *Información Tecnológica*, 22(1), 9-16. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000100003
- CEPAL (2022, 05 de agosto). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Una oportunidad para América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Ciencia Cierta. (2014). *Remoción de Cromo usando como adsorbentes residuos industriales*. Obtenido de [http://www.cienciacierta.uadec.mx/2014/12/12/remocion-de-cromo-usando-como-adsorbente-residuos-industriales/#:~:text=El%20cromo%20\(VI\)%20es%20un,cueros%20o%20manuf actura%20de%20pinturas](http://www.cienciacierta.uadec.mx/2014/12/12/remocion-de-cromo-usando-como-adsorbente-residuos-industriales/#:~:text=El%20cromo%20(VI)%20es%20un,cueros%20o%20manuf actura%20de%20pinturas)

- College of Agriculture and life sciences. (2014). *La Calidad del Agua, E. coli y su Salud*.
Obtenido de <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>
- Constitución Política del Perú, Art. 2. (1993). *Constitucion Política del Perú, Art. 2*. Lima.
- Cupe, B., & Juscamaíta, J. (Enero - Julio de 2018). Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación hooláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Ecología Aplicada*, 17(1), 107-118. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S172622162018000100012
- Cuti Cuti, V. G., & Vargas Gutierrez, Y. R. (2023). *Tratamiento de residuos orgánicos (plumas) generados en centros de faenamiento avícola a partir de compostaje optimizado con bacterias queratinolíticas*, Arequipa 2020. requipa: Universidad Católica de Santa Maria. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12581>
- D.S. N° 011-2006-Vivienda. (2004). *D.S. N° 011-2006-Vivienda, Norma Técnica de Edificación OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales*. Lima.
- D.L. N° 1278 - Ministerio del Ambiente. (2016). *Decreto Legislativo N° 1278 - Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, que promueve la valorización y aprovechamiento de los residuos*. Lima.
- DS N° 020-2015-MINAGRI. (2015). *DS N° 020-2015-MINAGRI, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para la Gestión de Plantaciones Forestales y los Sistemas Agroforestales*. Lima.
- D.S. N° 015-2017-Vivienda. (2017). *D.S. N° 015-2017-Vivienda - Decreto Supremo para aprobar el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Lima.
- Delgado, J. (2019). *Relación entre la amalgación con mercurio para recuperar oro y el grado de contaminación del suelo (Secocha,2018)*. Arequipa. Obtenido de Universidad Nacional de San Agustín : <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11580/UPdepaja.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, M. C. V., Prada, P. A., & Mondragon, M. A. (2010). Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del café con la aplicación de microorganismos nativos. *Nova*, 8(14), 214-219. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/452>

- Diario el peruano. (2017). *Aprueban Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final N° 128-2017-VIVIENDA*. Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-condiciones-minimas-de-manejo-de-lodos-y-las-insta-resolucion-ministerial-no-128-2017-vivienda-1506028-3/#:~:text=Disposici%C3%B3n%20final%3A%20Es%20el%20proceso,permanente%2C%20sanitaria%20y%20ambiente>
- Doziera, M., McFarland, M., & Lesikar, B. (1914). Problemas del agua potable: El cobre. *Water*, 1-4. Obtenido de <https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/15472scopper.pdf>
- Espinoza, J. (2016). Innovación en el deshidratado solar. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24, 72-80. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052016000500010
- Estela Monteza, T. R. (2022). Análisis de la valorización y opciones de uso de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Trujillo-Perú 2021. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/30805>
- FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- FAO. (2018). *Resolución N° 093-2018-VIVIENDA — Protocolo de Monitoreo de Biosólidos*. Obtenido de <https://www.fao.org/faolex/results/details/fr/c/LEX-FAOC177818/>
- Flores Barrios, D. M. (2018). *Análisis de lodos de la planta de tratamiento de la Universidad Rafael Landívar para su uso como abono orgánico*. Guatemala de la Asunción: Universidad Rafael Landívar. Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2018/06/15/Flores-Daniela.pdf>
- Florida, R. N., & Reategui, F. (2019). Compost based on feathers of chickens (*gallus gallus domesticus*). *Livestock Research for Rural Development*, 31. <https://www.researchgate.net/publication/332033448>
- Fraume, N. J. (2006). Tratamiento de agua. En M. R. Aza, *Abecedario ecológico: La más completa guía de términos ambientales* (pág. 309). Bogotá: Fundación Hogares Juveniles Campesinos.
- Francisca, & Carro. (2014). Remoción de arsénico en agua mediante procesos de coagulación-floculación. *Revista internacional de contaminación ambiental*,

- 30(2), 177-190. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000200005
- Fuentes, Ramos, Jiménez, & Esparza. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 253-264. Obtenido de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/46282>
- Garrido-Acosta, L. R., Florida-Rofner, N., Nazar-Cipriano, J., & Rengifo-Rojas, A. (2023). Calidad del compost a base de residuos orgánicos urbanos en Leoncio Prado, Perú. *Producción+ Limpia*, 18(1), 118-137. <http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/pl/article/view/3222>
- Hanna. (2020). *Monitoreando Cadmio en Lodo de Aguas Residuales y Biosólidos*. Obtenido de <https://www.hannacolombia.com/aqua/blog/item/monitoreando-cadmio-en-lodo-de-aguas-residuales-y-biosolidos>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México D.F.: McGraw Hill. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista P. (1997). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana. https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
- Huanqui, A. (2018). *Aprovechamiento de biosólidos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual en una unidad operativa minera - 2018*. Arequipa: UCSM. Obtenido de Universidad Católica de Santa María: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/8126/4G.0004.IA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huamani, E. (2020). *Evaluación del proceso de tratamiento de agua residual y sus lodos como subproducto, en una planta compacta de depuración por lodos activados*. Arequipa - Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11024>
- Huaman Siuce, M. (2020). *Aprovechamiento de lodos activados provenientes de planta de tratamiento de aguas residuales para la obtención de carbón activado*. Lima: Universidad Científica del Sur. Obtenido de

<https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1472/TB-Huaman%20M.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instituto Nacional de Calidad. (2022). *Inacal aprobó la Norma Técnica Peruana sobre los requisitos del compost elaborado a partir de residuos sólidos orgánicos municipales*. <https://www.gob.pe/institucion/inacal/noticias/616950-inacal-aprobo-norma-tecnica-sobre-los-requisitos-del-compost-elaborado-a-partir-de-residuos-solidos-organicos-municipales>

Jara, M., Gaibor, C. S., Quintana, Y. G., Garcia, Y., Guerra, Y. R., & Chafla, A. L. (2016). Parámetros físico-químicos y contenido de coliformes de un compost obtenido a partir de residuos orgánicos del Camal Frigorífico Riobamba. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 5(3), 252-263. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6067739>

Lavado, C., Sun Kou, M., & Bendezu, S. (2010). Adsorción de plomo de efluentes industriales usando carbones activados con H₃PO₄. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 76(2), 165-178. Obtenido de <https://www.lenntech.es/plomo-y-agua.htm>

Ley 28245 - Ministerio del Ambiente. (2004). *Ley 28245 - Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental*. Lima.

Ley N° 28611 - Ministerio del Ambiente. (2005). *Ley N° 28611, Ley General del Ambiente*. Lima.

Lenntech. (2023). *Secado de lodos*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-secado.htm>

Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: definición, propiedad intelectual e industria. *Ciencia América: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>

Mancipe, L., & Triviño, M. (2018). Valorización de lodos de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) como materia prima para la extracción de lípidos en la obtención de biodiésel. *Revista ION*, 31(1), 71-79. doi: <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018012>

Manjarrés, E., Castellanos, J., Galvis, J., & Merchán, N. (2018). Uso de biosólidos en Colombia: método de estabilización y aplicaciones a nivel agrícola. *Revista 13+*, 4(1), 9-28.

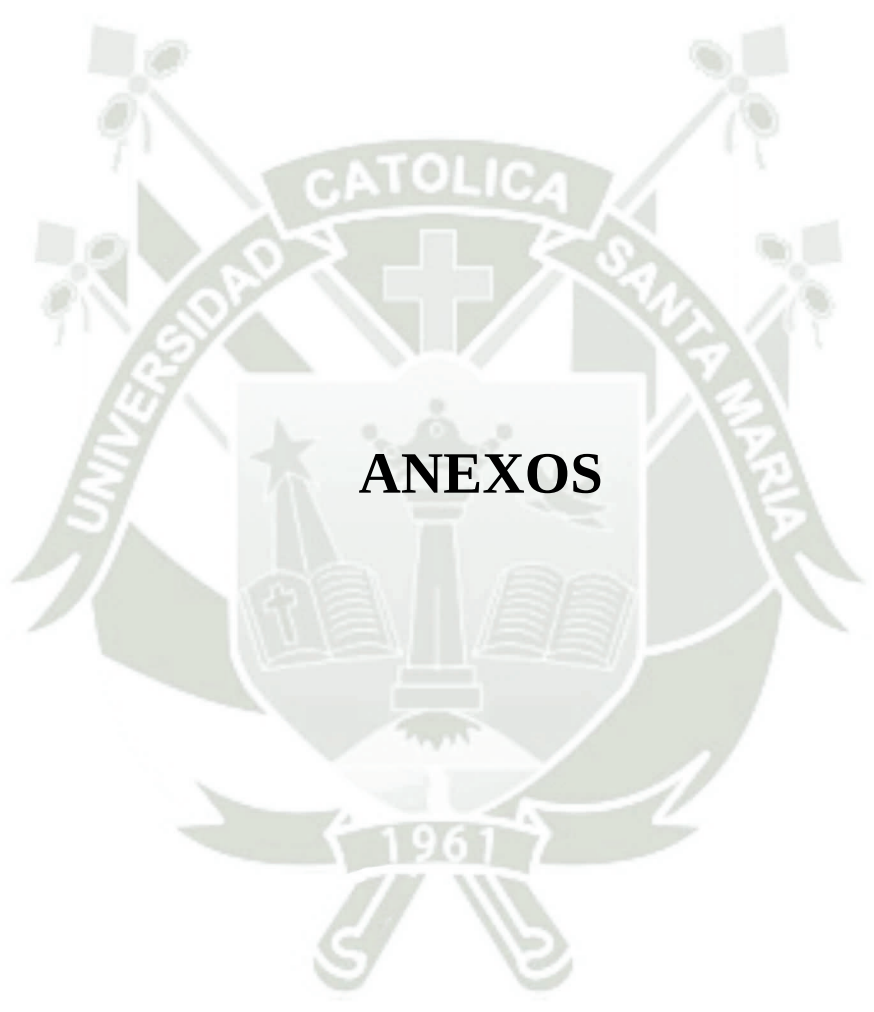
- Mazzarino, M. J., Satti, P., & Roselli, L. (2012). Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. *Grupo de Suelos del CRUB (Universidad Nacional del Comahue)*, 13-28. Obtenido de <https://asacomp.com.ar/wp-content/uploads/2021/12/Mazzarino-et-al-2012-Libro-compost-Indicadores.pdf>
- Mendoza Juárez, M. A. (2012). Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura. [tesis de grado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional UP https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1728/ING_515.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Melgarejo, M. R., Ballesteros, M. I., & Bendeck, M. (1997). Evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos y nutricionales en humus de lombriz y composts derivados de diferentes sustratos. *Revista colombiana de química*, 26(2), 11-19. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/16360>
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Ley General del Ambiente - Ley N° 28611*. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). *DS N° 015-2017-VIVIENDA. - Reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Obtenido de <https://nike.vivienda.gob.pe/dgaa/Archivos/DS-015-2017-VIVIENDA-norma%20legales.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). *RM N° 024-2017-VIVIENDA. - Reglamento para el reaprovechamiento de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Obtenido de <https://nike.vivienda.gob.pe/DGAA/Archivos/DS-024-2017-VIVIENDA.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *RM N° 093-2018-VIVIENDA. - Protocolo de monitoreo de biosólidos*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *DL N° 1278.- Ley de gestión integral de residuos sólidos*. Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-de-gestion-integral-d-decreto-legislativo-n-1278-1466666-4/>

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). Resolución Ministerial N° 024-2017-Vivienda Decreto Supremo que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/07/DS-019-2017-VIVIENDA-1.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2022). *Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales*. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054#:~:text=El%20tratamiento%20de%20las%20aguas%20residuales%20genera%20una%20serie%20de,c%3%A1maras%20de%20rejas%20y%20desarenadores>.
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2013). *Lodos de depuración de aguas residuales*. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/lodos-depuradora/#:~:text=Los%20lodos%20se%20caracterizan%20por,cabo%20en%20las%20aguas%20residuales>.
- Miraval, A. (2019). *ELaboración de compost utilizando materia orgánica de cocina y estiércol de vacuno en la granja ecológica lindero, Tomayquichua, Ambo, Huánuco, diciembre 2018 – marzo 2019*. Huánuco: Universidad de Huánuco. Obtenido de <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/2184/MIRAVAl%20TARAZONA%2c%20%20Andrea%20Alejandra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moreno Casco, J., & Moral Herrero, R. (2008). *Compostaje*. Mundi-Prensa Libros. https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=APuzwas6rrcC&oi=fnd&pg=PA4&dq=compostaje&ots=BTNoR3opS0&sig=XQ6L0Lgnk5-5m2YfFcn-xVoKmHk&redir_esc=y#v=snippet&q=ph&f=false
- Monsalve, O., Gutiérrez, J., Cardona, W. (2017). Factors involved in the process of nitrogen mineralization when organic amendments are added to a soil. A review. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 11(1), 200-209. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5663>
- Montesinos, M. (2017). *Caracterización de efluentes de mina para elección de la alternativo optima de tratamiento*. Lima - Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7885>
- Nacarino, A., & Lozano, F. (2006). *Elaboración de compost a partir de residuos orgánicos, vegetales y animales*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.

- Obtenido de http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9151/LozanoRamirez_F%20-%20NacarinoVelez_A.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nacheva, P., & Estrada, E. (2017). *Tecnologías para tratamiento biológico avanzado de aguas residuales y para generación de energía a partir del contenido de las aguas residuales para el mejoramiento de la salud ambiental y humana*. México: Semarnat.
- Noriega, S. (2018). *Tratamiento de lodos por el método de digestión anaerobia termofílica para la obtención de biosólidos estabilizados provenientes de la laguna de estabilización secundaria de aguas servidas-Puno*. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10752>
- OEFA. (2014). *Fiscalización ambiental Aguas Residuales*. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Onofre, E. (2018). *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*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13374>
- Química & Ecología. (2022). *Monitoreo Ambiental de Lodos*. Lima: Química & Ecología S.A.C.
- R.M. N°128-2017-Vivienda. (2017). *Resolución Ministerial N° 128 - 2017-Vivienda, Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final*. Lima.
- R.M. N° 024-2017-Vivienda. (2017). *R.M. N° 024-2017-VIVIENDA- Reglamento para el Reaprovechamiento de los Biosólidos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Lima.
- R.M. N° 093-2018-Vivienda. (2018). *Resolución Ministerial N°093-2018-Vivienda, Condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición final*. Lima.
- Ramírez Londoño, J. F., & Gallego Carmona, D. E. (2016). *Análisis e implementación de un proceso de compostaje para la valorización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residual industrial*. <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/1497>

- Rincón Carreño, L. (2019). *Aprovechamiento de los lodos de planta de tratamiento de aguas residuales en empresa láctea, Municipio de Cogua*. Bogotá: Fundación Universidad de América. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7455/1/679232-2019-II-GA.pdf>
- Röben, E. (2002). Manual de compostaje para municipios. Loja, Ecuador. <http://www.bionica.info/Biblioteca/Roben2002MaualCompostaje.pdf>
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Ruiz, A., & Quevedo, L. (2017). *Análisis de los lodos provenientes del proceso de tratamiento de aguas residuales del municipio de Guatavita*. Bogotá - Colombia: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14811>
- Rodríguez, A. (2017). *Uso de lodos residuales con residuos orgánicos para la obtención de compost, San Juan de Lurigancho 2017*. Lima: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/16612/RODRIGUEZ_MA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Silva, J., Bedoya, D., & Torres, P. (2013). Efecto del secado térmico y el tratamiento alcalino en las características microbiológicas y químicas de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *quim. nova*, 207-214.
- Stanley, E. (2007). *Introducción a la química Ambiental*. México: Reverté: Primera, vol 1.
- Tavares. (2012). *Tratamiento de aguas contaminadas con mercurio mediante Fotocatálisis Heterogénea*. Obtenido de <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2012/04/27/131762>
- Téllez; López; Aragón; Zayas. (2018). Lodos residuales de nejayote como sustratos para la germinación de semillas de maíz azul criollo. 34(3), 395-404. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v34n3/0188-4999-rica-34-03-395.pdf>
- Torres, P., Escobar, J., Pérez, A., Imery, R., Nates, P., Sánchez, G., . . . Bermúdez, A. (2005). Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR. *Revista Ingeniería e Investigación*, 25(2), 53-61. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v25n2/v25n2a07.pdf>

- Torres, P., Madera, C., & Martínez, G. (2008). Estabilización alcalina de biosólidos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas para aprovechamiento agrícola. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 61(1), 4432-4444. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a19v61n1.pdf>
- Torti, M. J., Butti, M., & Binda, V. F. (2019). Evluación de los indicadores de madurez y estabilidad biológica en compost de residuo de incubación. *Biotransformación-Compost*, 73-75. Obtenido de https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/5162/INTA_CRBsAsNorte_EEAPergamino_Torti_Mar%c3%ada_Evolucion_de_los_indicadores_de_madurez_y_estabilidad_biologica_en_compost_de_residuos_de_incubacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Uzcátegui, O. (2016). Objetivos de desarrollo sostenible 2015-2030. *Revista de Obstetricia y Ginecología de Venezuela*, 76(2), 73-75. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S004877322016000200001&script=sci_arttext
- Vásquez, J., & Vargas, G. (2018). *Aprovechamiento de lodos planta de tratamiento de aguas residuales municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo*. Bogotá - Colombia: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16425/1/Trabajo%20de%20Grado%20-%20Lodos%20Funza.pdf>
- Velázquez, M., Equihua, J., Venegas, José, Montañez, J., Pimentel, J., & Muñoz, M. (julio-septiembre de 2019). Caracterización física y química de biochar de lodos residuales. *Tierra Latinoamericana*, 27(3), 243-251. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792019000300243
- Vicente, M., & Vigil, J. (2012). *Aprovechamiento de biosólidos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual en una Unidad Operativa Minera – 2018*. Obtenido de Universidad de El Salvador: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/3080/1/13101359.pdf>
- Xie, X., Guo, X., Zhou, L., Yao, O., & Zhu, H. (2017). Study of Biochemical and Microbiological Properties During Cocomposting of Spent Mushroom Substrates and Chicken Feather. *Waste Biomass Valor*, 10, 23-32. DOI 10.1007/s12649-017-0035-6



ANEXOS

Anexo 1. Proceso de tratamiento de aguas residuales de la Unidad Minera San Juan de Chorunga

El tipo de agua que se tratan, son aguas residuales domésticas.

1. Parámetros de calidad de las aguas residuales

Para la proyección de la calidad de los efluentes residuales del campamento minero, se realiza un análisis considerando los lineamientos que se encuentran en el Reglamento de Edificaciones, en su norma OS 090.

Tabla 1. *Parámetros de calidad de las aguas residuales domesticas*

Parámetro	Resultados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	416.67 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	833.33 mg/L
Solidos Suspendidos Totales (SST)	750.00 mg/L
Coliformes Fecales	1.7 x 10 ⁸ NMP/100mL

Nota. Memoria descriptiva plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. - DS 003-2010-MINAM

Como se muestra en la tabla los valores obtenidos muestran un efluente domestico con alta contaminación. Estos efluentes domésticos son tratados en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

2. Cantidad de aguas residuales

La cantidad de efluentes residuales que se trata es de 120 m³ diarios para una población de 1000 habitantes aproximadamente, la dotación per cápita no supera los 150 L/hab./día y la contribución al alcantarillado es del 80%.

Tabla 2. *Caudales de ingreso*

	Caudal (m ³ /día)	Caudal (L/s)
Caudal Promedio	120.0	1.39

3. Calidad de las aguas residuales tratadas

Los excedentes líquidos residuales de origen domestico tratados en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la unidad minera San Juan de Chorunga cumplen con las condiciones establecidas en el D.S. N°003-2010- MINAM y D.S. N°010-2010-MINAM.

Tabla 3. *Parámetros mínimos de calidad del agua residual tratada*

Parámetro	Unidad	D.S. N°003-2010-MINAM	D.S. N°010-2010-MINAM	Resultados
Fisicoquímicos				
pH	-	6.5-8.5	6-9	7.85
T°	°C	<35	---	19.9
Aceites y grasas	mg/L	20	20	1.17
DBO	mg/L	100	---	<2.00
DQO	mg/L	200	---	<10.0
SST	mg/L	150	50	10.12
Microbiológicos				
Coliformes fecales	NMP/1000ml	10000	---	<1.8
Coliformes totales	NMP/1000ml	---	---	13

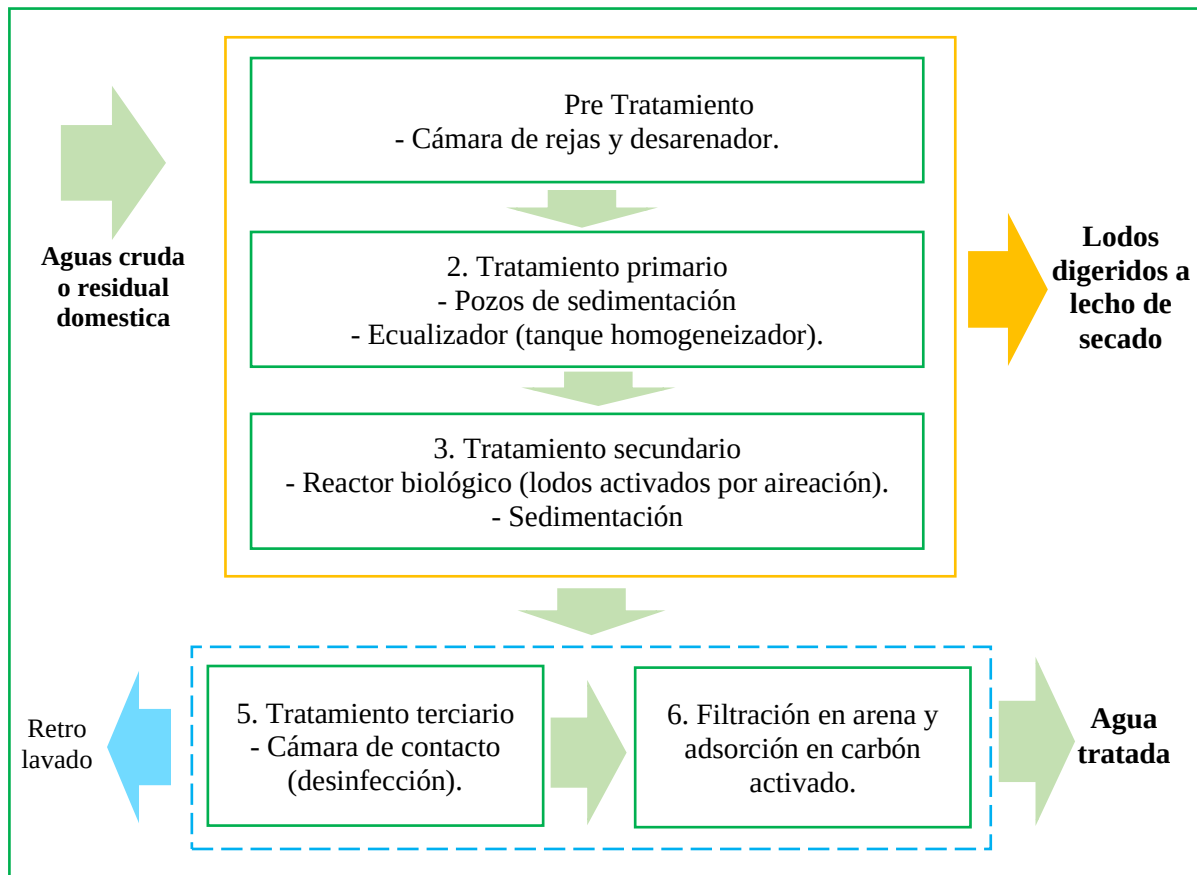
D.S. N°003-2010-MINAM, D.S. N°010-2010-MINAM.

Nota. IE N°166112-2022 SAG

4. Descripción del proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la UMSJCH.

La planta de tratamiento de aguas residuales domesticas de la Unidad Minera San Juan de Chorunga cuenta con los procesos unitarios que se muestran en la Figura 1 y los tipos de tratamiento.

Figura 1. Esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTAR)



4.1. Pre Tratamiento

Compuesto por una cámara de rejillas y un desarenador.

Cámara de rejillas

Se practican manipulaciones físicas para separar sólidos gruesos como trapos, plásticos, alambres, entre otros, eliminando de las aguas residuales domésticas cualquier material que afecte las operaciones y operaciones posteriores. El espacio es de hormigón y tiene una parrilla de acero inoxidable.

Figura 2. Cámara de rejillas



Desarenador

En este espacio se lleva a cabo la remoción de las partículas de arena presentes en el agua, lo cual posibilita que los materiales sólidos más finos, como la tierra, se depositen en el fondo y puedan ser posteriormente retirados.

4.2. Tratamiento Primario

Ecualizador - Tanque Homogeneizador

Se realiza la homogeneización de aguas residuales domésticas sin arena, aceite y sólidos mayores de 5 mm. El diseño es un tanque de fibra de vidrio reforzado de 3.30 m de diámetro y 5.10 m de altura total, con una capacidad de almacenamiento útil de 40 m³, esto permite suavizar las características de la masa que cambian a lo largo del día, al tiempo que incorpora picos de flujo en el efluente que sale del campamento.

Figura 3. Tanque de ecualización



El efluente de esta instalación se trata biológicamente mediante el uso de dos pares de bombas sumergibles alternas y tuberías de PVC de 2 pulgadas.

Tabla 3. Características del Equipo de Bombeo

Descripción	Características	Valor
Bomba Sumergible (04 unidades)	Caudal de bombeo	5.5 m ³ /h
	Altura dinámica total	12 mca
	Potencia	1.5 HP
	Mat. Cuerpo	Acero Inoxidable

Se tiene contemplada la instalación necesaria para descargar un caudal controlado desde el fondo de la unidad, utilizando válvulas de compuerta como mecanismo de regulación, tanto en la circulación como en la descarga de la impulsión.

Figura 4. Homogenización del efluente domestico

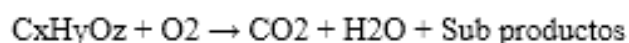


4.3. Tratamiento secundario

La segunda fase del tratamiento consiste en una depuración biológica, en el que intervienen microorganismos aerobios para realizar la eliminación de materia orgánica biodegradable a través de biorreactores. En esta etapa también tiene lugar la acción del decantador, mediante el cual se obtienen las aguas a tratar con hipoclorito cálcico y los lodos más concentrados y espesos.

Reactor Biológico - Lodos Activados

El agua residual homogeneizada se acondiciona en un vertedero de fibra de vidrio antes de ingresar a tratamiento biológico, donde se realiza la depuración de lodos aeróbicos con aireación prolongada con mezcla completa como condición de flujo. El tratamiento de lodos involucra que la materia orgánica de las aguas residuales domésticas entre en contacto con los microorganismos descomponedores en presencia de oxígeno para usar estos compuestos como sustratos para la energía y el crecimiento celular a través de las siguientes reacciones de oxidación:



En esta etapa ocurre que la remoción de materia orgánica es directamente proporcional al oxígeno utilizado y la cantidad de subproductos producidos, este último es en su mayoría material celular nuevo que se agrega en forma de flóculos con una fuerte capacidad de decantación de medios. Para desarrollar este proceso, es

necesario obtener condiciones ambientales adecuadas, tales como pH, temperatura, presencia de nutrientes y ausencia de componentes tóxicos o inhibidores cercanos a la neutralidad, que se logran durante el pretratamiento.

El procesamiento en esta etapa se lleva a cabo en dos tanques cilíndricos horizontales con un diámetro de 3,30 m y una longitud de 9,0 m. Cuenta con ventiladores intermitentes de 40 discos difusores de 12 pulgadas que inyectan aire para proporcionar oxígeno a los microorganismos que se encargan de depurar en agua. Cada reactor tiene un volumen efectivo de 73,60 m³ y un periodo de retención hidráulica general de 29 horas para un caudal unitario de 60 m³/día.

El líquido mixto formado en la reacción de los dos tanques, el agua tratada con biomasa, se descarga al decantador a través del sedimentador.

Figura 5. Reactor Biológico



Tanque de Aireación:

El propósito del tanque de aireación es inyectar aire a las bacterias, en este proceso se implanta una población heterogénea de microorganismos aeróbicos con capacidad de asimilar nutrientes y materia orgánica disueltos en el agua residual para que crezcan, se reproduzcan y logren las características de sedimentación deseada.

Figura 6. Tanques de aireación



Para mantener la población de microorganismos, como parte de la rutina de operación, se realiza la:

- ✓ Medición de pH en el reactor biológico
- ✓ Medición de sedimentación de lodos
- ✓ Medición de la conductividad
- ✓ Medición del Oxígeno Disuelto
- ✓ Observaciones directas

El aire que ingresa a los tanques de aireación es a través de unos Sopladores.

Tabla 25. *Características del equipo*

Descripción	Características	Valor
Soplador (tipo lóbulos - Blower) (02 unidades)	Potencia	12.5 HP
	Capacidad utilizada	200 PCM
	Presión	4 – 6 PSI
	Conexiones	4” bridado

Medición de caudal: Para garantizar un funcionamiento apropiado, el caudal de ingreso a los reactores biológicos es regulado constantemente. Como medida de control del caudal de ingreso se cuenta con una caja de aforo, instalada en el ingreso del tanque.

Tabla 26. *Caudal*

Altura de agua (cm)	Caudal (m ³ /día)
4.8	60.00

Medición del pH, conductividad y OD: Como parte de la rutina diaria, en los dos reactores biológicos se miden el pH, la conductividad y el Oxígeno disuelto cada 8 horas como mínimo. El pH se debe mantener dentro del rango de 6.5 a 8.5.

Medición de la sedimentación de los lodos: El índice de volumen de lodo se refiere a la relación considerando el volumen de lodo decantado en 30 minutos de una concentración de la solución mezclada.

En conos Imhoff de un litro milimetrada, se deja sedimentar una muestra de agua extraída del reactor.

- Se usa un recipiente para extraer la muestra de la mitad del reactor, aproximadamente a 1.00 m sumergido.
- Se deja sedimentando durante 30 minutos, y se anota el nivel de la separación entre los lodos y el agua.

Figura 23. *Sedimentación de lodos*



Observaciones Diarias

- Olor y color del lodo activado.
- Reactor de aireación: color de la mezcla, nata superficial y cantidad de espuma.
- La recirculación de lodos activados, color y olores.
- Equipos y motores: funcionamiento normal, vibraciones, temperatura y ruido

Figura 24. *Tratamiento Biológico por Aireación – observaciones diarias*



Sedimentador

Es un tanque cilíndrico vertical de fibra de vidrio con 3.30 m de diámetro y 3.25 m de altura total.

La unidad cuenta con un tanque cónico de 1.50m³ para almacenar biofloc. El 80% del lodo biológico se recircula desde el fondo del decantador al tanque de aireación por

medio de dos bombas AIR LIFT, y el 20% restante se descarga del sistema al lecho de secado como lodo inerte. Además, se cuenta con un desnatador para la recirculación y/o purga de natas y lodos flotantes a la cabeza del proceso.

Lodos sedimentados: Los lodos en el sedimentador son removidos en un 20% y la porción restante (80%) son retornados a los tanques de aireación en forma constante. El nivel de los lodos en el sedimentador en ningún momento debe ser mayor a la altura de la tolva. Además, se revisa que no exista ningún material flotante o flotación de lodos en el espejo de agua del decantador, en caso se presente se revisa el funcionamiento del desnatador y se limpia manualmente.

Recirculación de Lodos: La recirculación es de manera continua, para este procedimiento se abre la válvula del air lift, la cual conduce el caudal de lodo definido hacia el reactor de lodos activados.

Purga / Evacuación de lodos del Sedimentador: La purga de lodos se realiza mediante una línea de PVC Ø2" expuesta, que está conectada a la válvula de purga del sistema air lift. La purga se realiza proporcional al tiempo operativo, teniendo un volumen de 340 L por día purgado. Los lodos se descargarán en el lecho de secado.

Figura 25. *Sedimentador de lodos – agua tratada*



4.4. Tratamiento terciario

La parte final del tratamiento, se hace para reducir los contaminantes remanentes previo a que esta agua sea descargada al ambiente. Con este tratamiento se busca reducir la carga orgánica que puede contener, así como los patógenos, la turbiedad, o algunos metales.

Desinfección

El agua depurada se vierte en una cámara que contiene cloro de fibra de vidrio, con dimensiones de 2.5 x 2.0 m y 1.5 m de altura total, y una capacidad de almacenamiento de 5.0 m³, esto da como resultado un periodo de retención hidráulica de 60 minutos, el cual es necesario para reducir efectivamente la presencia de microorganismos patógenos en las aguas residuales.

Se realiza la aplicación continua de cloro en solución mediante una bomba dosificadora de diafragma para lo cual se considera una solución de hipoclorito de calcio al 1% una vez al día en un tanque de 180 litros.

Tabla 27. *Dosificación de reactivo para desinfección*

Solución	Cantidad de reactivo (g)	Volumen de agua (L)
Hipoclorito de calcio (HTH)	1200	120

Es importante verificar la presencia de flotantes en la superficie de la cámara de contacto, en caso se note la acumulación, se limpia manualmente con ayuda de un desnatador de red.

En caso de existir carga de sólidos en el fondo de la cámara de contacto se limpia con la válvula de purga.

Figura 26. *Cámara de contacto – desinfección del agua tratada*



Filtración en Arena

El objetivo de la filtración en arena es retener partículas en suspensión mayores de 20 micras y huevos de parásitos residuales de procesos anteriores y así mejorar la calidad final del agua depurada. Este paso se realiza en un filtro rápido de presión constante de acero estructural con filtro de arena de cuarzo de 1/32" y operado manualmente mediante válvulas de apertura y cierre.

La presión requerida de 40 – 60 PSI se logra mediante dos bombas centrífugas alternas de 3.0 HP que impulsan el agua clorada desde la cámara de contacto hasta la unidad de filtrado.

El filtro entra al árbol de alimentación (2") y sale de él listo para la filtración, retro lavado y lavado, el cual se utiliza considerando la presión de trabajo del equipo; en condiciones normales, el tiempo total de operación se recomienda de 24 a 48 horas.

Tabla 28. Características del equipo de bombeo

Descripción	Características	Valor
Bomba Centrífuga de alimentación a los filtros	Caudal de bombeo	1.39 L/s
	Presión	40-60 PSI
	Potencia	3.0 HP
	Mat. Cuerpo	Hierro Fundido

Adsorción en Carbón Activado

El proceso de adsorción en carbón activado tiene el objetivo de retener las sustancias que generan olor y color en los efluentes de los procesos anteriores, mejorando la concentración de carga orgánica en los efluentes tratados. En esta etapa ocurre la filtración rápida por medio de presión constante con medio filtrante de carbón activado granular (GAC) y operado manualmente abriendo y cerrando válvulas. La presión requerida de 40 PSI es el resultado de la fuerza de impacto del proceso de filtración anterior. El filtro entra y sale del material listo para filtrar, retro lavar y enjuagar, aplicando considerando la presión de trabajo del equipo; en situaciones convencionales, la duración es de 48 horas o más.

Figura 27. Filtro de arena y carbón activado



1.4. Descripción de lodos

Como sub producto del proceso, se generarán sólidos con gran contenido de agua (mayor al 90%). Por tal motivo se cuenta con dos Lechos de Secado de lodos que se utilizan para la deshidratación de tales residuos cada vez que se hace la purga. Los Lechos de secado consisten en dos estructuras de concreto armado semienterrada, de 26.6 m² de área, con 7.6 m de largo, 3.5 m de ancho y 0.85 m de profundidad total. Para facilitar el secado, cuenta con un lecho de drenaje compuesto por ladrillo sin sellar, confitillo, grava y una tubería perforada, que conduce el lixiviado hacia una cámara de bombeo y recirculación. La purga de lodos es conducida hacia el lecho de secado, se debe de asegurar que la altura de lodo en el lecho no sea mayor de 0.30 metros. En caso de que esto ocurra se limpia de inmediato la unidad y se deja apta para recibir una nueva descarga.

Tabla 29. Producción de Lodos

Proceso	Cantidad (m ³ /día)	Concentración (% masa)
Purga de lodos activados	1.10	0.80
Total - Torta deshidratada	0.04	30.00
Total, a disponer (m ³ / mensual)		1.10
Total, a disponer (m ³ / mensual)		1.14

La limpieza de esta unidad es mediante rastrillos y palas, disponiendo todo el lodo en un área para su disposición en el relleno sanitario. El volumen total a extraer mensualmente es de 1.10 m³ de acuerdo a lo calculado.

Cabe precisar que los lodos para su evacuación y disposición en un lugar autorizado deben estar deshidratado a un 20% o 30%, sin embargo, debido a que se realizan purgas inter diarios estos no terminan de deshidratarse adecuadamente.

Figura 28. *Purga de lodos*



La planta de tratamiento de aguas residuales domesticas de la unidad minera San Juan de Chorunga es una planta compacta de tipo modular. Todos tus tanques son cerrados, y los caudales siempre serán controlados, ajustandolos a la capacidad de almacenamiento de los tanques para el tratamiento de las aguas residuales.



Página.....de

MUESTREO POR SAG	☒	MUESTREO POR CLIENTE	☐
------------------	-------------------------------------	----------------------	--------------------------

EXCEPCIÓN DE MUESTRAS

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo:	<u>Luis Fernando Torres</u>	Firma(s):	<u>[Firma]</u>	Recibido en laboratorio:	<u>08:55</u>
Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo:		Firma(s):		Día/Hora:	

Anexo 3. Informe de Ensayo del Análisis de la caracterización inicial de los Lodos Residuales



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTROS TL-829 Y TL-951



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 164183-2022 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
DOMICILIO LEGAL : AV. VILLA HERMOSA CERRO VIEJO - CERRO COLORADO - AREQUIPA
SOLICITADO POR : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
REFERENCIA : MONITOREO AMBIENTAL DE LODOS
PROCEDENCIA : SAN JUAN DE CHORLINGA - RÍO GRANDE - CONDESUYOS - AREQUIPA
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2022-06-23
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2022-06-23 al 2022-07-13
FECHA(S) DE MUESTREO : 2022-06-22
MUESTREADO POR : SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.⁽¹⁾

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
pH	EPA SW-846, Method 9045 D (Rev4) 2004. Soil and waste pH.	---	unidades pH
Conductivity Conductividad	Method 190B20 Conductivity (Validated). Referenced in Official Mexican Standard NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.2.5 Method AS-18. Conductivity measured in the Saturation Extract. Fertility, salinity and soil classification specifications. Studies, sampling and analysis. Organic material.	---	dS/m
Humidity Humedad	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.5 AS-05 - Método Gravimétrico (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.10	%
Nitrógeno total de Kjeldahl (Kjeldahl Total Nitrogen)	SMENW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-Norg-C, 23rd Ed. 2017. Semi-Micro-Kjeldahl Method.	0.05	N %
Organic Material Materia orgánica (SV) Según D.S. 015-2017-VIVIENDA para lodos de PTAR	SMENW-APHA-AWWA-WEF, Part 2540 G, 23rd Ed. 2017. Total, Fixed, and Volatile Solids and Semisolid Samples	0.04	%
Escherichia coli	EPA Method 1680 Fecal Coliforms in Sewage Sludge (Biosolids) by Multiple-Tube Fermentation using Lauryl Tryptose Broth (LTB) and EC Medium, 2014 // SH Part 9221 G, (Item 2), 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures (PROPOSED), 2017.	0.1003 ⁽¹⁾	NMP/g ST
Salmonella sp.	EPA Method 1682 : Salmonella in Sewage Sludge (Biosolids) by Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV) Medium, 2006.	0.006473 ⁽¹⁾ y <0.06473	NMP/4g ST NMP/10g ST
Eggs of viable helminths (Huevos de helmintos viables)	Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Nematode and Urine-Diversion Waste in South Africa (Moodley, Archer, Hewitt-Smith, & Leitch, 2008).	1	Huevos /4g ST
Metales: Aluminum (Al), Antimony (Sb), Arsenic (As), Barium (Ba), Boron (B), Beryllium (Be), Cadmium (Cd), Calcium (Ca), Chromium (Cr), Cobalt (Co), Copper (Cu), Iron (Fe), Lead (Pb), Lithium (Li), Magnesium (Mg), Manganese (Mn), Mercury (Hg), Molybdenum (Mo), Nickel (Ni), Phosphorus (P), Potassium (K), Selenium (Se), Silica (SiO2), Silver (Ag), Sodium (Na), Strontium (Sr), Thallium (Tl), Vanadium (V), Zirconium (Zr), Zinc (Zn), Thorium (Th), Uranium (U), Tungsten (W)	EPA 3050-B (1996) Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils // SW-846 Method EPA 6010D, Rev. 5, 2018. Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES).	---	mg/kg

L.C.: Límite de cuantificación.

(1) Toma de muestra de acuerdo a plan de muestreo N° 164183 y procedimiento PL-009.
(a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativos.

Quim Belbeth Fajardo León
C.Q.P. N° 648
JEFE DE EMISIÓN DE INFORMES
SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 008/Versión 01 / F.E.: 09/2020

DISPOSICIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de validez del protocolo analítico con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, invalida la validez del contenido de este documento en papel y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1505 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Corinda Muño de Tamar N° 2070 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@sagperu.com

Página 1 de 3



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTROS TL-829 Y TL-951



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 164183-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS

Producto declarado	Lodo	
Matriz analizada	Lodo	
Fecha de muestreo	2022-06-22	
Hora de inicio de muestreo (h)	16:08	
Coordenadas UTM WGS 84 18L	0708708E 8240463N	
Altitud (mnm)	729	
Descripción del punto de muestreo	Tanque de sedimentación de la Planta de tratamiento de aguas residuales	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	LO-01	
Código del Laboratorio	22063183	
Ensayos acreditados ante INACAL-DA (SEDE LTMA 1)		
Ensayos	Unidades	Resultados
pH	unidad pH	5.51
Ensayos acreditados ante IAS-829		
Conductivity	dS/m	4.36
Humidity	%	85.76
Nitrógeno total de Kjeldahl (Kjeldahl Total Nitrogen)	N %	3.32
Organic Material	%	63.42
Materia orgánica (SV): Según D.S. 015-2017-VIVIENDA para todos de PTAR		
Escherichia coli	NMP/g ST	7.6 x 10 ⁴
Salmonella sp.	NMP/4g ST	10.169
Salmonella sp.	NMP/10g ST ³¹	25.42
Ensayos acreditados ante IAS - 951		
Ensayos	Unidades	Resultados
Huevos de Helminthos viables		
Nemátodos		
Familia/Género/Especie		
Ascaris sp.	Huevos/4g ST	<1
Ancylostomidae	Huevos/4g ST	<1
Enterobius vermicularis	Huevos/4g ST	<1
Trichuris sp.	Huevos/4g ST	<1
Toxocara sp.	Huevos/4g ST	<1
Strongyloidea	Huevos/4g ST	<1
Trichostrongyloidea	Huevos/4g ST	<1
Capillaria sp.	Huevos/4g ST	<1
Trichostrongylus sp.	Huevos/4g ST	<1
Celostomos		
Género/Especie		
Diphyllobothrium sp.	Huevos/4g ST	<1
Taenia sp.	Huevos/4g ST	<1
Moniezia sp.	Huevos/4g ST	<1
Hymenolepis diminuta	Huevos/4g ST	<1
Hymenolepis nana	Huevos/4g ST	<1
Hymenolepis sp.	Huevos/4g ST	<1
Tremátodos		
Género/Especie		
Fasciola hepatica	Huevos/4g ST	<1
Paragonimus sp.	Huevos/4g ST	<1
Schistosoma sp.	Huevos/4g ST	<1
Acanthocefalo		
Género:		
Macracanthorhynchus sp.	Huevos/4g ST	<1
Total ³¹	Huevos/4g ST	<1

31: Indica el número de Huevos/4g ST, incluyendo todas las especies encontradas.

Nota: <1 es equivalente a 0, lo que indica la no detección de huevos de helmintos viables.

Nota 2: La expresión de los resultados para Salmonella sp. es según: RM-093-2018 Protocolo de monitoreo de biosólidos

Resultados de todos reportados en base seca.

Medición de pH realizada a 25°C.

Cod. FI 008/Versión 01/FE: 09/2020

DISPOSICIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fuese o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Río Norte - Lima y Píezaje Claudio Motta de Tuer N° 2079 Urb. Chacra Río Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6805 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 3

EXPERTS
WORKING
FOR YOU



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTROS TL-829 Y TL-951



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 164183-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS

Producto declarado	Lodo	Lodo
Matriz analizada	Lodo	Lodo
Fecha de muestreo	2022-06-22	2022-06-22
Hora de inicio de muestreo (H)	16:08	16:08
Coordenadas UTM WGS 84 18L	0708708E R240463N	0708708E R240463N
Altitud (metros)	729	729
Descripción del punto de muestreo	Tanque de sedimentación de la Planta de tratamiento de aguas residuales domesticas	Tanque de sedimentación de la Planta de tratamiento de aguas residuales domesticas
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada
Código del Cliente	LO-01	LO-01 (DUPLICADO)
Código del Laboratorio	22063183	22063184
Ensayos acreditados ante IAS - 829		
Ensayo	L.D.M.	Resultados
Metales		
Plata (Ag)	0.06 mg/kg	8.56
Aluminio (Al)	1.4 mg/kg	3117.3
Antimonio (As)	0.17 mg/kg	15.32
Bario (Ba)	0.3 mg/kg	7.7
Berilio (Be)	0.23 mg/kg	108.33
Berilio (Be)	0.021 mg/kg	0.089
Calcio (Ca)	2.4 mg/kg	26289.3
Cadmio (Cd)	0.03 mg/kg	1.34
Cerio (Ce)	0.3 mg/kg	8.8
Cobalto (Co)	0.05 mg/kg	2.89
Cromo (Cr)	0.05 mg/kg	12.75
Cobre (Cu)	0.07 mg/kg	62.55
Hierro (Fe)	0.24 mg/kg	6638.74
Mercurio (Hg)	0.10 mg/kg	4.39
Plomo (K)	3.5 mg/kg	1366.4
Litio (Li)	0.3 mg/kg	5.1
Magnesio (Mg)	3.7 mg/kg	2456.2
Manganeso (Mn)	0.08 mg/kg	107.91
Niobio (Nb)	0.14 mg/kg	4.60
Sodio (Na)	3.9 mg/kg	981.2
Níquel (Ni)	0.06 mg/kg	4.02
Fósforo (P)	0.3 mg/kg	3825.2
Plomo (Pb)	0.08 mg/kg	41.29
Antimonio (Sb)	0.22 mg/kg	0.55
Selenio (Se)	0.4 mg/kg	<0.4
Estañio (Sn)	0.10 mg/kg	1.46
Estroncio (Sr)	0.07 mg/kg	60.70
Torio (Th)	0.20 mg/kg	<0.20
Titanio (Ti)	0.03 mg/kg	42.78
Talio (Tl)	0.4 mg/kg	<0.4
Uranio (U)	0.3 mg/kg	<0.3
Vanadio (V)	0.05 mg/kg	19.75
Wolframio (W)/Tungsteno	0.20 mg/kg	<0.20
Zinc (Zn)	0.23 mg/kg	420.63

L.D.M.: límite de detección del método.
Resultados de lodos reportados en base seca.

Lima, 01 de Agosto del 2022.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. PI 008/ Versión 01/ FE: 09/2020

Observaciones: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de prescripción del organismo acreditado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fuese o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables podrán ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Río Norte - Lima y Pasaje Cierinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Río Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 3

Anexo 4. Comportamiento del pH y la Temperatura durante la prueba de tratamiento alcalino

Estación de muestreo	L1	COMPORTAMIENTO DEL PH Y DURANTE LA PRUEBA DE TRATAMIENTO											
Georreferencia:		WGS-84 UTM		E: 708221		N: 8239986		ALTITUD		695			
		18L						(msnm)					
Tratamiento		Día 0				Día 1		Día 2		Día 3		Día 4	Día 5
		1h	2h	3h	4h	1h	2h	1h	2h	1h	2h	1h	1h
L1 (8%)		12.1	12.51	12.34	12.36	12.27	12.4	12.42	12.44	12.43	12.42	12.42	12.43

Estación de muestreo	L1	COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DURANTE LA PRUEBA DE TRATAMIENTO																
Georreferencia:		WGS-84 UTM 18L					E: 708221			N: 8239986			ALTITUD (msnm)			695		
Tratamiento		Día 0						Día 1			Día 2			Día 3			Día 4	Día 5
		1h	2h	3h	4h	5h	6h	1h	2h	3h	1h	2h	3h	1h	2h	3h	1h	1h
L1 (8%)		30.3	32.2	34.6	49.7	51	51.6	54	58	53.8	56.4	62.6	54.9	44.7	56	39.7	37	32.7

Anexo 5. Certificados de calibración



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

0256-OP.M-2022

ÁREA DE METROLOGÍA

Solicitante	: MINERA OREX S.A.C.
Dirección	: Av. Paseo de la Republica N° 5809 - Miraflores
Expediente	: 28688
Referencia	: O/S N° LIM0004982
Instrumento de Medición	: MEDIDOR MULTIPARÁMETRO (EN PARÁMETRO DE PH)
Alcance de Indicación	: 0,00 a 14,00 pH (*)(**)
Resolución	: 0,001 / 0,01 / 0,1 pH (*)(**)
Marca	: Hach Co.
Modelo	: HQ40d
Serie	: 191000026557
Procedencia	: U.S.A.
Modelo del Electrodo	: PHC10101
Serie del Electrodo	: 221782561300

Método de Calibración
La calibración se ha realizado siguiendo el procedimiento PC-OMEGA-001 para la Calibración de pHmetros Digitales

Fecha de Calibración : 31/08/2023
Lugar de Calibración : LABORATORIO DE METROLOGIA - OMEGA PERU S.A.

Condiciones Ambientales

Temperatura	23 °C
Humedad Relativa	79 %
Presión Atmosférica	1002 mbar

Patrones de Referencia
Los resultados obtenidos tienen trazabilidad a la NIST / IUPAC

Los resultados obtenidos tienen trazabilidad a la NIST / IUPAC	Certificado de Calibración / N° de Lote
Termómetro Digital - Cole Parmer - Model 90205-01	TD23A-C-0363
Material de Referencia Certificado Marca Control Company pH 4,005 @ 25 °C	1695-D-K-15184-01-00 2021-12 / C02915
Material de Referencia Certificado Marca Control Company pH 7,000 @ 25 °C	1691-D-K-15184-01-00 2021-12 / C02911
Material de Referencia Certificado Marca Control Company pH 10,012 @ 25 °C	1708-D-K-15184-01-00 2022-02 / C02927

Resultados

Indicación (pH)	Valor de referencia (pH)	Corrección (pH)	Incertidumbre (pH)
4.00	3.997	-0.003	0.015
7.02	7.008	-0.012	0.012
10.04	10.034	-0.006	0.015

Nota: Los resultados están dados a la temperatura de referencia de 23.1 °C

Incertidumbre
La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Observaciones
- Los resultados del presente documento, son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refieren al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones, al solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.
- Con fines de identificación de condición de calibrado se ha colocado una etiqueta autoadhesiva
(*) Indicado en el manual de instrucciones del fabricante
(**) Unidades de pH
-Los resultados corresponden al promedio de 3 mediciones

Fecha de Emisión 31/08/2023

Realizado por:


LIZ NOLDERTO GACNA
 Técnica Metrología
 Servicio Técnico
 OMEGA PERU S.A.

Responsable del Área de Metrología


Ing. FELIX CAMARENA F.
 CIP 088393
 Jefe de Servicio Técnico
 OMEGA PERU S.A.

HC-OP.M-001

Pág 1 / 1

Este certificado de calibración reemplaza al certificado de calibración TD23-C-0363 emitido el 2023-07-24

Certificado de Calibración

Calibration Certificate

N° TD23A-C-0363

Cliente: OMEGA PERU S.A.
Customer

Dirección: Av. Colonial N° 1593 Int. 201 - Lima
Address

Instrumento de medición: TERMÓMETRO DIGITAL
Measuring Instrument

Marca: TRACEABLE
Brand

Modelo: 90205-00
Model

Serie: 140722160
Serial Number

Identificación: IT-001 (*)
Identification

Marca (Sensor): No aplica
Brand

Modelo (Sensor): No aplica
Model

Serie (Sensor): No aplica
Serial Number

Identificación (Sensor): No aplica
Identification

Lugar de Calibración: Laboratorio de temperatura y humedad de KOSSODO METROLOGÍA S.A.C.
Place of Calibration

Orden de Trabajo: OT-02301680
Work Order

Fecha de Calibración: 2023-07-21
Date of Calibration

Fecha de Emisión: 2023-07-26
Date of Issue

Este Certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. - División de Metrología mantiene y calibra sus patrones de referencia para garantizar la cadena de trazabilidad de las mediciones que realiza, así mismo realiza certificaciones metroológicas a solicitud de los interesados y brinda asistencia técnica en temas relacionados al campo de la metrología en la industria peruana. Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

This Calibration Certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI). KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. - Metrology Division supports and calibrates its standards of reference to guarantee the chain of traceability of the measurements realized, as well as the metrological certifications realized at the request of the interested parties and offers technical assistance in topics related to the metrology field in the Peruvian industry. In order to assure the quality of measurements the user should recalibrate his instruments at appropriate intervals.

DATOS DEL OBJETO CALIBRADO

Data of the calibrated object
Intervalo de Indicación: -50 °C a 150 °C
Indication range
Resolución: 0,1 °C
Resolution

Tipo de sensor: Termistor
Sensor type
Intervalo de Medición (Sensor): No aplica
Measurement range (Sensor)

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Calibration Method
Calibración por comparación directa siguiendo el procedimiento INDECOPI-SNM PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales (2ª Edición Diciembre 2012)".

Calibration by direct comparison, according to the procedure INDECOPI-SNM PC-017 "Calibration Procedure Digital Thermometers (2ª Edition December 2012).



Jefe de Laboratorio
Laboratory Boss

[Signature]

Olga Toro Sayas

Supervisor de Laboratorio
Laboratory Supervisor

[Signature]

Giovanny De La Cruz Cuya



CERTIFICATE OF ANALYSIS
Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



This certificate indicates traceability to standards provided by (NIST) National Institute of Standards and Technology and/or a National Standards Laboratory.

Certificate No. : 4280-13922060

Description : Buffer 4.005 pH

Catalog Number : 00651-00,

Lot : CC770174

Certificate Date : 08 Feb 2023

Expiration Date : 08 Feb 2025

Certified Value : 3.999 pH

U: ± 0.011 pH (k=2) at 25°C

Certification measurements are performed under ISO 17034, A2LA accreditation no. 1750.02. They are traceable to recognized national and international standards via an unbroken chain of comparisons. pH is defined as the negative logarithm of the hydrogen ion activity.

MEASUREMENT: Minimum twelve (12) 100 ml samples were measured from this lot. The pH of each sample was determined using a pH meter and electrode.

UNCERTAINTY: The certified value is given as the average of the measured samples. The reported expanded uncertainty (U) is determined from the measurement variation from sample to sample, change due to shelf life, repeated use, and uncertainty of the measurement process. The value of uncertainty is multiplied by k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. Uncertainty is calculated in accordance with the ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement".

METHOD: The certified reference material is produced and analyzed by Control Company. The certified reference material is comprised of deionized water, 0.050 mol/kg H₂O potassium hydrogen phthalate, and germicide.

Jenny Ren
Jenny Ren, Technical Manager

Nicol Rodriguez
Nicol Rodriguez, Quality Manager

Traceability: Standards and Equipment Used

Description	Serial Number	Due Date	Traceable Reference
pH/Ion Meter	658R067-N023		
pH Reference Material 4.005	E1101622	24 Jan 2025	016-22
Digital Thermometer	102008443	15 Jul 2023	4000-13511244
pH Electrode	15293-F18		

Laboratory Environment Conditions: 39.00%RH 24.8°C 1023mBar

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.



CERTIFICATE OF ANALYSIS
Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



Temperature Correction Information:

Use the chart below only for making absolute measurements. That is, measurements without any automatic temperature correction (temperature coefficient set to 0).

Temperature Correction Chart										
°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
18	3.993	3.993	3.994	3.994	3.994	3.994	3.994	3.994	3.994	3.994
19	3.994	3.994	3.994	3.994	3.994	3.994	3.994	3.994	3.994	3.995
20	3.995	3.995	3.995	3.995	3.995	3.995	3.995	3.995	3.995	3.995
21	3.995	3.995	3.995	3.996	3.996	3.996	3.996	3.996	3.996	3.996
22	3.996	3.996	3.996	3.996	3.996	3.997	3.997	3.997	3.997	3.997
23	3.997	3.997	3.997	3.997	3.997	3.997	3.997	3.998	3.998	3.998
24	3.998	3.998	3.998	3.998	3.998	3.998	3.998	3.999	3.999	3.999
25	3.999	3.999	3.999	3.999	3.999	3.999	3.999	4.000	4.000	4.000
26	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.001	4.001	4.001
27	4.001	4.001	4.001	4.001	4.001	4.002	4.002	4.002	4.002	4.002
28	4.002	4.002	4.002	4.002	4.003	4.003	4.003	4.003	4.003	4.003

The above data are derived values based upon IUPAC data (Pure and Applied Chemistry 74, 2169-2200) and data/algorithm obtained using a temperature controlled calibration bath.

Shown on the chart is temperature (in the far left column) in whole degrees. Shown across the top row is temperature in tenths of a degree. Using a thermometer, measure the temperature of this certified reference material. Locate the measured temperature in whole numbers on the far left column. Follow across the row to the temperature in tenths of a degree. At the intersection is the certified reference material value at that specific temperature. Standardize the meter using that value.

Example: Measured temperature is 24.5°C. Find 24°C in the far left column, find the row 0.5°C. Where 24°C and 0.5°C intersect, read the value in pH.

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.



CERTIFICATE OF ANALYSIS
Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



This certificate indicates traceability to standards provided by (NIST) National Institute of Standards and Technology and/or a National Standards Laboratory.

Certificate No. : 4281-13962975

Description : Buffer 7.000 pH

Catalog Number : 00651-02,

Lot : CC771499

Certificate Date : 22 Feb 2023

Expiration Date : 22 Feb 2025

Certified Value : 7.002 pH

U: ± 0.011 pH (k=2) at 25°C

Certification measurements are performed under ISO 17034, A2LA accreditation no. 1750.02. They are traceable to recognized national and international standards via an unbroken chain of comparisons. pH is defined as the negative logarithm of the hydrogen ion activity.

MEASUREMENT: Minimum twelve (12) 100 ml samples were measured from this lot. The pH of each sample was determined using a pH meter and electrode.

UNCERTAINTY: The certified value is given as the average of the measured samples. The reported expanded uncertainty (U) is determined from the measurement variation from sample to sample, change due to shelf life, repeated use, and uncertainty of the measurement process. The value of uncertainty is multiplied by k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. Uncertainty is calculated in accordance with the ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement".

METHOD: The certified reference material is produced and analyzed by Control Company. The certified reference material is comprised of deionized water, 0.029 mol/kg H₂O disodium hydrogen phosphate, 0.021 mol/kg H₂O potassium dihydrogen phosphate, and germicide.

Jenny Ren
Jenny Ren, Technical Manager

Nicol Rodriguez
Nicol Rodriguez, Quality Manager

Traceability: Standards and Equipment Used

Description	Serial Number	Due Date	Traceable Reference
pH/Ion Meter	658R067-N023		
pH Reference Material 7.000	E1206121	18 Oct 2024	107-21
Digital Thermometer	102008443	15 Jul 2023	4000-13511244
pH Electrode	15293-F18		

Laboratory Environment Conditions: 51.00%RH 25.0°C 1012mBar

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite 8230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.

1 of 3

LOT: CC771499

© 2017 Control Company



CERTIFICATE OF ANALYSIS
Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



Temperature Correction Information:

Use the chart below only for making absolute measurements. That is, measurements without any automatic temperature correction (temperature coefficient set to 0).

Temperature Correction Chart										
°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
18	7.026	7.026	7.025	7.025	7.024	7.024	7.024	7.023	7.023	7.023
19	7.022	7.022	7.021	7.021	7.021	7.020	7.020	7.020	7.019	7.019
20	7.018	7.018	7.018	7.017	7.017	7.017	7.016	7.016	7.016	7.015
21	7.015	7.015	7.014	7.014	7.014	7.013	7.013	7.013	7.012	7.012
22	7.011	7.011	7.011	7.010	7.010	7.010	7.009	7.009	7.009	7.009
23	7.008	7.008	7.008	7.007	7.007	7.007	7.006	7.006	7.006	7.005
24	7.005	7.005	7.004	7.004	7.004	7.003	7.003	7.003	7.003	7.002
25	7.002	7.002	7.001	7.001	7.001	7.001	7.000	7.000	7.000	6.999
26	6.999	6.999	6.999	6.998	6.998	6.998	6.997	6.997	6.997	6.997
27	6.996	6.996	6.996	6.996	6.995	6.995	6.995	6.994	6.994	6.994
28	6.994	6.993	6.993	6.993	6.993	6.992	6.992	6.992	6.992	6.991

The above data are derived values based upon IUPAC data (Pure and Applied Chemistry 74, 2169-2200) and data/algorithm obtained using a temperature controlled calibration bath.

Shown on the chart is temperature (in the far left column) in whole degrees. Shown across the top row is temperature in tenths of a degree. Using a thermometer, measure the temperature of this certified reference material. Locate the measured temperature in whole numbers on the far left column. Follow across the row to the temperature in tenths of a degree. At the intersection is the certified reference material value at that specific temperature. Standardize the meter using that value.

Example: Measured temperature is 24.5°C. Find 24°C in the far left column, find the row 0.5°C. Where 24°C and 0.5°C intersect, read the value in pH.

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (AZLA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (AZLA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.



CERTIFICATE OF ANALYSIS
Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



This certificate indicates traceability to standards provided by (NIST) National Institute of Standards and Technology and/or a National Standards Laboratory.

Certificate No. : 4282-13834727

Description : Buffer 10.012 pH

Catalog Number : 00651-04,

Lot : CC768182

Certificate Date : 29 Dec 2022

Expiration Date : 29 Dec 2024

Certified Value : 10.015 pH

U: ± 0.011 pH (k=2) at 25°C

Certification measurements are performed under ISO 17034, A2LA accreditation no. 1750.02. They are traceable to recognized national and international standards via an unbroken chain of comparisons. pH is defined as the negative logarithm of the hydrogen ion activity.

MEASUREMENT: Minimum twelve (12) 100 ml samples were measured from this lot. The pH of each sample was determined using a pH meter and electrode.

UNCERTAINTY: The certified value is given as the average of the measured samples. The reported expanded uncertainty (U) is determined from the measurement variation from sample to sample, change due to shelf life, repeated use, and uncertainty of the measurement process. The value of uncertainty is multiplied by k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. Uncertainty is calculated in accordance with the ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement".

METHOD: The certified reference material is produced and analyzed by Control Company. The certified reference material is comprised of deionized water, 0.025 mol/kg H₂O sodium hydrogen carbonate, and 0.025 mol/kg H₂O sodium carbonate.

Jenny Ren

Jenny Ren, Technical Manager

Nicol Rodriguez

Nicol Rodriguez, Quality Manager

Traceability: Standards and Equipment Used

Description	Serial Number	Due Date	Traceable Reference
pH/Ion Meter	658R067-N023		
pH Reference Material 10.000	E1410821	20 Oct 2024	108-21
Digital Thermometer	102008443	15 Jul 2023	4000-13511244
pH Electrode	15293-F18		

Laboratory Environment Conditions: 34.00%RH 24.90°C 1015mBar

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.



CERTIFICATE OF ANALYSIS
Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



Temperature Correction Information:

Use the chart below only for making absolute measurements. That is, measurements without any automatic temperature correction (temperature coefficient set to 0).

Temperature Correction Chart										
°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
18	10.087	10.086	10.085	10.084	10.083	10.082	10.081	10.079	10.078	10.077
19	10.076	10.075	10.074	10.073	10.072	10.071	10.070	10.069	10.068	10.067
20	10.065	10.064	10.063	10.062	10.061	10.060	10.059	10.058	10.057	10.056
21	10.055	10.054	10.053	10.052	10.051	10.050	10.049	10.048	10.047	10.046
22	10.045	10.044	10.043	10.042	10.041	10.040	10.039	10.038	10.037	10.036
23	10.035	10.034	10.033	10.032	10.031	10.030	10.029	10.028	10.027	10.026
24	10.025	10.024	10.023	10.022	10.021	10.020	10.019	10.018	10.017	10.016
25	10.015	10.014	10.013	10.012	10.011	10.010	10.009	10.008	10.007	10.006
26	10.005	10.004	10.004	10.003	10.002	10.001	10.000	9.999	9.998	9.997
27	9.996	9.995	9.994	9.993	9.992	9.992	9.991	9.990	9.989	9.988
28	9.987	9.986	9.985	9.984	9.983	9.982	9.982	9.981	9.980	9.979

The above data are derived values based upon IUPAC data (Pure and Applied Chemistry 74, 2169-2200) and data/algorithm obtained using a temperature controlled calibration bath.

Shown on the chart is temperature (in the far left column) in whole degrees. Shown across the top row is temperature in tenths of a degree. Using a thermometer, measure the temperature of this certified reference material. Locate the measured temperature in whole numbers on the far left column. Follow across the row to the temperature in tenths of a degree. At the intersection is the certified reference material value at that specific temperature. Standardize the meter using that value.

Example: Measured temperature is 24.5°C. Find 24°C in the far left column, find the row 0.5°C. Where 24°C and 0.5°C intersect, read the value in pH.

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials – Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials – General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.

Solicitante : MINERA OREX S.A.C.
Dirección : Av. Paseo de la Republica N° 5809 - Miraflores
Expediente : 28688
Referencia : O/S N° LIM0004982
Instrumento de Medición : MEDIDOR MULTIPARÁMETRO (EN PARÁMETRO DE CONDUCTIVIDAD)
Alcance de Indicación : 0 μ S/cm a 19.99 μ S/cm; 20 μ S/cm a 199.9 μ S/cm; 200 μ S/cm a 1999 μ S/cm; 2.00 mS/cm a 19.99 mS/cm; 20.0 mS/cm a 199.9 mS/cm (*)
Resolución : 0,01 μ S/cm / 0,1 μ S/cm / 1 μ S/cm / 0,01 mS/cm / 0,1 mS/cm (*)
Marca : Hach Co.
Modelo : HQ40d
Serie : 191000026557
Procedencia : U.S.A.
Modelo del Sensor : CDC40101
Serie del Sensor : 192632584641

Método de Calibración

La calibración se ha realizado siguiendo el procedimiento PC-OMEGA-002 para la Calibración de Conductímetro.

Fecha de Calibración : 31/08/2023

Lugar de Calibración : LABORATORIO DE METROLOGIA - OMEGA PERU S.A.

Condiciones Ambientales

Temperatura	23 °C
Humedad Relativa	79 %
Presión Atmosférica	1002 mbar

Patrones de Referencia

Los resultados obtenidos tienen trazabilidad al SI de Unidades	Certificado de Calibración / N° de Lote
Termómetro Digital - Cole Parmer - Model 90205-01	TD23A-C-0363
Material de Referencia Certificado Marca Control Company 1413 μ S/cm @ 25 °	4173-13965845/ CC23855
Material de Referencia Certificado Marca Control Company 10,00 mS/cm @ 25	4068-13828617 / CC23572

Resultados

Indicación	Valor de referencia	Corrección	Incertidumbre
1370 μ S/cm	1362 μ S/cm	-8 μ S/cm	4.6 μ S/cm
9.45 mS/cm	9.62 mS/cm	0.17 mS/cm	0.04 mS/cm

Nota: Los resultados están dados a la temperatura de referencia de 23.1 °C

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Observaciones

- Los resultados del presente documento, son válidos únicamente para el objeto calibrado y se refieren al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones, al solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en función al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.

- Con fines de identificación de condición de calibrado se ha colocado una etiqueta autoadhesiva.

(*) Indicado en el manual de instrucciones del fabricante.

Fecha de Emisión 31/08/2023

Responsable del Área de Metrología

Realizado por:


LIZ NOLBERTO GAJNA
 Técnica Metrología
 Servicio Técnico
 OMEGA PERU S.A.


Ing. FELIX CAMARENA F.
 CIP 088393
 Jefe de Servicio Técnico
 OMEGA PERU S.A.

HC-OP.M-002

Pág 1 / 1

Este certificado de calibración reemplaza al certificado de calibración TD23-C-0363 emitido el 2023-07-24

Certificado de Calibración

Calibration Certificate

N° TD23A-C-0363

Cliente: Customer	OMEGA PERU S.A.	Este Certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. - División de Metrología mantiene y calibra sus patrones de referencia para garantizar la cadena de trazabilidad de las mediciones que realiza, así mismo realiza certificaciones metroológicas a solicitud de los interesados y brinda asistencia técnica en temas relacionados al campo de la metrología en la industria peruana. Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados. This Calibration Certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI). KOSSODO METROLOGÍA S.A.C. - Metrology Division supports and calibrates his standards of reference to guarantee the chain of traceability of the measurements realized, as well as the metrological certifications realize at the request of the interested parties and offers technical assistance in topics related to the metrology field in the Peruvian industry. In order to assure the quality of measurements the user should recalibrate his instruments at appropriate intervals.
Dirección: Address	Av. Colonial N° 1593 Int. 201 - Lima	
Instrumento de medición: Measuring Instrument	TERMÓMETRO DIGITAL	
Marca: Brand	TRACEABLE	
Modelo: Model	90205-00	
Serie: Serial Number	140722160	
Identificación: Identification	IT-001 (*)	
Marca (Sensor): Brand	No aplica	
Modelo (Sensor): Model	No aplica	
Serie (Sensor): Serial Number	No aplica	
Identificación (Sensor): Identification	No aplica	
Lugar de Calibración: Place of Calibration	Laboratorio de temperatura y humedad de KOSSODO METROLOGÍA S.A.C.	
Orden de Trabajo: Work Order	OT-02301680	
Fecha de Calibración: Date of Calibration	2023-07-21	
Fecha de Emisión: Date of Issue	2023-07-26	

DATOS DEL OBJETO CALIBRADO

Data of the calibrated object
Intervalo de Indicación: -50 °C a 150 °C
Indication range
Resolución: 0,1 °C
Resolution

Tipo de sensor: Termistor
Sensor type
Intervalo de Medición (Sensor): No aplica
Measurement range (Sensor)

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Calibration Method
Calibración por comparación directa siguiendo el procedimiento INDECOPI-SNM PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales (2ª Edición Diciembre 2012)".

Calibration by direct comparison, according at the procedure INDECOPI-SNM PC-017 "Calibration Procedure Digital Thermometers (2ª Edition December 2012).



Jefe de Laboratorio
Laboratory Boss

Olga Toro Sayas

Supervisor de Laboratorio
Laboratory Supervisor

Giovanni De La Cruz Cuya



CERTIFICATE OF ANALYSIS
Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



This certificate indicates traceability to standards provided by (NIST) National Institute of Standards and Technology and/or a National Standards Laboratory.

Certificate No.: 4068-13828617
Description: Conductivity Solution 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Catalog Number: 00652-32, **Lot :** CC23572
Certificate Date: 21 Dec 2022 **Expiration Date:** 21 Dec 2023
Certified Value: 9,999.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ **U:** $\pm 40 \mu\text{S}/\text{cm}$ ($k=2$) at 25°C
Derived Values: 9,999.00 micromho/cm, 100.01 ohm-cm, 6666 PPM D.S.

Certification measurements are performed under ISO 17034, A2LA accreditation no. 1750.02 and are traceable to recognized national and international standards via an unbroken chain of comparisons. Electrical conductance is the reciprocal of electrical impedance. The International Systems of units (SI), derived unit of conductance, is Siemens(S), also referred to as (mhos) the reciprocal of ohms. The certified value is expressed in micro Siemens per centimeter ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

MEASUREMENT: Minimum ten (10) 100 ml samples were measured from this lot. The conductivity of each sample was derived from a measurement of the impedance of the solution using a conductivity meter and calibrated cell. The cell and sample were temperature controlled by submersion in water bath at 25°C $\pm 0.015^\circ\text{C}$.

UNCERTAINTY: The certified value is given as the average of the measured samples. The reported expanded uncertainty (U) is determined from the measurement variation from sample to sample, change due to shelf life, repeated use, and from the uncertainty of the measurement process. The value of uncertainty is multiplied by $k=2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. Uncertainty is calculated in accordance with the ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement".

METHOD: The certified reference material is prepared and analyzed by Control Company. The certified reference material consists of a mixture of a dilute solution of less than 0.1% (by mass) potassium chloride (KCL), of less than 1% (by mass) propanol, and of less than 99% (by mass) deionized water in equilibrium with atmospheric carbon dioxide. Mixing was performed by circulation utilizing a proprietary method.

Jenny Ren
Jenny Ren, Technical Manager

Nicol Rodriguez
Nicol Rodriguez, Quality Manager

Traceability: Standards and Equipment Used

Description	Serial Number	Due Date	Traceable Reference
Conductivity Probe/Meter	13212-F01	26 Mar 2023	TC25-13641055
Digital Thermometer	111879346	28 Nov 2023	4000-13767319
Conductivity/pH Meter	696R059N018		
Temperature Calibration Bath	B5C477		

Laboratory Environment Conditions: 39.00%RH 24.80°C 1023mBar

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.

1 of 3

LOT: CC23572

© 2017 Control Company



CERTIFICATE OF ANALYSIS
Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



Temperature Correction Information: 1.904%

If your conductivity meter allows you to set a temperature coefficient (temperature correction) then the underlines number shown above is the best approximation for this specific Traceable® Certified Reference Material. For more precise measurements use the chart. Use the chart below only if you are making absolute measurements. That is, measurements without any automatic temperature correction (temperature coefficient set to 0). The chart below displays derived values.

Using a thermometer, measure the temperature of this Certified Reference Material. Shown on the chart is temperature (in the far-left column) in whole degree. Shown across the top row is temperature in tenths of a degree. Locate the measured temperature in whole numbers on the far-left column, then follow across the row to the temperature in tenths of a degree. At the intersection is the Certified Reference Material value at that specific temperature. Standardize your meter using that value. Example: Measured temperature is 20.4 °C. Find 20 °C in the far-left column, find the row 0.4°C. Where 20 °C and 0.4°C intersect, read the value in microseimens/cm.

Temperature Correction Chart in micromhos/cm										
°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
2	5792	5810	5827	5845	5862	5880	5897	5915	5932	5950
3	5967	5985	6002	6020	6037	6055	6072	6090	6108	6125
4	6143	6160	6178	6196	6213	6231	6248	6266	6284	6301
5	6319	6337	6354	6372	6390	6408	6425	6443	6461	6478
6	6496	6514	6532	6550	6567	6585	6603	6621	6638	6656
7	6674	6692	6710	6728	6745	6763	6781	6799	6817	6835
8	6853	6871	6889	6906	6924	6942	6960	6978	6996	7014
9	7032	7050	7068	7086	7104	7122	7140	7158	7176	7194
10	7212	7230	7248	7266	7285	7303	7321	7339	7357	7375
11	7393	7411	7429	7448	7466	7484	7502	7520	7538	7557
12	7575	7593	7611	7630	7648	7666	7684	7703	7721	7739
13	7757	7776	7794	7812	7830	7849	7867	7885	7904	7922
14	7941	7959	7977	7996	8014	8032	8051	8069	8088	8106
15	8124	8143	8161	8180	8198	8217	8235	8254	8272	8291
16	8309	8328	8346	8365	8383	8402	8420	8439	8457	8476
17	8495	8513	8532	8550	8569	8588	8606	8625	8644	8662
18	8681	8700	8718	8737	8756	8774	8793	8812	8830	8849
19	8868	8887	8905	8924	8943	8962	8980	8999	9018	9037
20	9056	9074	9093	9112	9131	9150	9169	9188	9206	9225
21	9244	9263	9282	9301	9320	9339	9358	9377	9396	9414
22	9433	9452	9471	9490	9509	9528	9547	9566	9585	9604
23	9623	9643	9662	9681	9700	9719	9738	9757	9776	9795
24	9814	9833	9853	9872	9891	9910	9929	9948	9967	9987
25	9999	10025	10044	10063	10083	10102	10121	10140	10160	10179
26	10198	10217	10237	10256	10275	10295	10314	10333	10353	10372
27	10391	10411	10430	10449	10469	10488	10507	10527	10546	10566
28	10585	10604	10624	10643	10663	10682	10702	10721	10741	10760
29	10780	10799	10819	10838	10858	10877	10897	10916	10936	10955
30	10975	10995	11014	11034	11053	11073	11093	11112	11132	11151
31	11171	11191	11210	11230	11250	11269	11289	11309	11329	11348
32	11368	11388	11407	11427	11447	11467	11486	11506	11526	11546
33	11566	11585	11605	11625	11645	11665	11685	11704	11724	11744
34	11764	11784	11804	11824	11844	11863	11883	11903	11923	11943
35	11963	11983	12003	12023	12043	12063	12083	12103	12123	12143

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials – Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials – General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.

3 of 3 LOT: CC23572 © 2017 Control Company



CERTIFICATE OF ANALYSIS
Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



This certificate indicates traceability to standards provided by (NIST) National Institute of Standards and Technology and/or a National Standards Laboratory.

Certificate No.: 4173-13965845
Description: Conductivity Solution 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Catalog Number: 00652-30, **Lot :** CC23855
Certificate Date: 23 Feb 2023 **Expiration Date:** 23 Feb 2024
Certified Value: 1,413.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ **U:** $\pm 4.6 \mu\text{S}/\text{cm}$ (k=2) at 25°C
Derived Values: 1,413.00 micromho/cm, 707.71 ohm-cm, 942 PPM D.S.

Certification measurements are performed under ISO 17034, A2LA accreditation no. 1750.02 and are traceable to recognized national and international standards via an unbroken chain of comparisons. Electrical conductance is the reciprocal of electrical impedance. The International Systems of units (SI), derived unit of conductance, is Siemens(S), also referred to as (mhos) the reciprocal of ohms. The certified value is expressed in micro Siemens per centimeter ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

MEASUREMENT: Minimum ten (10) 100 ml samples were measured from this lot. The conductivity of each sample was derived from a measurement of the impedance of the solution using a conductivity meter and calibrated cell. The cell and sample were temperature controlled by submersion in water bath at 25°C $\pm 0.015^\circ\text{C}$.

UNCERTAINTY: The certified value is given as the average of the measured samples. The reported expanded uncertainty (U) is determined from the measurement variation from sample to sample, change due to shelf life, repeated use, and from the uncertainty of the measurement process. The value of uncertainty is multiplied by k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. Uncertainty is calculated in accordance with the ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement".

METHOD: The certified reference material is prepared and analyzed by Control Company. The certified reference material consists of a mixture of a dilute solution of less than 0.1% (by mass) potassium chloride (KCL), of less than 1% (by mass) propanol, and of less than 99.5% (by mass) deionized water in equilibrium with atmospheric carbon dioxide. Mixing was performed by circulation utilizing a proprietary method.

Jenny Ren
Jenny Ren, Technical Manager

Nicol Rodriguez
Nicol Rodriguez, Quality Manager

Traceability: Standards and Equipment Used

Description	Serial Number	Due Date	Traceable Reference
Digital Thermometer	111879346	28 Nov 2023	4000-13767319
Conductivity/pH Meter	696R059N018		
Temperature Calibration Bath	B5C477		
Conductivity Probe/Meter	19273-F02	26 Mar 2023	TC38-13641054

Laboratory Environment Conditions: 52.00%RH 25.00°C 1005mBar

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.

1 of 3

LOT: CC23855

© 2017 Control Company



CERTIFICATE OF ANALYSIS
Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



Temperature Correction Information:

1.911%

If your conductivity meter allows you to set a temperature coefficient (temperature correction) then the underlined number shown above is the best approximation for this specific analysis for this specific Traceable® Certified Reference Material. For more precise measurements use the chart. Use the chart below only if you are making absolute measurements. That is, measurements without any automatic temperature correction (temperature coefficient set to 0). The chart below displays derived values.

Using a thermometer, measure the temperature of this Certified Reference Material. Shown on the chart is temperature (in the far-left column) in whole degree. Shown across the top row is temperature in tenths of a degree. Locate the measured temperature in whole numbers on the far-left column, then follow across the row to the temperature in tenths of a degree. At the intersection is the Certified Reference Material value at that specific temperature. Standardize your meter using that value.
Example: Measured temperature is 20.4 °C. Find 20 °C in the far-left column, find the row 0.4°C. Where 20 °C and 0.4°C intersect, read the value in microsiemens/cm.

Temperature Correction Chart in micromhos/cm										
°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
15	1146	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169
16	1172	1175	1177	1180	1183	1185	1188	1191	1193	1196
17	1199	1201	1204	1206	1209	1212	1214	1217	1220	1222
18	1225	1228	1230	1233	1236	1238	1241	1244	1246	1249
19	1252	1254	1257	1260	1262	1265	1268	1270	1273	1276
20	1278	1281	1284	1286	1289	1292	1295	1297	1300	1303
21	1305	1308	1311	1313	1316	1319	1321	1324	1327	1329
22	1332	1335	1337	1340	1343	1346	1348	1351	1354	1356
23	1359	1362	1364	1367	1370	1373	1375	1378	1381	1383
24	1386	1389	1392	1394	1397	1400	1402	1405	1408	1411
25	1413	1416	1419	1421	1424	1427	1430	1432	1435	1438
26	1440	1443	1446	1449	1451	1454	1457	1460	1462	1465
27	1468	1471	1473	1476	1479	1482	1484	1487	1490	1493
28	1495	1498	1501	1504	1506	1509	1512	1515	1517	1520
29	1523	1526	1528	1531	1534	1537	1539	1542	1545	1548
30	1550	1553	1556	1559	1562	1564	1567	1570	1573	1575
31	1578	1581	1584	1587	1589	1592	1595	1598	1601	1603
32	1606	1609	1612	1615	1617	1620	1623	1626	1629	1631
33	1634	1637	1640	1643	1645	1648	1651	1654	1657	1660
34	1662	1665	1668	1671	1674	1676	1679	1682	1685	1688
35	1691	1693	1696	1699	1702	1705	1708	1710	1713	1716

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.

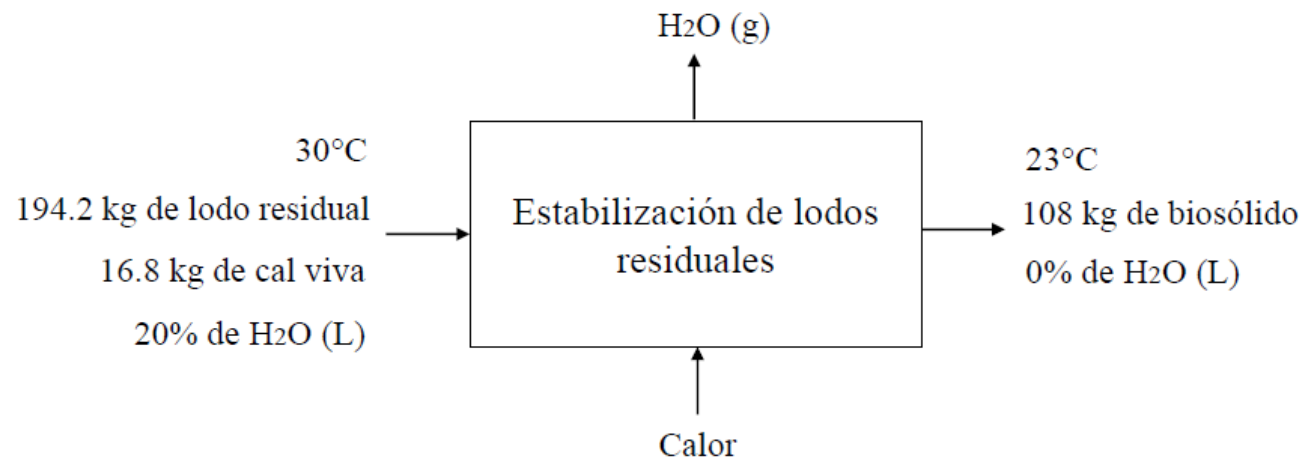
3 of 3

LOT: CC23855

© 2017 Control Company

Anexo 6. Balance del proceso de secado del lodo residual

BALANCE DEL PROCESO DE SECADO DEL LODO RESIDUAL



Anexo 7. Análisis de la estabilización de lodos



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTROS TL-829 Y TL-951



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 166342-2022 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
DOMICILIO LEGAL : AV. VILLA HERMOSA CERRO VIEJO - CERRO COLORADO - AREQUIPA
SOLICITADO POR : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
REFERENCIA : MONITOREO AMBIENTAL DE LODOS
PROCEDENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2022-10-04 Y 2022-10-27
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2022-10-04 AL 2022-11-04
FECHA(S) DE MUESTREO : 2022-09-28 Y 2022-10-26
MUESTREO REALIZADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
pH	EPA SW-846, Method 9045 D (Rev4) 2004. Soil and waste pH.	---	unif pH
Conductivity Conductividad	Method 190820 Conductivity (Validated). Referenced in Official Mexican Standard NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.2.5 Method AS-18. Conductivity measured in the Saturation Extract. Fertility, salinity and soil classification specifications. Studies, sampling and analysis. Organic material.	---	ds/m
Humidity Humedad	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.5 AS-05 - Método Gravimétrico (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.10	%
Nitrógeno total de Kjeldahl (Kjeldahl Total Nitrogen)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-Norg-C, 23rd Ed. 2017. Semi-Micro-Kjeldahl Method.	0.05	N %
Organic Material. Materia orgánica (SV): Según D.S. 015-2017-VIVIENDA para lodos de PTAR.	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2540 G. 23rd Ed. 2017. Total, Fixed, and Volatile Solids and Semisolid Samples	0.04	%
Organic Material. Materia orgánica (SV): Según D.S. 015-2017-VIVIENDA para lodos de PTAR.	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2540 G. 23rd Ed. 2017. Total, Fixed, and Volatile Solids and Semisolid Samples	0.04	%
Metales: Aluminum (Al), Antimony (Sb), Arsenic (As), Barium (Ba), Boron (B), Beryllium (Be), Cadmium (Cd), Calcium (Ca), Chromium (Cr), Cobalt (Co), Copper (Cu), Iron (Fe), Lead (Pb), Lithium (Li), Magnesium (Mg), Manganese (Mn), Mercury (Hg), Molybdenum (Mo), Nickel (Ni), Phosphorus (P), Potassium (K), Selenium (Se), Silica (SiO ₂), Silver (Ag), Sodium (Na), Strontium (Sr), Thallium (Tl), Estafío, Titanium (Ti), Vanadium (V), Zinc (Zn), Thorium (Th), Uranium (U), Tungsten (W)	EPA 3050-B (1996) Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils // SW-846 Method EPA 6010D, Rev. 5, 2018. Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES).	---	mg/kg
Escherichia coli	EPA Method 1680 Fecal Coliforms in Sewage Sludge (Biosolids) by Multiple-Tube Fermentation using Lauryl Tryptose Broth (LTB) and EC Medium, 2014 // SM Part 9221 G. (Item 2), 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation. Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures (PROPOSED), 2017.	0.1803 ^(a)	NMP/g ST
Salmonella sp.	EPA Method 1682 : Salmonella in Sewage Sludge (Biosolids) by Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV) Medium, 2006.	0.006473 ^(a) y <0.06473	NMP/4g ST NMP/10g ST
Eggs of viable helminths (Huevos de helmintos viables)	Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Moodley et al.: Helminth Ova in Wastewater, Sludge, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa (Moodley, Archer, Hawksworth, & Leibach, 2008).	1	Huevos /4g ST

L.C.: Límite de cuantificación.

(a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativas.

Ing. Marilú Tello Paycar
Directora Técnica
C.I.P. N° 219624
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 4



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTROS TL-829 Y TL-951



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 166342-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS

Producto declarado	Lodo	
Matriz analizada	Lodo	
Fecha de muestreo	2022-09-28	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	LO-01	
Código del Laboratorio	22100170	
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)		
Ensayos	Unidades	Resultados
pH	unidad pH	12.24
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE IAS-829		
Ensayos	Unidades	Resultados
Conductivity Conductividad	dS/m	11.62
Humidity Humedad	%	36.73
Nitrógeno total de Kjeldahl (Kjeldahl Total Nitrogen)	N %	2.30
Organic Material. Materia orgánica (SV): Según D.S. 015-2017-VIVIENDA para lodos de PTAR.	%	19.43

Resultados de lodos reportados en base seca.
Medición de pH realizada a 25°C.

Cod. FI 008/Version 01/ FE.: 09/2020

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perechibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 4

EXPERTS
WORKING
FOR YOU



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTROS TL-829 Y TL-951



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 166342-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS

Producto declarado	Lodo		
Matriz analizada	Lodo		
Fecha de muestreo	2022-09-28		
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00		
Condiciones de la muestra	Conservada		
Código del Cliente	LO-01		
Código del Laboratorio	22100170		
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829			
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales			
Plata (Ag)	0.06	mg/kg	8.36
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	3752.8
Arsénico (As)	0.17	mg/kg	9.01
Boro (B)	0.2	mg/kg	15.3
Bario (Ba)	0.23	mg/kg	74.73
Berilio (Be)	0.021	mg/kg	0.092
Calcio (Ca)	2.4	mg/kg	>40000
Cadmio (Cd)	0.03	mg/kg	1.24
Cerio (Ce)	0.3	mg/kg	7.8
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	2.04
Cromo (Cr)	0.05	mg/kg	9.16
Cobre (Cu)	0.07	mg/kg	64.79
Hierro (Fe)	0.24	mg/kg	5380.15
Mercurio (Hg)	0.10	mg/kg	1.56
Potasio (K)	3.5	mg/kg	3415.7
Litio (Li)	0.3	mg/kg	9.2
Magnesio (Mg)	3.7	mg/kg	3437.6
Manganeso (Mn)	0.08	mg/kg	178.15
Molibdeno (Mo)	0.14	mg/kg	3.89
Sodio (Na)	3.9	mg/kg	1439.7
Níquel (Ni)	0.06	mg/kg	17.94
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	5400.8
Plomo (Pb)	0.08	mg/kg	23.65
Antimonio (Sb)	0.22	mg/kg	<0.22
Selenio(Se)	0.4	mg/kg	<0.4
Estañio (Sn)	0.10	mg/kg	1.20
Estroncio (Sr)	0.07	mg/kg	191.14
Torio (Th)	0.20	mg/kg	<0.20
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	32.46
Talio(Tl)	0.4	mg/kg	<0.4
Uranio (U)	0.3	mg/kg	<0.3
Vanadio (V)	0.05	mg/kg	56.95
Wolframio (W)/Tungsteno	0.20	mg/kg	<0.20
Zinc (Zn)	0.23	mg/kg	268.26

L.D.M.: límite de detección del método.

Resultados de lodos reportados en base seca.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 008/Versión 01/FE.-09/2020

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Malto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 3 de 4

**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTROS TL-829 Y TL-951



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 166342-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS

Producto declarado	Lodo	
Matriz analizada	Lodo	
Fecha de muestreo	2022-10-26	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	LO-01	
Código del Laboratorio	22102307	
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE IAS-829		
Ensayos	Unidades	Resultados
Escherichia coli	NMP/g ST	<0.1813
Salmonella sp.	NMP/4g ST	<0.006473
Salmonella sp.	NMP/10g ST ⁽¹⁾	<0.006473
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-951		
Ensayos	Unidades	Resultados
Huevos de Helmintos viables		
Nemátodos		
Familia/Género/Especie:		
Ascaris sp.	Huevos/4g ST	<1
Ancylostomídeo	Huevos/4g ST	<1
Enterobius vermicularis	Huevos/4g ST	<1
Trichuris sp.	Huevos/4g ST	<1
Toxocara sp.	Huevos/4g ST	<1
Strongyloídeo	Huevos/4g ST	<1
Trichostrongyloídeo	Huevos/4g ST	<1
Capillaria sp.	Huevos/4g ST	<1
Trichostrongylus sp.	Huevos/4g ST	<1
Cestodos		
Género/Especie:		
Diphylidium sp.	Huevos/4g ST	<1
Taenia sp.	Huevos/4g ST	<1
Moniezia sp.	Huevos/4g ST	<1
Hymenolepis diminuta	Huevos/4g ST	<1
Hymenolepis nana	Huevos/4g ST	<1
Hymenolepis sp.	Huevos/4g ST	<1
Tremátodos		
Género/Especie:		
Fasciola hepática	Huevos/4g ST	<1
Paragonimus sp.	Huevos/4g ST	<1
Schistosoma sp.	Huevos/4g ST	<1
Acantocéfalo		
Género:		
Macracanthorhynchus sp.	Huevos/4g ST	<1
Total ⁽²⁾	Huevos/4g ST	<1

(1) Reportado en base a 10gST según lo solicitado la RM-093-2018-Protocolo de Monitoreo Biosólidos.

(2) Indica el número de Huevos /4g ST, incluyendo todas las especies encontradas.

Nota: <1 es equivalente a 0, lo que indica la no detección de huevos de helmintos viables.

Resultados de Lodo reportados en base seca.

Lima, 09 de Noviembre del 2022.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 008/ Versión 01/ FE.: 09/2020

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perechibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 4 de 4

Anexo 8. Análisis de la calidad de compost – Tratamiento 1



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167390-2022 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
DOMICILIO LEGAL : AV. VILLA HERMOSA CERRO VIEJO - CERRO COLORADO - AREQUIPA
SOLICITADO POR : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
REFERENCIA : MONITOREO AMBIENTAL DE SUELO
PROCEDENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2022-12-27
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2022-12-27 AL 2023-01-07
FECHA(S) DE MUESTREO : 2022-12-27
MUESTREO REALIZADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Conductividad	ISO 11265:1994/Cor 1:1996 - Soil quality - Determination of the specific electrical conductivity.	---	mS/m
Fósforo total	EPA Method 200.7, Rev. 4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994.	6.3 ^(x)	P mg/kg
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrógeno total Kjeldahl)	SHREWSBURY-APHA-AWWA-WEP Part 4300-Norg-C, 23rd Ed. 2017. Semi-Micro-Kjeldahl Method.	0.05	N %
Materia orgánica	NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.7 Método AS-07, 2002. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.22	%
pH measured in the saturation extract pH medido en el extracto de saturación	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.2 Método AS-02, pH medido en el Extracto de Saturación. (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	unidades pH
Relación C/N en suelos	Norma Mexicana NMX-AA-007-1985. PROTECCIÓN AL AMBIENTE-Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de la relación Carbono / Nitrógeno	---	Sin unidades
Metales: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, Titanio, Vanadio, Zinc.	EPA-3050-B (1996) y Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	---	mg/kg

L.C.: Límite de cuantificación.

(x) Expresado como límite de detección del método.

ING. TELLO PAUCAR
MARILU
C.I.P. N 219424
Firmado con
www.tocapu.pe

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Esta prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento o menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. La fecha serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y sus autores podrán ser penalizados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 1 de 3

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Rios Norte - Lima y Pasaje Cleopinda Malto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Rios Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167390-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS

Producto declarado	Suelo	
Matriz analizada	Suelo	
Fecha de muestreo	2022-12-27	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	
Coordenadas UTM WGS 84 18L	708228E	
Altitud (mnm)	823992N	
	698	
	Conservada	
Código del Cliente	COM-0181	
Código del Laboratorio	22111391	
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)		
Ensayos	Unidades	Resultados
Conductividad	mS/m	244
Conductividad (%)	gS/m	2.44
Fósforo total	P mg/kg	5600
Fósforo total (%)	%	0.56
Materia orgánica	%	38.82
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE IAS-829		
Ensayos	Unidades	Resultados
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrogen total Kjeldahl)	N %	0.16
pH measured in the saturation extract pH medido en el extracto de saturación	unidad pH	5.69
Relación C/N en suelos	Sin unidades	20.29*

Resultados de Suelo reportados en base seca.

(a) Unidades solicitadas por el cliente.

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA y el IAS.

Lima, 10 de Enero del 2023.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y sus autores podrán ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Cleopinda Malto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 2 de 3



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167391-2022 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
DOMICILIO LEGAL : AV. VILLA HERMOSA CERRO VIEJO - CERRO COLORADO - AREQUIPA
SOLICITADO POR : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
REFERENCIA : MONITOREO AMBIENTAL DE SUELO
PROCEDENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2022-12-27
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2022-12-27 AL 2023-01-07
FECHA(S) DE MUESTREO : 2022-12-27
MUESTREO REALIZADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Conductividad	ISO 11265:1994/Cor 1:1996. Soil quality - Determination of the specific electrical conductivity.	---	mS/m
Fósforo total	EPA Method 200.7, Rev.4.4, EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994.	0.3 ^(a)	P mg/kg
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrogen total Kjeldahl)	SMWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-Norg-C, 23rd Ed. 2017 Semi-Micro-Kjeldahl Method.	0.05	N %
Materia orgánica	NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.7 Método AS-07. 2002. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.22	%
pH measured in the saturation extract pH medido en el extracto de saturación	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.2 Método AS-02. pH medido en el Extracto de Saturación. (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	und pH
Relación C/N en suelos	Norma Mexicana NMX-AA-067-1985. PROTECCIÓN AL AMBIENTE-Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de la relación Carbono / Nitrógeno	---	Sin unidades
Metales: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, Titanio, Vanadio, Zinc.	EPA 3050-B (1996) / Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	---	mg/kg

L.C.: Límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

ING. TELLO PAUCAR
MARILU
C.I.P. N 219424
Firmado con
www.tocapu.pe

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Esta promite la reproducción parcial o total del presente documento si y solo bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán transferidas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables podrán ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 1 de 3

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167391-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS

Producto declarado	Suelo	
Muestra analizada	Suelo	
Fecha de muestreo	2022-12-27	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	
Coordenadas UTM WGS 84 18L	708228E 8239962N	
Altitud (metros)	698	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	COM-0182	
Código del Laboratorio	22111391	
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)		
Ensayos	Unidades	Resultados
Conductividad	mS/m	344
Conductividad ^(x)	dS/m	3.44
Fósforo total	P mg/kg	4935.1
Fósforo total ^(x)	%	0.5
Materia orgánica	%	39.82
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE IAS-829		
Ensayos	Unidades	Resultados
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrogen total Kjeldahl)	N %	1.08
pH measured in the saturation extract pH medido en el extracto de saturación	unidades pH	7.19
Relación C/N en suelos	Sin unidades	21.79*

Resultados de Suelo reportados en base seca.

(x) Unidades solicitadas por el cliente.

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA y el IAS.

Lima, 10 de Enero del 2023.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Esta prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin el consentimiento escrito de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán transferidas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro solicitado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 2 de 3

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clarinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167392-2022 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
DOMICILIO LEGAL : AV. VILLA HERMOSA CERRO VIEJO - CERRO COLORADO - AREQUIPA
SOLICITADO POR : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
REFERENCIA : MONITOREO AMBIENTAL DE SUELO
PROCEDENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2022-12-27
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2022-12-27 AL 2023-01-07
FECHA(S) DE MUESTREO : 2022-12-27
MUESTREO REALIZADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Conductividad	ISO 11265:1994/Cor 1:1996. Soil quality - Determination of the specific electrical conductivity.	---	mS/m
Fósforo total	EPA Method 200.7, Rev.4.4, EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994.	0.3 ^(a)	P mg/kg
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrogen total Kjeldahl)	SMWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-Norg-C, 23rd Ed. 2017 Semi-Micro-Kjeldahl Method.	0.05	N %
Materia orgánica	NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.7 Método AS-07. 2002. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.22	%
pH measured in the saturation extract pH medido en el extracto de saturación	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.2 Método AS-02. pH medido en el Extracto de Saturación. (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	und pH
Relación C/N en suelos	Norma Mexicana NMX-AA-067-1985. PROTECCIÓN AL AMBIENTE-Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de la relación Carbono / Nitrógeno	---	Sin unidades
Metales: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, Titanio, Vanadio, Zinc.	EPA 3050-B (1996) / Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	---	mg/kg

L.C.: Límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

ING. TELLO PAUCAR
MARILU
C.I.P. N 219424
Firmado con
www.tocapu.pe

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Esta prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento o a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán transferidas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables podrán ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 1 de 3

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167392-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS

Producto declarado	Suelo	
Muestra analizada	Suelo	
Fecha de muestreo	2022-12-27	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	
Coordenadas UTM WGS 84 18L	708228E 8239962N	
Altitud (metros)	898	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	COM- 01R3	
Código del Laboratorio	2211393	
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)		
Ensayos	Unidades	Resultados
Conductividad	mS/m	<14
Conductividad (x)	dS/m	<1.4
Fósforo total	P mg/kg	4800
Fósforo total (x)	%	0.48
Materia orgánica	%	41.32
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE IAS-829		
Ensayos	Unidades	Resultados
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrogen total Kjeldahl)	N %	2.56
pH measured in the saturation extract pH medido en el extracto de saturación	unidades pH	8.19
Relación C/N en suelos	Sin unidades	22.79*

Resultados de Suelo reportados en base seca.

(x) Unidades solicitadas por el cliente.

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA y el IAS.

Lima, 10 de Enero del 2023.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Esta prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin el consentimiento escrito de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán transferidas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro solicitado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables podrán ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 2 de 3

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clarinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Anexo 9. Análisis de la calidad de compost – Tratamiento 2



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167393-2022 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
DOMICILIO LEGAL : AV. VILLA HERMOSA CERRO VIEJO - CERRO COLORADO - AREQUIPA
SOLICITADO POR : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
REFERENCIA : MONITOREO AMBIENTAL DE SUELO
PROCEDENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2022-12-27
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2022-12-27 AL 2023-01-07
FECHA(S) DE MUESTREO : 2022-12-27
MUESTREO REALIZADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Conductividad	ISO 11265:1994/Cor 1:1996. Soil quality - Determination of the specific electrical conductivity.	---	mS/m
Fósforo total	EPA Method 200.7, Rev. 4.4, EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994	0.3%	P mg/kg
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrógeno total Kjeldahl)	SMWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-Norg-C, 23rd Ed. 2017 Semi-Micro-Kjeldahl Method.	0.05	N %
Materia orgánica	NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.7 Método AS-07. 2002. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.22	%
pH measured in the saturation extract pH medido en el extracto de saturación	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.2 Método AS-02. pH medido en el Extracto de Saturación. (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	und pH
Relación C/N en suelos	Norma Mexicana NMX-AA-007-1985. PROTECCIÓN AL AMBIENTE-Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de la relación Carbono / Nitrógeno	---	Sin unidades
Metales: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, Titanio, Vanadio, Zinc.	EPA-200.8 (1996) / Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	---	mg/kg

L.C.: Límite de cuantificación.
(a) Expresado como límite de detección del método.

ING. TELLO PAUCAR
MARILU
C.I.P. N 219424
Firmado con
www.tocapu.pe

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y las autoridades pueden ser procesadas de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 1 de 3

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1555 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167393-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS

Producto declarado	Suelo	
Muestra analizada	Suelo	
Fecha de muestreo	2022-12-27	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	
Coordenadas UTM WGS 84 18L	708228E 8239962N	
Altitud (metros)	898	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	COM-02R1	
Código del Laboratorio	2211393	
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)		
Ensayos	Unidades	Resultados
Conductividad	mS/m	330
Conductividad ^(a)	dS/m	3.30
Fósforo total	P mg/kg	4700
Fósforo total ^(a)	%	0.47
Materia orgánica	%	37.97
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE IAS-829		
Ensayos	Unidades	Resultados
Kjeldahl Total Nitrogen (Ninguno total Kjeldahl)	N %	0.52
pH measured in the saturation extract pH medido en el extracto de saturación	unidad pH	6.28
Relación C/N en suelos	Sin unidades	27.00*

Resultados de Suelo reportados en base seca.

(a) Unidades solicitadas por el cliente.

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA y el IAS.

Lima, 10 de Enero del 2023.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Esta prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento o menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán rechazadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 2 de 3

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clarinda Mallo de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6585 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N°167394-2022 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
DOMICILIO LEGAL : AV. VILLA HERMOSA CERRO VIEJO - CERRO COLORADO - AREQUIPA
SOLICITADO POR : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
REFERENCIA : MONITOREO AMBIENTAL DE SUELO
PROCEDENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2022-12-27
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2022-12-27 AL 2023-01-07
FECHA(S) DE MUESTREO : 2022-12-27
MUESTREO REALIZADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Conductividad	ISO 11265:1994/Con 1:1996. Soil quality - Determination of the specific electrical conductivity.	---	mS/m
Fósforo total	EPA Method 200.7, Rev. 4.4, EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994	0.3 ^(a)	P mg/kg
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrogen total Kjeldahl)	SMWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-Norg-C, 23rd Ed. 2017 Semi-Micro-Kjeldahl Method.	0.05	N %
Materia orgánica	NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.7 Método AS-07. 2002. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.22	%
pH measured in the saturation extract pH medido en el extracto de saturación	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.2 Método AS-02. pH medido en el Extracto de Saturación. (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	und pH
Relación C/N en suelos	Norma Mexicana NMX-AA-067-1985. PROTECCIÓN AL AMBIENTE-Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de la relación Carbono / Nitrógeno	---	Sin unidades
Metales: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, Titanio, Vanadio, Zinc.	—EPA 200.0-8 (1996) / Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	---	mg/kg

L.C.: Límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

ING. TELLO PAUCAR
MARILU
C.I.P. N 219424
Firmado con
www.tocapu.pe

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Esta prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán rechazadas de acuerdo al periodo de prescripción del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Mallo de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6585 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 3



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167394-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS

Producto declarado	Suelo	
Muestra analizada	Suelo	
Fecha de muestreo	2022-12-27	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	
Coordenadas UTM WGS 84 18L	708228E 8239962N	
Altitud (mnm)	898	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	COM-0282	
Código del Laboratorio	2211393	
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)		
Ensayos	Unidades	Resultados
Conductividad	mS/m	358
Conductividad ^(a)	dS/m	3.50
Fósforo total	P mg/kg	4958.1
Fósforo total ^(a)	%	0.5
Materia orgánica	%	38.08
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE IAS-829		
Ensayos	Unidades	Resultados
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrógeno total Kjeldahl)	N %	0.60
pH measured in the saturation extract pH medido en el extracto de saturación	unidad pH	7.78
Relación C/N en suelos	Sin unidades	28.00*

Resultados de Suelo reportados en base seca.

(a) Unidades solicitadas por el cliente.

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA y el IAS.

Lima, 10 de Enero del 2023.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Esta prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán rechazadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 2 de 3

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clarinda Malto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6585 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167395-2022 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
DOMICILIO LEGAL : AV. VILLA HERMOSA CERRO VIEJO - CERRO COLORADO - AREQUIPA
SOLICITADO POR : YUDITH ESTEFANI PERALTA APAZA
REFERENCIA : MONITOREO AMBIENTAL DE SUELO
PROCEDENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2022-12-27
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2022-12-27 AL 2023-01-07
FECHA(S) DE MUESTREO : 2022-12-27
MUESTREO REALIZADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Conductividad	ISO 11265:1994/Con 1:1996. Soil quality - Determination of the specific electrical conductivity.	---	mS/m
Fósforo total	EPA Method 200.7, Rev. 4.4, EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994	0.3 ^(a)	P mg/kg
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrogen total Kjeldahl)	SMWW-APHA-AWWA-WEP Part 4500-Norg-C, 23rd Ed. 2017 Semi-Micro-Kjeldahl Method.	0.05	N %
Materia orgánica	NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.7 Método AS-07. 2002. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	0.22	%
pH measured in the saturation extract pH medido en el extracto de saturación	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 Item 7.1.2 Método AS-02. pH medido en el Extracto de Saturación. (31 de Diciembre 2002). Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.	---	und pH
Relación C/N en suelos	Norma Mexicana NMX-AA-067-1985. PROTECCIÓN AL AMBIENTE-Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de la relación Carbono / Nitrógeno	---	Sin unidades
Metales: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, Titanio, Vanadio, Zinc.	—EPA 200.0-8 (1996) / Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	---	mg/kg

L.C.: Límite de cuantificación.

(a) Expresado como límite de detección del método.

ING. TELLO PAUCAR
MARILU
C.I.P. N 219424
Firmado con
www.tocapu.pe

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Esta promueve la reproducción parcial o total del presente documento o a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán rechazadas de acuerdo al periodo de prescripción del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 1 de 3

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Mallo de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6585 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 167395-2022 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS

Producto declarado	Suelo	
Muestra analizada	Suelo	
Fecha de muestreo	2022-12-27	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:00	
Coordenadas UTM WGS 84 18L	708228E 8239962N	
Altitud (metros)	898	
Condiciones de la muestra	Conservada	
Código del Cliente	COM-0293	
Código del Laboratorio	2211393	
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)		
Ensayos	Unidades	Resultados
Conductividad	mS/m	360
Conductividad ^(a)	dS/m	3.60
Fósforo total	P mg/kg	3500
Fósforo total ^(a)	%	0.55
Materia orgánica	%	40.30
ENSAYOS ACREDITADOS ANTE IAS-829		
Ensayos	Unidades	Resultados
Kjeldahl Total Nitrogen (Nitrogen total Kjeldahl)	N %	2.10
pH measured in the saturation extract pH medido en el extracto de saturación	unidades pH	8.78
Relación C/N en suelos	Sin unidades	29.50*

Resultados de Suelo reportados en base seca.

(a) Unidades solicitadas por el cliente.

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA y el IAS.

Lima, 10 de Enero del 2023.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

OBSERVACIONES: • Esta prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán rechazadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Página 2 de 3

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clarinda Mallo de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6585 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Anexo 10. Prueba Estadística

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
HUMEDAD (%)	,138	6	,200 [*]	,984	6	,971
PH	,134	6	,200 [*]	,977	6	,934
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m)	,302	6	,093	,888	6	,308
RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO	,212	6	,200 [*]	,915	6	,473
MATERIA ORGÁNICA (%)	,179	6	,200 [*]	,981	6	,958
NITRÓGENO (%)	,223	6	,200 [*]	,898	6	,362

Estadísticas de grupo

	Tratamientos	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
HUMEDAD (%)	Tratamiento I	3	35,1667	1,25831	,72648
	Tratamiento II	3	38,5667	1,25831	,72648
PH	Tratamiento I	3	7,3567	,76376	,44096
	Tratamiento II	3	7,6133	1,25831	,72648
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m)	Tratamiento I	3	3,6067	1,25831	,72648
	Tratamiento II	3	3,4667	,15275	,08819
RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO	Tratamiento I	3	21,6233	1,25831	,72648
	Tratamiento II	3	28,1667	1,25831	,72648
MATERIA ORGÁNICA (%)	Tratamiento I	3	39,9867	1,25831	,72648
	Tratamiento II	3	39,0833	1,16843	,67459
NITRÓGENO (%)	Tratamiento I	3	1,2600	1,21244	,70000
	Tratamiento II	3	1,0733	,89002	,51385

Anexo 11. Meteorología

REPORTE DIARIO DE LA ESTACION METEOROLOGICA DE LA UNIDAD MINERA SAN JUAN DE CHORUNGA										
FECHA	TEMPERATURA			HUMEDAD	VIENTO		PRESION	SOL		LLUVIA
	TEMP. EXT. (°C)	MAX. (°C)	MIN. (°C)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD (Km/h)	DIRECCION	P. BAROMETRICA (mb)	RADIACION SOLAR (W/m2)	VALOR MAXIMO UV	PRECIPITACION (mm)
6/1/2022	16.40	22.80	12.90	80.04	2.27	SW	926.90	117.00	0.43	0.00
6/2/2022	16.02	22.70	11.60	79.54	3.08	SW	924.70	128.79	0.40	0.00
6/3/2022	15.00	21.20	11.40	82.00	2.70	SW	925.20	123.00	0.37	0.00
6/4/2022	16.00	22.70	10.70	77.00	2.10	SW	926.00	124.00	0.38	0.00
6/5/2022	17.00	22.40	12.00	71.00	2.80	SW	926.40	129.00	0.41	0.00
6/6/2022	16.00	22.30	9.80	75.00	2.90	SW	926.40	131.00	0.41	0.00
6/7/2022	15.00	22.10	10.40	80.00	2.40	SSW	927.20	129.00	0.39	0.00
6/8/2022	17.00	23.50	12.40	59.00	3.00	SSW	928.10	112.00	0.37	0.00
6/9/2022	16.00	22.80	11.10	76.00	3.40	SW	930.60	127.00	0.09	0.00
6/10/2022	15.00	20.40	11.90	75.00	3.60	SW	929.70	123.00	0.39	0.00
6/11/2022	14.00	20.40	10.40	81.00	2.70	SW	926.90	123.00	0.39	0.00
6/12/2022	15.00	21.80	10.20	77.00	2.40	SW	926.70	125.00	0.37	0.00
6/13/2022	15.00	20.90	10.10	77.00	2.39	NNE	927.10	123.00	0.39	0.00
6/14/2022	19.40	27.30	13.00	59.70	1.80	SW	927.30	124.30	0.40	0.00
6/15/2022	15.69	20.20	11.10	78.00	3.20	SW	929.90	121.60	0.39	0.00
6/16/2022	19.10	25.30	14.90	61.30	2.40	SW	928.20	120.25	0.39	0.00
6/17/2022	17.80	23.20	13.10	65.00	2.40	SW	926.30	119.80	0.39	0.00
6/18/2022	15.60	20.90	12.10	82.20	2.60	SW	927.80	104.90	0.30	0.00
6/19/2022	16.65	22.60	12.60	73.04	3.15	SW	928.20	113.00	0.38	0.00
6/20/2022	14.55	19.70	12.30	85.83	3.96	SW	929.50	106.50	0.35	0.00
6/21/2022	13.85	18.90	11.40	87.00	3.40	SSW	928.00	103.00	0.31	0.00
6/22/2022	13.80	19.20	11.30	85.00	3.90	SW	929.00	108.00	0.32	0.00
6/23/2022	14.12	19.00	11.10	80.00	3.96	SW	930.90	103.00	0.31	0.00
6/24/2022	13.43	18.50	9.70	82.00	4.20	SW	929.10	119.00	0.34	0.00
6/25/2022	13.63	18.40	10.90	82.00	3.60	SW	928.70	111.00	0.31	0.00
6/26/2022	13.82	20.40	9.40	78.00	3.20	SSW	927.90	121.00	0.35	0.00
6/27/2022	14.12	19.60	10.00	76.00	3.20	SSW	927.80	122.00	0.33	0.00
6/28/2022	14.87	20.20	10.30	72.00	2.60	SSW	928.30	120.00	0.34	0.00
6/29/2022	14.55	21.50	9.70	74.00	1.70	SW	927.90	123.00	0.35	0.00
6/30/2022	14.55	20.20	9.00	73.00	2.40	SW	926.40	121.00	35.00	0.00

REPORTE DIARIO DE LA ESTACION METEOROLOGICA DE LA UNIDAD MINERA SAN JUAN DE CHORUNGA										
FECHA	TEMPERATURA			HUMEDAD	VIENTO		PRESION	SOL		LLUVIA
	TEMP. EXT. (°C)	MAX. (°C)	MIN. (°C)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD (Km/h)	DIRECCION	P. BAROMETRICA (mb)	RADIACION SOLAR (W/m2)	VALOR MAXIMO UV	PRECIPITACION (mm)
7/1/2022	13.1	18.8	9.9	83.3	2.88	SW	928.2	110.4	0.31	0.00
7/2/2022	14.3	20.6	8.9	77.2	2.68	SW	928.3	119.5	0.33	0.00
7/3/2022	15.5	23.2	9.8	75.8	2.68	SW	928.5	119.0	0.34	0.00
7/4/2022	14.4	20.6	9.6	79.6	2.00	SSW	928.5	118.2	0.34	0.00
7/5/2022	12.7	18.8	8.9	80.8	3.15	SSW	928.7	117.0	0.32	0.00
7/6/2022	13.5	19.1	9.7	77.4	2.94	SSW	928.3	117.9	0.32	0.00
7/7/2022	14.1	19.5	9.4	75.5	3.15	SW	925.4	117.3	0.33	0.00
7/8/2022	15.3	21.9	10.3	72.0	2.47	SW	926.5	117.1	0.33	0.00
7/9/2022	15.2	21.8	10.1	71.2	3.01	SW	927.3	116.9	0.33	0.00
7/10/2022	15.0	22.3	9.7	73.2	2.13	SW	925.4	117.2	0.32	0.00
7/11/2022	15.4	21.7	9.6	72.6	1.87	SSW	925.9	103.5	0.27	0.00
7/12/2022	17.7	23.5	12.8	64.2	2.20	SW	927.8	103.5	0.31	0.00
7/13/2022	18.1	24.7	12.8	63.9	3.28	SW	927.9	118.2	0.33	0.00
7/14/2022	14.1	19.1	12.1	85.6	3.96	SW	928.2	104.3	0.30	0.00
7/15/2022	13.0	16.6	11.4	88.7	3.82	SSW	927.9	87.5	0.25	0.00
7/16/2022	13.0	18.6	10.4	87.5	3.40	N	928.2	103.3	0.30	0.00
7/17/2022	13.1	19.5	8.9	84.4	3.00	S	927.8	118.5	0.31	0.00
7/18/2022	14.4	21.0	9.0	77.9	3.88	SW	926.9	125.9	0.32	0.00
7/19/2022	13.5	20.0	10.5	76.5	3.78	SW	926.9	124.1	0.37	0.00
7/20/2022	16.64	16.83	16.46	81.13	4.76	OSO	931.14	119.51	0.49	0.00
7/21/2022	15.80	15.97	15.64	84.38	4.53	OSO	930.06	125.35	0.49	0.00
7/22/2022	15.90	16.05	15.75	82.44	5.20	OSO	930.09	123.21	0.49	0.00
7/23/2022	15.81	16.01	15.59	77.81	4.26	OSO	929.75	135.23	0.53	0.00
7/24/2022	16.33	16.57	16.09	74.08	3.12	OSO	927.91	128.77	0.50	0.00
7/25/2022	17.43	17.74	17.10	71.71	3.39	OSO	929.56	116.40	0.48	0.00
7/26/2022	17.34	17.67	17.02	68.77	4.09	OSO	929.89	133.17	0.52	0.00
7/27/2022	15.89	16.13	15.64	77.10	3.92	OSO	928.66	134.02	0.50	0.00
7/28/2022	15.50	15.73	15.27	78.29	4.13	OSO	928.23	132.98	0.48	0.00
7/29/2022	14.60	14.76	14.42	81.75	2.81	OSO	929.23	96.85	0.34	0.00
7/30/2022	16.40	16.65	16.15	73.00	3.62	OSO	927.03	132.98	0.47	0.00
7/31/2022	16.26	16.55	15.95	74.92	3.12	OSO	927.20	131.73	0.46	0.00

REPORTE DIARIO DE LA ESTACION METEOROLOGICA DE LA UNIDAD MINERA SAN JUAN DE CHORUNGA										
FECHA	TEMPERATURA			HUMEDAD	VIENTO		PRESION	SOL		LLUVIA
	TEMP. EXT. (°C)	MAX. (°C)	MIN. (°C)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD (Km/h)	DIRECCION	P. BAROMETRICA (mb)	RADIACION SOLAR (W/m2)	VALOR MAXIMO UV	
8/6/2022	16.79	17.10	16.47	62.50	9.17	OSO	928.23	171.54	0.41	0.00
8/7/2022	13.66	13.92	13.40	74.25	5.07	OSO	927.70	131.77	0.28	0.00
8/8/2022	14.59	14.91	14.28	71.17	4.43	OSO	928.72	156.54	0.34	0.00
8/9/2022	15.14	15.53	14.79	68.96	5.03	OSO	928.80	158.67	0.32	0.00
8/10/2022	15.21	15.51	14.90	70.94	5.00	OSO	928.53	162.38	0.35	0.00
8/11/2022	14.58	14.86	14.29	72.60	4.16	OSO	927.18	152.23	0.33	0.00
8/12/2022	14.96	15.24	14.66	72.67	4.39	OSO	926.74	156.88	0.31	0.00
8/13/2022	14.96	15.19	14.70	76.35	5.17	OSO	927.58	143.23	0.30	0.00
8/14/2022	15.62	15.88	15.34	75.96	4.56	OSO	929.12	138.65	0.30	0.00
8/15/2022	16.56	16.86	16.26	74.83	5.43	OSO	929.94	162.94	0.35	0.00
8/16/2022	15.69	15.90	15.45	78.10	5.70	OSO	929.98	156.92	0.35	0.00
8/17/2022	15.78	16.12	15.46	73.88	5.34	OSO	927.90	166.54	0.36	0.00
8/18/2022	16.04	16.35	15.75	70.90	4.22	OSO	928.13	157.56	0.33	0.00
8/19/2022	18.90	19.28	18.52	54.54	3.99	OSO	927.87	163.77	0.34	0.00
8/20/2022	17.95	18.35	17.58	60.81	4.45	OSO	927.31	163.33	0.33	0.00
8/21/2022	16.86	17.24	16.54	67.65	4.46	OSO	926.79	161.69	0.32	0.00
8/22/2022	16.39	16.69	16.09	71.38	5.87	OSO	927.10	164.92	0.34	0.00
8/23/2022	19.00	19.41	18.57	59.23	4.53	OSO	927.98	163.15	0.32	0.00
8/24/2022	18.38	18.74	18.01	61.77	4.42	OSO	928.81	162.63	0.32	0.00
8/25/2022	16.39	16.72	16.02	68.33	6.71	OSO	929.52	161.56	0.30	0.00
8/26/2022	15.33	15.65	15.02	70.79	6.54	OSO	929.93	161.71	0.30	0.00
8/27/2022	15.19	15.46	14.91	72.54	6.24	OSO	927.63	160.48	0.31	0.00
8/28/2022	17.39	17.70	17.08	63.52	5.43	OSO	925.50	160.98	0.30	0.00
8/29/2022	16.18	16.47	15.90	74.21	5.40	OSO	926.87	151.10	0.29	0.00
8/30/2022	16.92	17.19	16.64	72.21	5.73	OSO	928.27	148.75	0.29	0.00

REPORTE DIARIO DE LA ESTACION METEOROLOGICA DE LA UNIDAD MINERA SAN JUAN DE CHORUNGA										
FECHA	TEMPERATURA			HUMEDAD	VIENTO		PRESION	SOL		LLUVIA
	TEMP. EXT. (°C)	MAX. (°C)	MIN. (°C)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD (Km/h)	DIRECCION	P. BAROMETRICA (mb)	RADIACION SOLAR (W/m2)	VALOR MAXIMO UV	
9/6/2022	16.79	17.10	16.47	62.50	9.17	OSO	928.23	171.54	0.41	0.00
9/7/2022	13.66	13.92	13.40	74.25	5.07	OSO	927.70	131.77	0.28	0.00
9/8/2022	14.59	14.91	14.28	71.17	4.43	OSO	928.72	156.54	0.34	0.00
9/9/2022	15.14	15.53	14.79	68.96	5.03	OSO	928.80	158.67	0.32	0.00
9/10/2022	15.21	15.51	14.90	70.94	5.00	OSO	928.53	162.38	0.35	0.00
9/11/2022	14.58	14.86	14.29	72.60	4.16	OSO	927.18	152.23	0.33	0.00
9/12/2022	14.96	15.24	14.66	72.67	4.39	OSO	926.74	156.88	0.31	0.00
9/13/2022	14.96	15.19	14.70	76.35	5.17	OSO	927.58	143.23	0.30	0.00
9/14/2022	15.62	15.88	15.34	75.96	4.56	OSO	929.12	138.65	0.30	0.00
9/15/2022	16.56	16.86	16.26	74.83	5.43	OSO	929.94	162.94	0.35	0.00
9/16/2022	15.69	15.90	15.45	78.10	5.70	OSO	929.98	156.92	0.35	0.00
9/17/2022	15.78	16.12	15.46	73.88	5.34	OSO	927.90	166.54	0.36	0.00
9/18/2022	16.04	16.35	15.75	70.90	4.22	OSO	928.13	157.56	0.33	0.00
9/19/2022	18.90	19.28	18.52	54.54	3.99	OSO	927.87	163.77	0.34	0.00
9/20/2022	17.95	18.35	17.58	60.81	4.45	OSO	927.31	163.33	0.33	0.00
9/21/2022	16.86	17.24	16.54	67.65	4.46	OSO	926.79	161.69	0.32	0.00
9/22/2022	16.39	16.69	16.09	71.38	5.87	OSO	927.10	164.92	0.34	0.00
9/23/2022	19.00	19.41	18.57	59.23	4.53	OSO	927.98	163.15	0.32	0.00
9/24/2022	18.38	18.74	18.01	61.77	4.42	OSO	928.81	162.63	0.32	0.00
9/25/2022	16.39	16.72	16.02	68.33	6.71	OSO	929.52	161.56	0.30	0.00
9/26/2022	15.33	15.65	15.02	70.79	6.54	OSO	929.93	161.71	0.30	0.00
9/27/2022	15.19	15.46	14.91	72.54	6.24	OSO	927.63	160.48	0.31	0.00
9/28/2022	17.39	17.70	17.08	63.52	5.43	OSO	925.50	160.98	0.30	0.00
9/29/2022	16.18	16.47	15.90	74.21	5.40	OSO	926.87	151.10	0.29	0.00
9/30/2022	16.92	17.19	16.64	72.21	5.73	OSO	928.27	148.75	0.29	0.00

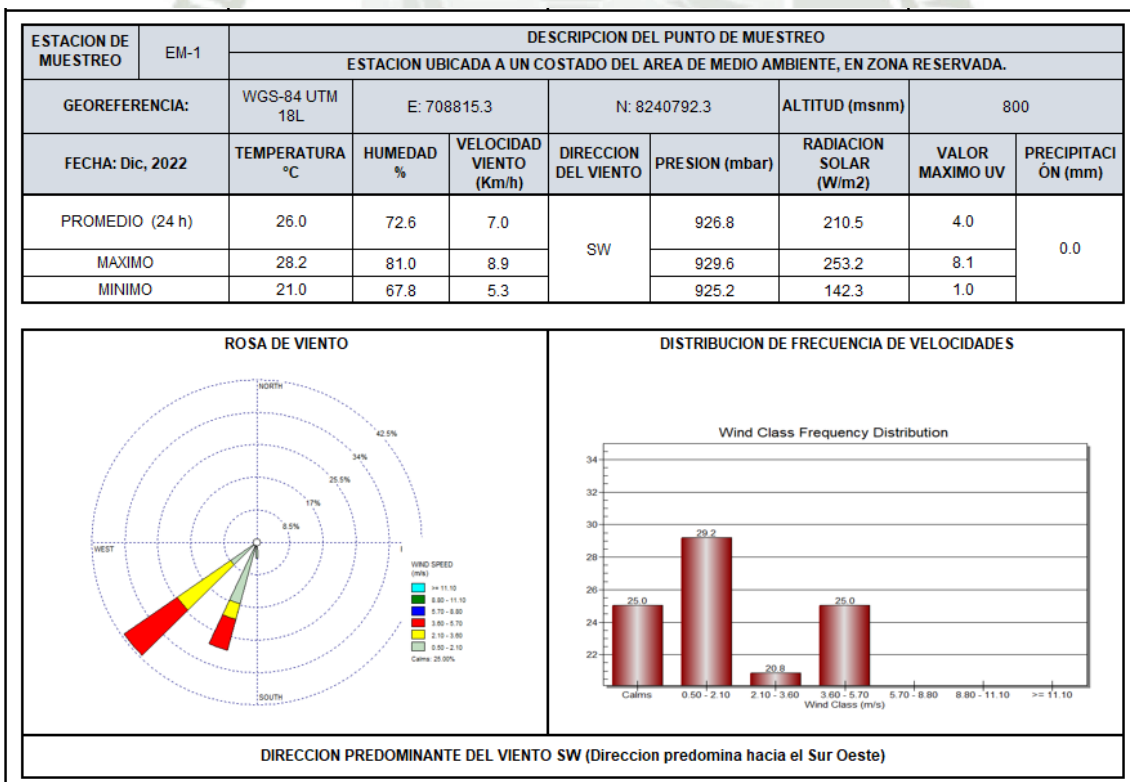
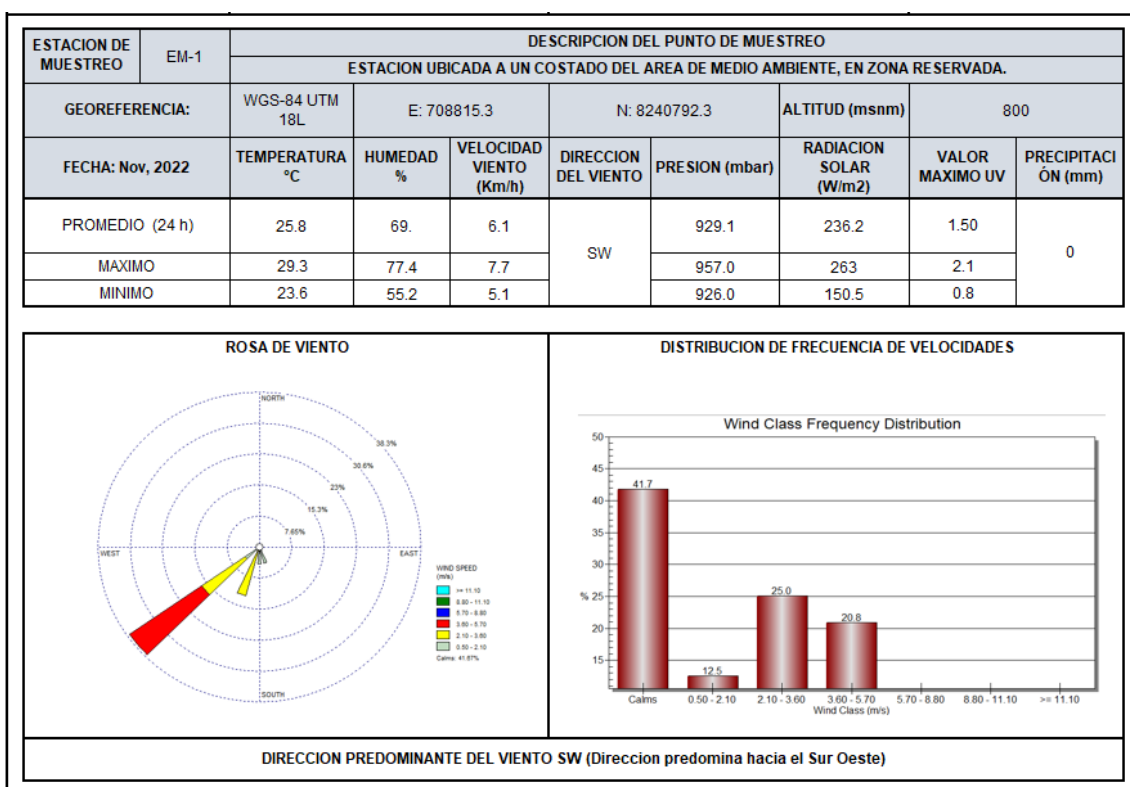
REPORTE DIARIO DE LA ESTACION METEOROLOGICA DE LA UNIDAD MINERA SAN JUAN DE CHORUNGA										
FECHA	TEMPERATURA			HUMEDAD	VIENTO		PRESION	SOL		LLUVIA
	TEMP. EXT. (°C)	MAX. (°C)	MIN. (°C)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD (Km/h)	DIRECCION	P. BAROMETRICA (mb)	RADIACION SOLAR (W/m2)	VALOR MAXIMO UV	PRECIPITACION (mm)
10/1/2022	19.01	19.74	18.38	66.78	7.14	SO	927.72	322.74	2.47	0.00
10/2/2022	18.18	18.74	17.72	69.42	8.04	SO	926.69	300.08	2.22	0.00
10/3/2022	17.33	17.79	16.86	69.08	5.96	SO	927.79	285.00	2.08	0.00
10/4/2022	18.98	19.66	18.32	62.25	5.36	SO	928.12	295.17	2.03	0.00
10/5/2022	18.55	19.15	17.95	67.08	5.77	SO	926.75	303.33	2.02	0.00
10/6/2022	18.23	18.82	17.68	65.92	5.70	SO	924.88	300.79	2.03	0.00
10/7/2022	17.71	18.28	17.18	65.29	5.44	SO	926.32	247.08	1.64	0.00
10/8/2022	17.50	18.03	16.98	68.50	6.30	SO	927.50	278.08	1.90	0.00
10/9/2022	17.14	17.69	16.62	72.08	6.11	SO	927.03	268.79	1.80	0.00
10/10/2022	18.60	19.20	18.02	65.69	4.90	SO	927.65	282.00	1.90	0.00
10/11/2022	19.05	19.37	18.70	63.27	4.83	SO	927.11	157.35	0.24	0.00
10/12/2022	17.99	18.35	17.63	69.98	4.49	SO	926.74	147.13	0.23	0.00
10/13/2022	17.35	17.64	17.06	73.58	5.84	SO	926.27	152.96	0.24	0.00
10/14/2022	17.39	17.67	17.12	69.40	6.48	SO	926.09	162.21	0.25	0.00
10/15/2022	18.01	18.33	17.74	68.46	4.60	SO	926.29	122.29	0.19	0.00
10/16/2022	19.87	20.25	19.49	64.81	6.07	SO	926.04	158.96	0.26	0.00
10/17/2022	17.87	18.17	17.56	70.52	6.68	SO	925.51	159.83	0.26	0.00
10/18/2022	17.34	17.63	17.04	70.40	6.94	SO	926.76	162.90	0.26	0.00
10/19/2022	16.22	16.51	15.92	72.38	6.57	SO	926.83	152.83	0.24	0.00
10/20/2022	17.14	17.45	16.84	67.27	5.23	SO	926.87	165.75	0.25	0.00
10/21/2022	17.0	25.4	10.4	65.0	5.00	SW	928.8	265.0	2.00	0.00
10/22/2022	16.0	24.8	10.3	66.0	5.10	SW	928.6	265.0	2.00	0.00
10/23/2022	16.6	25.1	10.7	65.0	6.90	SW	928.7	271.0	2.00	0.00
10/24/2022	15.9	24.2	10.2	70.0	6.10	SW	928.2	267.0	2.00	0.00
10/25/2022	17.2	24.7	11.6	67.0	6.40	SSW	928.7	266.0	1.00	0.00
10/26/2022	17.6	24.7	11.1	63.0	5.80	SW	928.1	264.0	2.00	0.00
10/27/2022	20.5	29.3	12.8	55.0	6.10	SW	928.3	261.0	2.00	0.00
10/28/2022	20.6	27.3	14.8	67.0	5.80	SSW	928.1	261.0	2.00	0.00
10/29/2022	19.3	26.7	13.2	66.0	5.80	SSW	928.0	264.0	2.00	0.00
10/30/2022	19.0	27.3	12.6	66.4	5.60	SW	926.3	257.8	2.00	0.00
10/31/2022	19.8	28.3	13.1	60.0	5.50	SSW	927.9	258.0	2.00	0.00

REPORTE DIARIO DE LA ESTACION METEOROLOGICA DE LA UNIDAD MINERA SAN JUAN DE CHORUNGA										
FECHA	TEMPERATURA			HUMEDAD	VIENTO		PRESION	SOL		LLUVIA
	TEMP. EXT. (°C)	MAX. (°C)	MIN. (°C)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD (Km/h)	DIRECCION	P. BAROMETRICA (mb)	RADIACION SOLAR (W/m2)	VALOR MAXIMO UV	PRECIPITACION (mm)
11/1/2022	20.0	26.9	13.8	86.0	6.00	SW	928.1	261.0	2.00	0.00
11/2/2022	20.0	26.9	15.2	58.0	5.80	SW	927.7	264.0	2.00	0.00
11/3/2022	19.0	26.4	12.4	64.0	6.10	SW	927.3	255.0	2.00	0.00
11/4/2022	17.0	24.3	11.9	69.0	7.00	SW	927.1	256.0	2.00	0.00
11/5/2022	18.0	24.9	12.0	68.0	6.00	SW	928.1	253.0	2.00	0.00
11/6/2022	19.0	25.6	13.0	65.0	6.20	SW	928.6	254.0	2.00	0.00
11/7/2022	18.0	27.1	12.1	69.0	6.50	SW	927.3	252.0	2.00	0.00
11/8/2022	17.9	25.8	12.1	68.6	5.80	SW	928.3	256.2	1.68	0.00
11/9/2022	18.1	25.9	12.8	67.9	6.20	SW	928.2	252.9	1.68	0.00
11/10/2022	17.7	25.5	11.9	69.9	5.50	SSW	927.5	248.6	1.60	0.00
11/11/2022	17.4	25.4	12.2	72.1	6.30	SW	927.8	246.9	1.60	0.00
11/12/2022	17.8	24.3	13.7	69.7	7.10	SW	927.7	240.2	1.50	0.00
11/13/2022	16.7	24.1	11.8	73.0	6.90	SW	946.2	246.2	1.50	0.00
11/14/2022	16.6	23.6	11.7	77.4	6.90	SW	957.0	257.0	1.50	0.00
11/15/2022	17.2	25.3	11.6	69.4	6.10	SW	927.1	244.2	1.43	0.00
11/16/2022	17.1	25.2	11.3	70.5	5.80	SW	927.3	226.3	1.32	0.00
11/17/2022	17.3	24.4	12.1	69.9	5.90	SW	927.4	214.3	1.22	0.00
11/18/2022	18.1	26.2	12.3	68.2	6.40	SW	927.3	256.0	1.47	0.00
11/19/2022	18.8	26.7	12.5	68.1	5.70	SW	927.9	238.0	1.30	0.00
11/20/2022	18.1	23.9	13.0	70.4	5.10	SW	927.5	150.5	0.78	0.00
11/21/2022	20.0	27.2	13.2	65.0	6.00	SW	926.0	263.0	1.00	0.00
11/22/2022	18.2	27.2	13.2	72.0	6.40	SW	926.4	214.0	1.20	0.00
11/23/2022	17.9	25.7	13.1	70.9	6.00	SW	927.8	213.5	1.20	0.00
11/24/2022	18.4	25.0	13.8	70.2	5.20	SSW	928.4	164.0	0.93	0.00
11/25/2022	19.8	28.3	14.3	64.8	5.60	SSW	927.3	222.1	1.24	0.00
11/26/2022	19.5	27.1	14.5	67.1	6.20	SW	927.5	219.3	1.20	0.00
11/27/2022	20.5	29.3	12.8	55.2	6.10	SW	928.3	261.4	2.10	0.00
11/28/2022	18.6	25.4	13.9	69.9	7.70	SSW	926.6	228.8	1.20	0.00
11/29/2022	18.6	26.6	12.8	67.1	6.30	SW	926.6	249.9	1.21	0.00
11/30/2022	17.6	24.3	13.2	72.3	5.30	SW	927.1	177.6	0.91	0.00

REPORTE DIARIO DE LA ESTACION METEOROLOGICA DE LA UNIDAD MINERA SAN JUAN DE CHORUNGA										
FECHA	TEMPERATURA			HUMEDAD	VIENTO		PRESION	SOL		LLUVIA
	TEMP. EXT. (°C)	MAX. (°C)	MIN. (°C)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD (Km/h)	DIRECCION	P. BAROMETRICA (mb)	RADIACION SOLAR (W/m2)	VALOR MAXIMO UV	PRECIPITACION (mm)
12/1/2022	18.4	26.1	12.3	69.8	5.60	SSW	926.8	221.6	4.90	0.00
12/2/2022	19.2	26.3	14.0	70.0	5.30	SSW	927.3	183.1	4.10	0.00
12/3/2022	20.3	27.8	14.9	68.3	6.20	SSW	926.1	225.5	4.70	0.00
12/4/2022	19.6	26.9	14.7	72.2	6.60	SW	925.9	176.6	4.80	0.00
12/5/2022	17.7	24.9	12.0	67.8	6.10	SW	928.0	253.2	8.10	0.00
12/6/2022	18.9	25.4	14.6	73.2	6.50	SW	926.6	171.7	4.40	0.00
12/7/2022	19.6	26.9	15.5	69.1	6.80	SSW	926.9	203.1	4.80	0.00
12/8/2022	19.8	26.6	14.8	68.9	7.90	SSW	925.5	233.8	4.50	0.00
12/9/2022	18.1	23.9	14.3	72.3	7.30	SSW	925.2	201.8	4.40	0.00
12/10/2022	19.5	27.4	13.3	69.8	5.30	SSW	926.6	229.6	4.50	0.00
12/11/2022	18.5	23.4	15.1	81.0	7.50	SSW	927.0	159.9	4.20	0.00
12/12/2022	18.9	23.5	16.3	80.9	8.90	SW	927.1	216.8	4.10	0.00
12/13/2022	19.3	26.1	15.2	75.8	6.70	SSW	927.9	195.0	4.30	0.00
12/14/2022	20.0	28.2	14.3	73.6	6.80	SW	927.8	225.6	4.40	0.00
12/15/2022	19.7	27.3	15.9	73.4	6.60	SW	929.6	226.5	4.30	0.00
12/16/2022	18.4	24.8	14.3	74.6	7.80	SSW	926.1	225.6	4.00	0.00
12/17/2022	18.6	25.4	14.1	72.1	7.10	SW	926.5	231.7	4.10	0.00
12/18/2022	18.2	23.6	14.3	74.3	8.10	SSW	926.5	225.9	3.90	0.00
12/19/2022	19.4	27.3	13.6	69.6	6.50	SSW	926.1	234.1	4.00	0.00
12/20/2022	19.8	28.2	14.3	69.9	6.30	SSW	927.1	207.5	4.00	0.00
12/21/2022	20.1	27.6	14.3	68.7	6.70	SSW	925.8	223.4	4.00	0.00
12/22/2022	18.7	24.3	15.7	77.9	7.90	SSW	926.9	142.3	2.40	0.00
12/23/2022	20.4	28.2	15.9	71.4	7.80	SW	928.2	223.2	3.80	0.00
12/24/2022	19.8	26.2	15.2	74.6	7.40	SW	927.2	195.8	3.70	0.00
12/25/2022	20.8	27.6	16.3	71.9	6.70	SSW	926.9	172.6	4.00	0.00
12/26/2022	20.8	26.5	16.3	76.2	7.10	SW	927.4	202.3	3.60	0.00
12/27/2022	20.9	27.1	16.8	75.7	6.90	SW	926.9	226.3	3.70	0.00
12/28/2022	19.9	27.7	15.9	74.9	7.30	SW	926.8	193.8	3.50	0.00
12/29/2022	20.8	27.4	17.2	70.1	8.90	SW	927.9	204.6	3.40	0.00
12/30/2022	21.13	21.65	20.66	69.00	6.85	SW	925.59	252.04	1.01	0
12/31/2022	20.60	21.00	20.23	74.92	6.83	SW	925.59	240.25	0.96	0



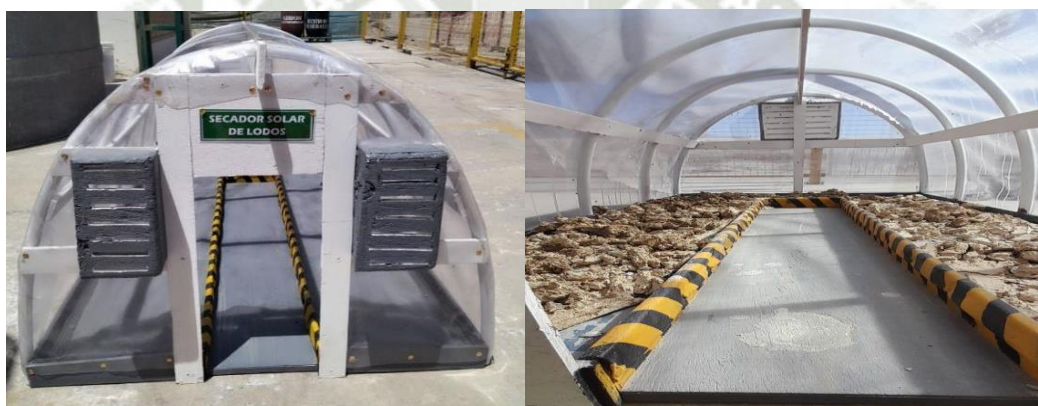
Anexo 12. Factores meteorológicos



Anexo 13. Fotografías

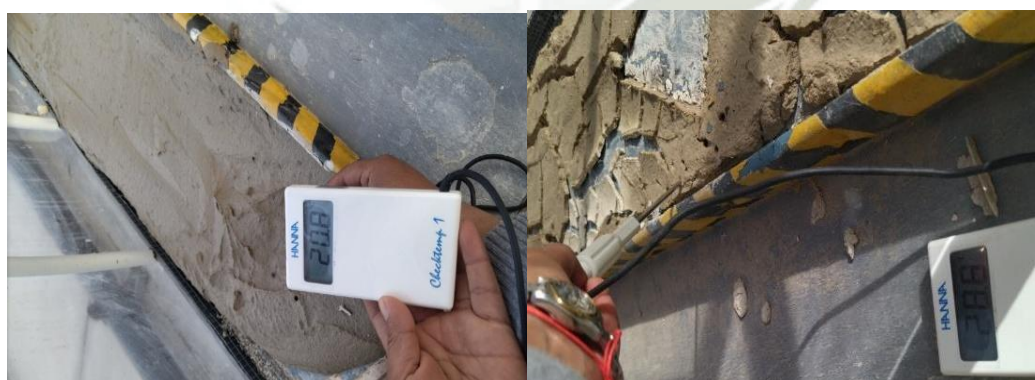


Obtención de lodo deshidratado



Construcción del desecador Solar

Estabilización y secado del lodo



Monitoreo de parámetros de control durante la estabilización y secado de lodos residuales.



Armado de pilas con tierra y aserrín



Armado de pila agregando lodo estabilizado triturado.



Armado de pila agregando restos orgánicos.



Mezcla de todas las capas



Compost maduro



Compost maduro tamizado