

**Universidad Católica de Santa María**

**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente**

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**



**“APROVECHAMIENTO DE BIOSOLIDOS PROVENIENTES DE UNA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN UNA UNIDAD  
OPERATIVA MINERA – 2018”**

**Tesis presentada por el Bachiller:**

*Huanqui Virrueta. Alonso Simon*

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

**Asesor: MSc. Arenazas Rodríguez, Armando Jacinto**

**Arequipa –Perú**

**2018**

**INFORME DICTAMEN BORRADOR DE TESIS**

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

"Aprovechamiento de Biosólidos provenientes de una Planta de Tratamiento de Agua Residual en una Unidad Operativa Minera - 2018 "

Presentado por el (los) Bachiller (es):

Alonso Simon Huangui Virrueta

Nuestro DICTAMEN es:

Favorable

OBSERVACIONES:

Arequipa

DICTAMINADOR

M.Sc. Bgo. Armando J. Arenas Rodríguez

DICTAMINADOR

M.Sc. Ing. Jashelyn M. Paredes Zavala

DICTAMINADOR

Ing. Besty Edinsson Corderos Pillco

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres Ana e Iván quienes fueron y son la razón de mis éxitos, a Dios, a mi hermano, a mis amigos, a mi asesor el MSc. Armando J. Arenazas Rodríguez, al Ing. Berly Cárdenas Pilco y la Ing. Joshelyn Paredes Zabala quienes siempre estuvieron prestos a ayudarme con mis dudas, a mis compañeros de trabajo y mi jefe el Ing. Walter Iván Armas Gómez quienes siempre me prestaron el apoyo necesario y los consejos para llevar adelante este trabajo.

No hay mejor sentimiento especial que cumplir con las expectativas que la gente pone sobre ti, la realización de este proyecto representa el cumplimiento de una meta y la apertura a muchas más que vendrán.

## INTRODUCCIÓN

La unidad operativa (U.O.) está ubicada a 4600 msnm en el departamento de Arequipa, provincia de Condesuyos, esta se dedica a la extracción de minerales metálicos en la forma de concentrado de plata. Asimismo, se encuentra en un área remota por lo cual cuenta con su propia planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTARD) la cual trabaja con la tecnología de lodos activados que comprende la degradación de la materia orgánica presente con la adición de oxígeno, dando como producto final agua tratada y como subproducto lodo residual. Este lodo al llegar a cierto nivel debe ser transferido a un digestor de lodos debido a que su exceso produciría un colapso en la PTARD, posteriormente es prensado mediante el uso de un equipo con el fin de reducir su humedad y finalmente es puesto en sacos de polipropileno cuyo destino final es el Almacén Temporal de Residuos Industriales (ATRI). En este ATRI los lodos son recogidos y tratados como residuos peligrosos por una EPS-RS (Empresa prestadora de servicios de residuos sólidos) generando gran costo para la compañía.

Al año 2017 como parte de la actualización en materia ambiental de la legislación peruana mediante el diario “El Peruano” se promulgo la RM-024-2017. “normativa para reaprovechamiento de biosólidos provenientes de plantas de tratamiento de agua residual”, la cual especifica los parámetros que deben cumplir los lodos residuales para poder entrar a un proceso de aprovechamiento y ser denominados “biosólidos”.

El presente trabajo buscara la aplicación de un tratamiento que permita adecuar los parámetros de los lodos para convertirse en biosólidos de clase “A”, realizar pruebas de eficiencia para revegetación con este y finalmente indicar si el aprovechamiento es viable y va de la mano con los beneficios esperados.

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en una unidad operativa minera del Perú, la cual posee una generación elevada de lodos residuales provenientes de su planta de tratamiento de agua residual doméstica (PTARD). Actualmente estos lodos son dispuestos como residuos peligrosos para evitar daños al ambiente, generando así grandes costos a la compañía; más tienen capacidad de ser aprovechados en forma de “biosólidos”, una vez que son tratados y cumplen los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos de la normativa R.M. 024-2017-VIVIENDA.

Para lograr este aprovechamiento se analizó el lodo residual, el cual no cumplió con la normativa excediendo los parámetros de *E.Coli* y sólidos volátiles. Por ello se aplicó un tratamiento térmico mediante el diseño y construcción de un horno de secado térmico con capacidad de tratamiento de 300 Kg Lodo/d. Posterior a ello se realizaron pruebas de tratamiento, determinándose que a temperaturas de 200°C por 1.5h, donde el biosólido obtenido cumplió los requerimientos de la normativa para ser considerado de clase “A”.

Finalmente se realizaron pruebas de eficiencia como suplemento para suelos mediante el uso de un Diseño Completamente Randomizado (DCR), y con la especie *Zea mays L.*, empleando: biosólido, compost y tierra de cultivo en diferentes concentraciones. Concluyéndose que en una concentración de B3 (25 % biosólido + 75 % Tierra de cultivo) el biosólido genera el mayor crecimiento tanto de raíz y tallo.

Además, se realizó el análisis costo/beneficio del proyecto de aprovechamiento planteado el cual comprobó la viabilidad de su aplicación.

**Palabras Claves:** plantas de tratamiento de agua residual, biosólido, lodo residual, secado térmico. *Zea mays L.*, normativa, costo/beneficio.

## ABSTRACT

The present work was realized on an operating mining unit in Perú that poses a great generation of wastewater sludge originated in their domestic wastewater treatment plant. Nowadays this sludge is disposed as a hazardous waste to avoid damages to the environment, causing great economical costs to the company; but is known that these wastewater sludges have the capability to be reused in the form of “biosolids” as soils fertilizers once they are treated and meet all the physicochemical and microbiological requirements of the normative R.M 024-2017-VIVIENDA.

To accomplish this exploitation the wastewater sludge got analyzed, exceeding the parameters of *E.Coli* and volatile solids. Due to this, a thermic treatment was applied by designing and constructing an thermal drying oven with a treatment capacity of 300 Kg Sludge/d. Treatment tests were carried to determine the best functionability conditions, which were temperatures of 200°C for 1.5h, obtaining a biosolid that accomplished the normative for “A” class

Finally, efficiency tests of the biosolid as soil fertilizer were carried using a Completely Randomized Design (CRD) with the specie *Zea mayz* L. employing: biosolid, compost and crop soil in different concentrations. Concluding that at a concentration of B3 (25% Biosolid+75% Crop soil) the biosolid generates the highest growth in root and stem

Additionally the cost/benefit analysis was carried on giving a positive result for economic viability of this project application.

**Keywords:** wastewater treatment plant, biosolid, wastewater sludge, thermic drying, *Zea mayz* L., normative, cost/benefit.

## INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS .....	i
INTRODUCCIÓN .....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT.....	iv
INDICE DE CONTENIDOS .....	v
INDICE DE TABLAS .....	ix
INDICE DE ANEXOS .....	xi
LISTA DE ABREVIACIONES.....	xii
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES .....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. ÁREA DE ESTUDIO Y/O ÁREA DE INTERVENCIÓN.....	3
1.3. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
1.3.1. ALCANCES .....	3
1.3.2. LIMITACIONES .....	3
1.4. INTERROGANTES BÁSICAS.....	4
1.5. OBJETIVOS.....	4
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.6. HIPÓTESIS.....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUAL.....	6
2.1.1. GENERALIDADES .....	6
2.1.2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA .....	7
2.1.3. TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA .....	7
2.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA U.O. ....	8
2.2.1. RESEÑA.....	8
2.2.2. METODOLOGÍA DE OPERACIÓN.....	9
2.2.3. MECANISMOS Y PROCESOS DE TRATAMIENTO.....	9
2.3. LODOS RESIDUALES DE PTARD.....	17
2.3.1. LODOS RESIDUALES GENERALIDADES .....	17
2.3.2. DIÁGNOSTICO, LODOS RESIDUALES EN LA U.O. ....	21

2.3.3.	GENERACIÓN EXCESIVA DE LODOS RESIDUALES.....	21
2.3.4.	DISPOSICIÓN DE LODOS COMO RESIDUOS PELIGROSOS .....	27
2.4.	TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LODO RESIDUAL.....	32
2.4.1.	LEGISLACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES DE PTARD .....	33
2.4.2.	COMPOSTAJE DE LODOS .....	41
2.4.3.	SECADO TÉRMICO DE LODOS RESIDUALES .....	43
2.4.4.	GASIFICACIÓN DE LODOS RESIDUALES .....	43
2.4.5.	ESTABILIZACIÓN ALCALINA DE LODOS RESIDUALES .....	45
2.4.6.	INCINERACIÓN DE LODOS RESIDUALES.....	46
2.5.	CONSTRUCCIÓN DE HORNOS A BASE DE LEÑA .....	47
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOLOGIA.....		51
3.1.	CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL LODO RESIDUAL.....	51
3.1.1.	ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA TRATAMIENTO .....	54
3.2.	CONSTRUCCIÓN DE HORNO PARA TRATAMIENTO.....	55
3.3.	EVALUACIÓN DE HORNO PARA TRATAMIENTO DE LODO .....	57
3.3.1.	CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE BIOSÓLIDO .....	61
3.4.	PRUEBAS DE EFECTIVIDAD PARA REVEGETACIÓN.....	61
3.5.	CÁLCULO DE COSTO BENEFICIO.....	63
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		64
4.1.	CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL LODO RESIDUAL.....	64
4.1.1.	ELECCIÓN DEL TRATAMIENTO ADECUADO.....	66
4.2.	CONSTRUCCIÓN DE HORNO PARA TRATAMIENTO.....	67
4.3.	EVALUACIÓN DE HORNO PARA TRATAMIENTO DE LODO .....	71
4.3.1.	CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DE MUESTRAS DE BIOSÓLIDO .....	73
4.4.	PRUEBAS DE EFECTIVIDAD PARA REVEGETACIÓN.....	74
4.4.1.	INSTANCIA I: RESULTADOS CUALITATIVOS. ....	74
4.4.2.	INSTANCIA II: RESULTADOS CUANTITATIVOS .....	77
4.5.	CALCULO DEL COSTO/BENEFICIO .....	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		91
BIBLIOGRAFÍA .....		94
ANEXOS .....		100

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Testigos provenientes de labores de perforación. ....	8
Figura 2: Cámara de rejas de la PTARD en la U.O. ....	10
Figura 3: Cámaras desarenadoras de la PTARD dentro de la U.O. ....	10
Figura 4: Tanque de recepción de agua residual de la PTARD dentro de la U.O. ....	11
Figura 5: Ecualizador de la PTARD dentro de la U.O. ....	11
Figura 6: Tamiz rotatorio del tanque ecualizador de la PTARD dentro de la U.O. ....	11
Figura 7: Reactores de la PTARD dentro de la U.O. ....	12
Figura 8: Interior de reactores biológicos de la PTARD dentro de la U.O. ....	13
Figura 9: Tanques sedimentadores de la PTARD dentro de la U.O. ....	13
Figura 10: Digestor de lodos de la PTARD dentro de la U.O. ....	14
Figura 11: Clarificador dentro de la PTARD en la U.O. ....	15
Figura 12: Tanques de desinfección de la PTARD en la U.O. ....	15
Figura 13: Tanque cónico de la PTARD dentro de la U.O. ....	16
Figura 14: Filtro prensa de 20 placas de la PTARD en la U.O. ....	16
Figura 15: Placas de lodo prensado de la PTARD en la U.O. ....	17
Figura 16: Canaletas y sus rejillas, comedores obreros en la U.O. ....	23
Figura 17: Trampa de grasas del en la U.O. sin limpieza. ....	25
Figura 18: Diseño de la nueva trampa de grasas de la PTARD. ....	25
Figura 19: Sólidos y grasa acumulados en la antigua trampa de grasas en la U.O. ....	26
Figura 20: Acta de evacuación de residuos peligrosos en la U.O. ....	31
Figura 21: Filtro prensa semiautomático de la PTARD Draco® FPSA 63-20. ....	32
Figura 22: Construcción del leñero de horno artesanal de barro. ....	48
Figura 23: Rejilla metálica utilizada para apilar la madera combustible del horno. ....	48
Figura 24: Tambor dentro del horno el cual se encargará de recibir la carga a secar. ....	49
Figura 25: Vista en planta del horno de barro modelo a seguir. ....	49
Figura 26: Vista en corte del modelo de horno de barro a seguir. ....	50
Figura 27: Directiva de remisión enviada por SGS del Perú ....	51
Figura 28: Medidas de la losa de concreto base para el horno de secado de lodos. ....	55
Figura 29: Vista de perfil del diseño del horno. ....	56
Figura 30: Diseño del tambor superior del horno. ....	56
Figura 31: Madera de eucalipto a utilizar para el calentamiento del horno. ....	59
Figura 32: Medición de temperatura interior del horno. ....	60
Figura 33: Muestras de lodo extraídas para posterior análisis en laboratorio. ....	60
Figura 34: Esquema de la distribución de macetas con los tratamientos. ....	62
Figura 35: Vista parte trasera del diseño de horno. ....	67
Figura 36: Vista parte frontal del diseño de horno. ....	68
Figura 37: Relleno sanitario, ubicación del lugar para construcción del horno. ....	69
Figura 38: Loza de concreto de 1.5m x 1.8m construida en el relleno sanitario de la U.O. ....	69
Figura 39: Construcción de estructura exterior de horno de deshidratación de lodos. ....	70
Figura 40: Proceso de construcción del horno para deshidratación de lodos. ....	70
Figura 41: Estado final del horno para tratamiento de lodos de la U.O. ....	71
Figura 42: Muestra N°5 de biosólido extraído post tratamiento. ....	72

Figura 43: Contenedores de muestra sembrados para el fin de verificar la eficiencia como suplementos para suelos.....74



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición habitual de lodos de PTARD.....	18
Tabla 2: Generación semanal de lodo en la PTARD obreros de la U.O.....	21
Tabla 3: Generación diaria de lodo en la U.O. ....	21
Tabla 4: Peso del lodo residual periodo 2017 generado en la PTARD de la U.O. ....	22
Tabla 5: Análisis del afluente de PTARD obreros.....	22
Tabla 6: Lodo evacuado como residuo peligroso en la U.O.....	28
Tabla 7: Días transcurrido entre evacuaciones de residuos peligrosos en la U.O. ....	29
Tabla 8: Concentraciones máximas, metales pesados en lodos de reaprovechamiento - EE.UU.....	35
Tabla 9: Límites máximos permisibles de metales pesados en biosólidos - México.....	37
Tabla 10: Concentraciones de patógenos para la clasificación de biosólidos - México.....	37
Tabla 11: Clasificación de Biosólidos en base al tipo y clase - México.....	37
Tabla 12: Límites de toxicidad química en biosólidos de clase A y clase B.....	39
Tabla 13: Concentraciones máximas para el parámetro de higienización de biosólidos.....	39
Tabla 14: Conformación de las pilas de compostaje utilizadas para el experimento .....	42
Tabla 15: Caracterización del biosólido compostado en Colombia.....	42
Tabla 16: Envase enviado y condiciones de preservación de cada muestra.....	52
Tabla 17: Parámetros y métodos de análisis del lodo residual .....	53
Tabla 18: Clasificación de tratamiento en base a indicadores escogidos. ....	54
Tabla 19: Formato para toma de datos sobre variables de funcionamiento del horno. ....	58
Tabla 20: Grupos elaborados para realizar las pruebas de eficiencia con biosólido. ....	61
Tabla 21: Estabilización del lodo residual respecto a la R.M. 024-2017-Vivienda .....	64
Tabla 22: Higienización del lodo residual respecto a la R.M. 024-2017-Vivienda.....	64
Tabla 23: Toxicidad química del lodo residual respecto a la R.M. 024-2017-Vivienda.....	65
Tabla 24: Análisis de factores para la elección de tecnología. ....	66
Tabla 25: Valores asignados a los tratamientos en base a los indicadores planteados. ....	66
Tabla 26: Resumen pruebas de tratamiento de lodo residual realizadas. ....	71
Tabla 27: Estabilización del biosólido respecto a la R.M. 024-2017-Vivienda .....	73
Tabla 28: Higienización del biosólido respecto a la R.M. 024-2017-Vivienda.....	73
Tabla 29: Resultados cualitativos en revegetación, 4 días.....	75
Tabla 30: Resultados cualitativos en revegetación, 16 días.....	76
Tabla 31: Resultados cualitativos en revegetación, 36 días.....	76
Tabla 32: Composición porcentual del CIC y los valores recomendados. ....	80
Tabla 33: Composición NPK del biosólido y compost y proporción recomendada.....	83
Tabla 34: Análisis de composición química de sustratos. ....	85
Tabla 35: Costos de las evacuaciones del periodo 2017 en la U.O. ....	87
Tabla 36: Variación de la frecuencia producto del aprovechamiento de biosólido. ....	88
Tabla 37: Ahorro proyectado a partir del aprovechamiento de biosólido de la PTARD.....	89

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Diagrama para la disposición final de lodos provenientes de PTARDs (Fuente: Maria Elena Perez Zuñiga, 2016) .....	19
Gráfico 2: SST ingresantes en el afluente que llega a la PTARD. (Fuente: Reporte semanal de la PTARD) .....	24
Gráfico 3: Variación del caudal en época de precipitación en la PTARD (Fuente: Reporte semanal de la PTARD) .....	27
Gráfico 4: Peso de los lodos residuales respecto al peso total de los residuos peligrosos generados en la U.O. (Fuente: elaboración propia) .....	28
Gráfico 5: Frecuencia de evacuaciones de residuos peligrosos en la U.O. (Fuente: elaboración propia) .....	29
Gráfico 6: Tratamientos aplicables a lodos residuales provenientes de PTAR con el fin de obtener biosólidos. (Fuente: elaboración propia).....	40
Gráfico 7: Concentración de gases obtenida mediante la manipulación del factor S/C. ....	44
Gráfico 8: Longitud de tallo alcanzada de Zea mays L. cultivada con biosólido. (Fuente: elaboración propia) .....	78
Gráfico 9: Longitud de raíz alcanzada de Zea mays L. cultivada con biosólido (Fuente: elaboración propia) .....	79
Gráfico 10: Longitud de raíz alcanzada de Zea mays L. entre C1-T1-B1 (Fuente: elaboración propia).....	81
Gráfico 11: Longitud de tallo alcanzada de Zea mays L. entre C1-T1-B1 (Fuente: elaboración propia).....	81
Gráfico 12: Longitud de raíz alcanzada de Zea mays L. entre C2-T2-B2 (Fuente: elaboración propia).....	82
Gráfico 13: Longitud de tallo alcanzada de Zea mays L. entre C2-T2-B2 (Fuente: elaboración propia).....	83
Gráfico 14: Longitud de raíz alcanzada de Zea mays L. entre C3-T3-B3 (Fuente: elaboración propia).....	84
Gráfico 15: Longitud de tallo de Zea mays L. entre C3-T3-B3 (Fuente: elaboración propia) .....	85
Gráfico 16: Costos de evacuaciones de residuos peligroso durante el periodo 2017 (Fuente: elaboración propia). .....	86
Gráfico 17: Costo de disposición de residuos peligrosos y lodos dentro de estos (Fuente: elaboración propia). .....	87
Gráfico 18: Frecuencia de evacuaciones actual y proyectada 2017-2018 (Fuente: elaboración propia).....	88

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Contaminación Por Aplicación De Lodo Residual En Suelos Ee. Uu.....	100
Anexo 2: Valorizacion De Servicios Economicos Prestados .....	101
Anexo 3: Análisis De Parámetros De Lodo Residual.....	102
Anexo 4: Análisis De Parámetros De Biosólido Obtenido.....	104
Anexo 5: Seguimiento Fotografico De Especies Cultivadas .....	105
Anexo 6: Resultado Obtenidos De Longitud De Tallo Y Raíz De Zea Mays L.....	108
Anexo 7: Análisis De Varianza De Longitud De Tallo Zea Mays L. Entre B3-B2-B1 .....	109
Anexo 8: Análisis De Varianza De Longitud De Raíz Zea Mays L. Entre B3-B2-B1.....	109
Anexo 9: Análisis De Varianza De Longitud De Raíz Zea Mays L. Entre C1-T1-B1 .....	109
Anexo 10: Análisis De Varianza De Longitud De Tallo Zea Mays L. Entre C1-T1-B1.....	109
Anexo 11: Análisis De Varianza De Longitud De Raíz Zea Mays L. Entre C2-T2-B2.....	109
Anexo 12: Análisis De Varianza De Longitud De Tallo Zea Mays L. Entre C2-T2-B2.....	109
Anexo 13: Análisis De Varianza De Longitud De Raíz Zea Mays L. Entre C3-T3-B3.....	109
Anexo 14: Análisis De Varianza De Longitud De Tallo Zea Mays L. Entre C3-T3-B3.....	109
Anexo 15: Analisis De Fertilidad De Biosólido Obtenido. ....	110
Anexo 16: Analisis De Fertilidad De Tierra De Cultivo. ....	111
Anexo 17: Analisis De Fertilidad De Compost Generado.....	112
Anexo 18: Costos De Elaboración De Horno Para Tratamiento De Lodos.....	113



## LISTA DE ABREVIACIONES

- PTARD:** Planta de tratamiento de agua residual doméstica
- U.O.:** Unidad operativa.
- PLAO:** Planta de tratamiento de agua obreros.
- DCR:** Diseño completamente Randomizado.
- KPI:** Key performance indicators.
- EPS-RS:** Empresa prestadora de servicios de residuos sólidos.
- PCI:** Poder calorífico inferior.
- PCS:** Poder calorífico superior.
- OEFA:** Organismo de evaluación y fiscalización ambiental.
- ATRI:** Almacén temporal de residuos industriales.
- ST:** Sólidos totales.
- SV:** Sólidos volátiles.
- E. Coli:** Escherichia Coli.
- LD:** Limite de detección.
- C:** Compost.
- MINAM:** Ministerio del Ambiente.
- EDAR:** Estación de depuración de aguas residuales.
- CIC:** Capacidad de intercambio catiónico.
- T:** Tierra cultivo.
- FOG:** Aceites y grasas.
- B:** Biosólido.

# CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La composición de las aguas generadas dentro de la unidad operativa (U.O.) debido a contar con: abundantes sólidos, grasas y detergentes; que sumado a caudales que superan la capacidad de tratamiento máximo, han llegado a generar el gran problema que se afronta en la actualidad el cual es: la excesiva generación de lodo residual cuyas características no permiten su aprovechamiento.

Al año 2017 se generan 18 sacos por jornada laboral diaria, conteniendo cada uno alrededor de 17kg de lodo, es decir una generación diaria de 300 Kg de lodo residual que es dispuesta al 100% en un furgón de residuos peligrosos. Esta gran cantidad de lodo generado y dispuesto de tal manera conlleva a lo siguiente: que el peso total de los residuos peligrosos a disponer aumenta, y que este furgón se llene de una manera muy rápida aumentando la frecuencia de evacuaciones y costos al área de medio ambiente debido a la disposición de residuos peligrosos. Adicional a esto si los lodos no son tratados de esta manera conllevan a problemas ambientales debido a la contaminación de suelos, así como problemas sociales debido a quejas de la población por presencia de malos olores y vectores de enfermedades.

### 1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

- Ambiental: la ley general del ambiente en el artículo I indica que toda persona tiene derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, los lodos residuales generados en PTARD que no son tratados antes de ser dispuestos en el suelo natural generan daños potenciales dependiendo de su composición (que en ciertos casos puede contener elevada cantidad de metales y otros compuestos). Inicialmente generaran intoxicación del suelo, pérdida de especies y finalmente desertificación en casos extremos. Por todo lo anterior descrito los lodos residuales deben ser tratados y evaluados antes de ser dispuestos en suelo natural, un

lodo residual convertido en biosólido podrá contribuir a la agricultura y cuidado del medio ambiente al sustituir a productos agroquímicos.

- **Social:** los lodos residuales generados en plantas de tratamiento de agua residual emanan fuertes olores, caso estos queden expuestos al medio ambiente sin ningún control se convierten en generadores de focos infecciosos para animales y personas que se encuentren cercanos a estos. En la unidad la PTARD se encuentra cercana a parte de los campamentos, por lo cual la incorrecta disposición de estos generara automáticamente quejas por parte de las personas hospedadas, asimismo el impacto visual que generan proyecta una mala imagen del área hacia visitas y gerencia.

La correcta disposición de lodos promoverá un ambiente adecuado para que el personal no registre molestias.

- **Económico:** actualmente los lodos residuales generados en la U.O. son dispuestos como material peligroso, se trabaja con una EPS-RS la cual realiza su facturación en base al peso de lo recolectado, el porcentaje total del peso que componen los lodos en la disposición de residuos peligrosos es de aproximadamente 50% del total.

Este alto porcentaje incurre en un aumento considerable de los gastos de la empresa en temas de disposición de residuos peligrosos, por lo cual la disminución de la cantidad actual aumentará el tiempo de vida útil del furgón, disminuirá el número de evacuaciones al año (13 en el periodo 2017) hasta probablemente 8 anualmente. Teniendo, así como resultado final el ahorro de costos, que componen parte de los objetivos gerenciales corporativos del área de medio ambiente y que podría ser redistribuido para ser utilizado en otras actividades como proyectos y mejoras a las instalaciones actuales.

- **Técnico - Científico:** la adecuación de lodos mediante utilización de tecnologías físicas, como en este caso el secado térmico mediante el uso de un horno, es una tecnología de

coste bajo, con antecedentes y que posee todos los recursos y facilidades para poder ser ejecutado dentro de la U.O. y replicado en otras unidades. Pruebas exitosas que brinden resultados positivos permitirán expandir esta metodología a las demás unidades de la compañía.

- Institucional: las entidades de comunidades locales serán beneficiadas, ya que se les podrá brindar este biosólido para ser utilizado como suplementos de suelos. Promoviendo así el cultivo para fines personales o con fines ornamentales para mejorar el aspecto del pueblo o sus viviendas; esto va a alineado con compromisos del plan de cierre de mina.

## **1.2. ÁREA DE ESTUDIO Y/O ÁREA DE INTERVENCIÓN**

Lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de agua residual doméstica de una unidad operativa minera - Arequipa

## **1.3. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **1.3.1. ALCANCES**

El alcance del estudio estará dado por el análisis microbiológico y físico-químico previo y posterior a tratamiento de los lodos residuales, así como finalmente la puesta a prueba del producto obtenido como suplemento para suelos durante 1 mes.

### **1.3.2. LIMITACIONES**

- Verificar y controlar las emisiones de humo del horno, así como posibles olores que se generaran los cuales podrían generar algunas quejas de la población.
- El clima que se presenta en la zona es bastante variable desde días muy soleados hasta nevadas de alta intensidad además de temperaturas extremadamente bajas por lo cual podrían afectar las pruebas de campo con el biosólido tratado.

- Tiempo predeterminado de entre 3 – 6 meses como máximo para llevar a cabo el proyecto ya que en ese tiempo culmina el convenio de prácticas actual.

#### **1.4. INTERROGANTES BÁSICAS**

- ¿Cuál será el tratamiento propuesto para mejorar la calidad de lodos?
- ¿Se cuenta con los recursos para llevar a cabo el proyecto?
- ¿Qué beneficios generara la implementación del proyecto?
- ¿El proyecto es económicamente viable?

#### **1.5. OBJETIVOS**

##### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

APROVECHAR EL BIÓSOLIDO PROVENIENTE DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA DE LA U.O.

##### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lodo residual en función a la normativa RM-024-2017 para así elegir el tratamiento a aplicar.
- Construir un horno para la obtención de biosólido a partir de lodo residual proveniente de la PTARD.
- Determinar los parámetros óptimos de funcionamiento del horno para la obtención de biosólido que cumpla con la R.M.024-2017-VIVIENDA.
- Evaluar el biosólido como suplemento del suelo para cultivo de especies vegetales.
- Realizar el análisis costo/beneficio del aprovechamiento de lodos.

## 1.6. HIPÓTESIS

Dado que mediante la aplicación de técnicas de tratamiento térmico se logra modificar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de lodos residuales provenientes de plantas de tratamiento de agua residual; es probable que mediante un postratamiento se puedan adecuar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos residuales provenientes de la Planta de tratamiento de agua residual de la U.O a la normativa, con el fin de obtener un biosólido aprovechable como suplemento del suelo para cultivos vegetales.



## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUAL

#### 2.1.1. GENERALIDADES

Una planta de tratamiento de aguas residuales es una instalación en la cual mediante operaciones y procesos unitarios aplicados al agua cruda o contaminada se consigue modificar las características físicas, químicas o bacteriológicas con el fin de cumplir normas y criterios de calidad de las diferentes industrias involucradas. (Néstor Juio Fraume, 2006)

Entre estos compuestos contaminantes que podemos encontrar:

- Metales: que son los más tóxicos respecto a la salud humana, en lo general se encuentran aquí metales de transición, así como elementos tales como plomo encontrado dentro de los denominados “metales pesados”. Muchos de estos compuestos tienen gran afinidad por el azufre en las enzimas del cuerpo humano evitando así sus funciones básicas. En esta categoría también se pueden encontrar los metaloides como el arsénico, selenio y antimonio. (Stanley E. Manahan, 2007)
- Especies inorgánicas: sustancias que carecen de átomos de carbono, en esta categoría podemos encontrar el cianuro, amoníaco y asbesto. Estas sustancias producen grandes impactos tales como el cianuro con su alta toxicidad en la muerte de especies, y el amoníaco que al adicionarse en exceso y encontrarse en el agua mayormente en su forma  $\text{NH}_4^+$  genera problemas en especies vegetales y degrada la calidad del agua. (Stanley E. Manahan, 2007)
- Especies orgánicas: sustancias con carbono e hidrogeno en su composición, en esta categoría podemos encontrar aceites, grasas, sólidos; particularmente las sustancias que demandan oxígeno. Entre los efectos sobre las aguas están: alteración niveles de oxígeno,

toxicidad contaminación visual, aumento de salinidad, causan enfermedades. (Stanley E. Manahan, 2007)

- Radicales: como son los cianuros que tienen efectos sobre la tiroides y sistema nervioso.

### **2.1.2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA**

Considérese como planta de tratamiento de agua residual doméstica a toda planta que trata únicamente agua proveniente de los desagües de uso doméstico, los cuales llevan aguas con compuestos provenientes de actividades como: aseo personal, limpieza de alimentos, agua proveniente de cocina y baños; por ende, estas aguas contienen nula o mínima cantidad de metales y abundantes especies orgánicas.

El efecto nocivo más obvio producido por esta agua residual proviene de la materia orgánica biodegradable en esta, la cual está ligada directamente a la demanda bioquímica del oxígeno disuelto (DBO). El tratamiento del agua residual se diseña para eliminar esta materia orgánica disminuyendo así la DBO, esto se logra aprovechando normalmente el mismo tipo de procesos biológicos de degradación de compuestos que ocurre naturalmente (Stanley E. Manahan, 2007). Este tipo de procesos biológicos naturales consiste básicamente en la acción de microorganismos los cuales degradan la materia orgánica hasta niveles de DBO aceptables, en las PTARD se acelera este proceso de degradación natural mediante la adición de aire con sopladores para así generar condiciones favorables para los microorganismos presentes.

### **2.1.3. TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA**

Los tipos de tratamiento presentes PTARD se agrupan en 3 grandes tipos:

- Tratamiento primario: en el cual se elimina un gran porcentaje de sólidos en suspensión y materia orgánica, ejemplo de esto pueden ser: tratamientos con cámaras de rejillas, desarenadores y filtros de carbón activado entre otros. (Fernando Kramer, 2003)

- Tratamiento secundario: en el cual se busca reducir el contenido de materia orgánica biodegradable acelerando los procesos de descomposición naturales mediante la adición de aire, generando así condiciones favorables de desarrollo a los microorganismos.
- Tratamiento terciario: aquel en el que se emplean métodos biológicos avanzados para la eliminación del nitrógeno o fósforo; así como métodos fisicoquímicos como la filtración granular, ósmosis inversa o carbón activado. (Pascual de Anda Cárdenas, 2005)

## 2.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA U.O.

### 2.2.1. RESEÑA

La PTARD de la U.O. es una planta de tratamiento de agua diseñada con una capacidad máxima de tratamiento de 4.5 l/s, que al año 2018 es ampliamente superada debido al aumento de la fuerza laboral, que va de la mano con aumento del consumo de agua para producción de alimentos, uso de baños y aseo, limpieza de vajilla.

La PTARD se encarga de tratar el agua proveniente de 2 afluentes de agua “no permanentes”:

- Sala de testigos: espacio en el cual son almacenados los “testigos” provenientes de las labores de perforación del área de exploraciones (Fig. N°1), estos denominados testigos son barras de roca que sirven para ver la composición mineral del área. El agua es utilizada para limpieza del polvo en estos, esta agua cargada con abundantes SST es derivada mediante un desagüe hacia la PTARD.



Figura 1: Testigos provenientes de labores de perforación.

- Relleno sanitario: en el cual se produce un líquido de color amarillento (Lixiviado), olor penetrante y propiedades fisicoquímicas de pH ácido y SST elevados debido a la descomposición gradual de la materia orgánica depositada. Este lixiviado es derivado a la PTARD donde recibe tratamiento para adecuar sus parámetros antes de ser vertido al ambiente.

Así como 2 afluentes de agua “permanentes”, que componen el 90% del caudal entrante:

- Campamentos obreros: campamentos que almacenan al personal obrero y de contratas, se poseen servicios higiénicos en cada complejo habitacional, así como redes de drenaje que derivan el agua a la PTARD. La cantidad de personas alojadas en estos campamentos es de aproximadamente 1200.
- Comedores obreros: comedor que brinda servicio de alimentación al personal del campamento obreros. Este genera gran cantidad de agua residual producto de limpieza de pisos y vajilla, descongelación, limpieza y preparación de alimentos.

### **2.2.2. METODOLOGÍA DE OPERACIÓN**

La planta es operada las 24h del día por 2 técnicos altamente calificados y 1 personal durante el turno día, este se encarga de realizar el prensado de lodos provenientes del digestor. Mientras que el operador se encarga de: operación de las bombas sumergibles, sopladores. Bombas dosificadoras y electrobombas, evacuación de lodos, toma de parámetros, limpieza de cámara de rejillas entre otros.

### **2.2.3. MECANISMOS Y PROCESOS DE TRATAMIENTO**

Las aguas residuales deben ser depuradas antes de ser devueltas a los sistemas hídricos locales, para ello atravesaran una serie de cámaras y procesos químicos. El agua residual que entra a la PTARD de la U.O. es tratada mediante los siguientes procesos/operaciones/instalaciones tanto de tipo primario, secundario y terciario.

- CÁMARA DE REJAS

El agua pasa por una cámara de rejillas (Fig. N°2) la cual consta de varillas metálicas colocadas en posición vertical a 2 cm una de otra, usualmente aquí es donde se produce la filtración del agua con el fin de separar materiales de gran tamaño como pueden ser botellas, rocas, trapos, etc. Los cuales pueden generar problemas en las bombas y obstrucción de tuberías.



Figura 2: Cámara de rejillas de la PTARD en la U.O.

- CÁMARAS DE DESARENADO

El agua pasa a través de 4 cámaras de desarenado (Fig. N°3) donde se busca disminuir mediante sedimentación la cantidad de arena fina que paso a través de la cámara de rejillas. Dentro de la U.O. no se adiciona ningún componente químico, mas es sabido que en otras plantas puede adicionar cloruro férrico aditivo para acelerar y mejorar el proceso.



Figura 3: Cámaras desarenadoras de la PTARD dentro de la U.O.

- TANQUE DE RECEPCIÓN

Luego de pasar por los procesos físicos para la separación de material sólido, el agua se dirige hacia un tanque de recepción (Fig. N°4) que almacena el agua, controla los flujos de entrada y apoya en mantener los tiempos de retención en los reactores biológicos.



**Figura 4:** Tanque de recepción de agua residual de la PTARD dentro de la U.O.

- **TANQUE ECUALIZADOR**

El tanque ecualizador (Fig. N°5) se ha diseñado para lograr homogenizar el agua de ingreso proveniente del tanque de recepción antes de ser transferida a los 4 reactores biológicos posteriores; este tanque también sirve como regulador de flujos. En el caso de la U.O. se ha implementado adicionalmente un tamiz rotatorio (Fig. N°6) para la disminución de los sólidos suspendidos totales (SST), el cual ayuda a evitar obstrucciones en tuberías y a mantener operativas las bombas sumergibles presentes.



**Figura 5:** Ecualizador de la PTARD dentro de la U.O.



**Figura 6:** Tamiz rotatorio del tanque ecualizador de la PTARD dentro de la U.O.

- REACTORES BIOLÓGICOS

Luego de pasar por el tanque ecualizador, el agua homogenizada pasa a 4 reactores (Fig. N°7) conectados en serie. En estos reactores se emplea la denominada tecnología de lodos activados, que se basa en la capacidad que tienen los microorganismos para metabolizar y convertir la materia orgánica en suspensión, y ya disuelta en tejido celular nuevo y diferentes gases (Julián Andrés Varila Quiroga & Fabio Eduardo Díaz López, 2008). Se debe contar con el rol primordial del oxígeno, el cual es adicionado mediante el uso de 2 sopladores ubicados en las bases de los tanques, esto debido a la baja solubilidad del oxígeno atmosférico en agua (que varía desde 14.6 mg/l a 0°C hasta 7 mg/l a 35°C ambos a presión atmosférica estándar) (Edmundo Rocha, 2008). El oxígeno adicionado genera condiciones favorables para el desarrollo de los microorganismos, los cuales generan el denominado lodo residual, que es el subproducto generado luego de la degradación de la materia orgánica presente.



**Figura 7: Reactores de la PTARD dentro de la U.O.**

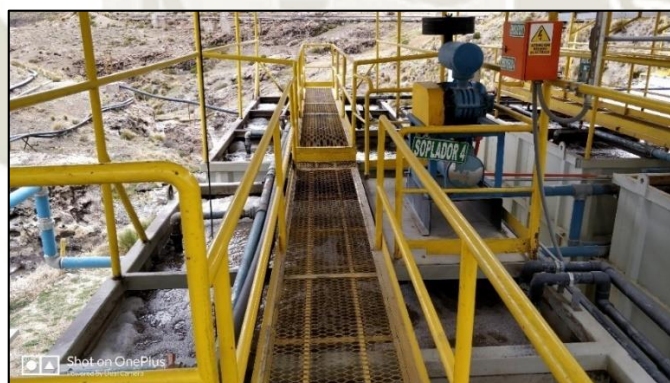
El aspecto del agua dentro de los reactores es de color marrón (Fig. N°8) debido a la presencia del lodo, la presencia de espumas se debe a la presencia de detergentes provenientes de la limpieza de comedores, que son fácilmente eliminables mediante el cambio de tipo de detergente usado.



**Figura 8: Interior de reactores biológicos de la PTARD dentro de la U.O.**

▪ TANQUES SEDIMENTADORES

En los tanques sedimentadores (Fig. N°9) los lodos activados son separados del licor mezclado proveniente de los reactores biológicos mediante gravedad, en la parte baja de los sedimentadores se acumula el lodo, quedando así únicamente el agua clara sobrenadante, la cual pasa al clarificador para continuar con el proceso.

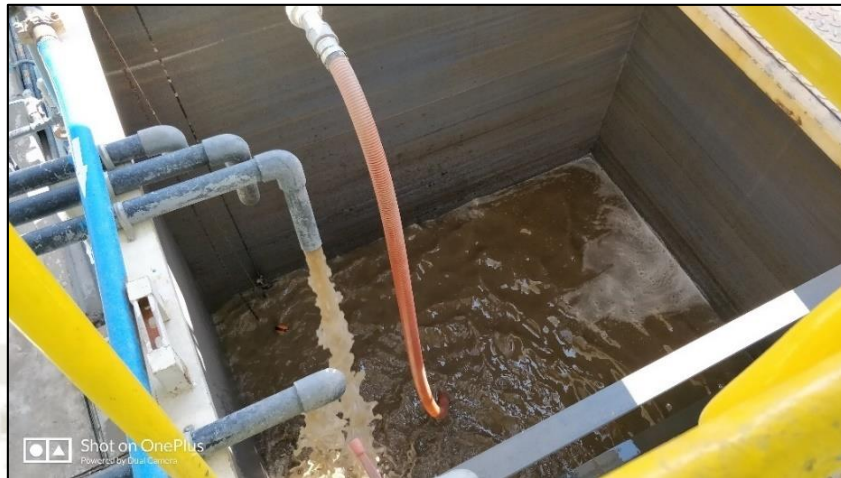


**Figura 9: Tanques sedimentadores de la PTARD dentro de la U.O.**

Respecto al lodo sedimentado este puede tomar las siguientes rutas:

- 1) Retorno hacia reactor biológico: una parte de los lodos sedimentados se recircula para mantener en el reactor la concentración de microorganismos deseados para un ratio adecuado de descomposición de materia orgánica. (Francisco Sánchez Mares, 2005)
- 2) Evacuación hacia digester de lodos: con la finalidad de mantener la concentración de los lodos activados en el licor mezclado a un determinado valor, una parte de los lodos son eliminados hacia un digester de lodos (Fig. N°10) y posteriormente a sistemas de lechos de

secado o espesadores con filtros mecánicos (filtros prensa, de cinta etc.) para finalmente generar un lodo residual semisólido que deberá ser dispuesto. (Francisco Sánchez Mares, 2005)



**Figura 10: Digestor de lodos de la PTARD dentro de la U.O.**

#### ▪ DIGESTOR DE LODOS

Dentro de la U.O. se maneja un digestor de lodos abierto (Fig. N°10), el cual posee una línea de aire en la base conectada a difusores de aire que se encargan de brindar el oxígeno necesario para el proceso de digestión aerobia. La digestión busca como resultado la destrucción de las células y una disminución de sólidos volátiles (SV), esto se logra debido a que el lodo dentro del digestor no recibe un ingreso constante de agua residual (que contiene la materia orgánica alimento), por lo cual al acabarse la materia orgánica presente, los microorganismos empiezan a comerse su propio protoplasma a fin de mantener sus funciones metabólicas. (Paola Mariel Morales Rojo, 2005)

#### ▪ CLARIFICADOR

Luego de pasar por los tanques sedimentadores, el agua clara ingresa a 1 tanque clarificador dentro del cual se genera la sedimentación de los pequeños flóculos formados que no lograron quedarse en el sedimentador. En este punto se evita el generar corrientes que levanten los sedimentos; por ello el agua ingresa por la parte superior izquierda aumentando el nivel y

generando un rebose el cual es colectado por un canal central (Fig. N°11) que dirige el agua clarificada al sistema de desinfección.



**Figura 11: Clarificador dentro de la PTARD en la U.O.**

- **TANQUES DE DESINFECCIÓN**

El agua que pasa por rebose desde el tanque clarificador es enviada a 3 tanques de 5000L de forma cilíndrica (Fig. N°12), en los cuales mediante 2 dosificadores eléctricos es adicionada una solución de hipoclorito de calcio al 40%. Debido a sus propiedades altamente oxidantes esta solución es la encargada de lograr la destrucción e inhibición de la gran mayoría de agentes patógenos (Stanley E. Manahan, 2007). Lográndose así un agua con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos dentro de los límites máximos permisibles (LMP).



**Figura 12: Tanques de desinfección de la PTARD en la U.O.**

- **TANQUE CÓNICO PARA LODOS Y FILTRO PRENSA**

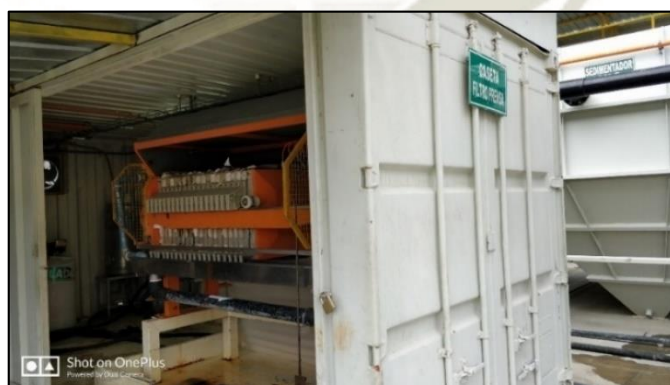
El lodo ya “digerido” es bombeado hacia un tanque cónico de 7.5 m<sup>3</sup> (Fig. N°13) cuya función es la de separar el lodo del agua (operación similar realizada al de los sedimentadores que se logra únicamente mediante gravedad), pasado un tiempo las condiciones de calma en el

tanque finalmente logran la separación del lodo y el agua. El agua clara se evacua hacia los tanques de sedimentación, mientras que el lodo ubicado en la parte inferior del tanque con humedad de 95% se envía hacia un filtro prensa para reducir la humedad presente.



**Figura 13: Tanque cónico de la PTARD dentro de la U.O**

El filtro prensa presente es uno neumático de 20 placas (Fig. N°14), este filtro prensa se encarga de retirar el agua en el lodo mediante el uso de presión contra telas especiales; de esta manera se logra aumentar la recuperación de agua y disminuir la humedad del lodo para facilitar su manipuleo y transporte.



**Figura 14: Filtro prensa de 20 placas de la PTARD en la U.O.**

La cantidad de lodo prensado se mide en “bach” por día, 1 bach equivale a un tanque cónico lleno en su totalidad, es decir 7.5m<sup>3</sup>. El lodo prensado termina con un contenido final de aproximadamente 70 - 75% de humedad, el cual es raspado de las placas (Fig. N°15), puesto

en carretillas, ensacado en saquillos de lona y acopiado en un punto para su recojo el día posterior.



Figura 15: Placas de lodo prensado de la PTARD en la U.O

## 2.3. LODOS RESIDUALES DE PTARD

### 2.3.1. LODOS RESIDUALES GENERALIDADES

El tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados se desarrolló por primera vez en Inglaterra en el año 1914 y actualmente es el método estándar de tratamiento de aguas residuales en los países desarrollados. Tiene como objetivo la remoción de materia orgánica en términos de DQO de las aguas residuales, generando dentro de sus procesos un subproducto denominado lodo residual. (R. A. Gizatulin, V. V. Senkus, & A. V. Valueva, 2016)

Según la R.M. 024-2017-VIVIENDA se denomina lodo a aquellos residuos sólidos provenientes de procesos de tratamiento de aguas residuales que poseen alto contenido de materia orgánica y que poseen capacidad para ser transformados en biosólidos; otra definición también válida es la de sólidos con un contenido variable de humedad provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal de las plantas potables o residuales, que no han sido estabilizados (Maria Elena Perez Zuñiga, 2016). Los lodos residuales pueden clasificarse en 3 tipos:

- Lodos primarios: producido durante los procesos de tratamiento primario de las aguas residuales, consiste en productos no disueltos de las aguas residuales entre estos está el lodo en el fondo de tanque primario sedimentación. El lodo primario contiene generalmente una gran cantidad de material orgánica, vegetales, frutas, papel, etc. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje en agua que varía entre 93 % y 97 %. (Juan Gualberto Limón Macías, 2013)
- Lodo secundario: lodos provenientes de lechos percoladores, biofiltros, lodos activados y lodos de laguna. (Juan Gualberto Limón Macías, 2013)
- Lodo terciario: provenientes de procesos de tratamiento posteriores como digestión o los obtenidos posterior a la adición de agentes floculantes. (Juan Gualberto Limón Macías, 2013)

Todos estos lodos, al haber estado en contacto con sustancias/material contaminante (metales pesados, pesticidas, detergentes, lixiviado, etc) deben someterse a análisis para su determinar su composición (Tabla N°1).

**Tabla 1: Composición habitual de lodos de PTARD**

CARACTERISTICAS	CONCENTRACION (g/Kg)
Ph	7.1 - 8.2
Densidad (Kg/L)	1.26 - 2.56
Materia Orgánica (Kg/L)	418 - 592
Poder calorifico superior (MJ/kg)	11.3 - 14.2
Carbono orgánico	205 - 403
Oxígeno	185 - 219
Nitrogeno	45 - 49
Hidrogeno	40 - 46
Hierro	24 - 38
Fosforo	22 - 30
Calcio	21 - 29
Aluminio	16 - 22
Magnesio	3.2 - 4.8
Bario	2.8 - 4.2
Zinc	2.4 - 3.6
Silicio	2.2 - 2.7
Potasio	1.2 - 1.6
Cobre	0.7 - 1.2
Cromo	0.5 - 0.9
Niquell	0.3 - 0.5
Manganeso	0.1 - 0.2
Plomo	0.1 - 0.3
Sodio	0.1 - 0.2
Estaño	0.1 - 0.2

Fuente: Sludge production from municipal wastewater treatment in sewage treatment plant (Ayhan Demirbas, Gaber Edris, & Walid M. Alalayah, 2017)

Estos análisis que permiten precisar si deberá ser considerado como un residuo peligroso o como un residuo no peligroso (NOM052-ECOL-1993). El gráfico N°1 presenta el esquema de categorización del lodo residual.

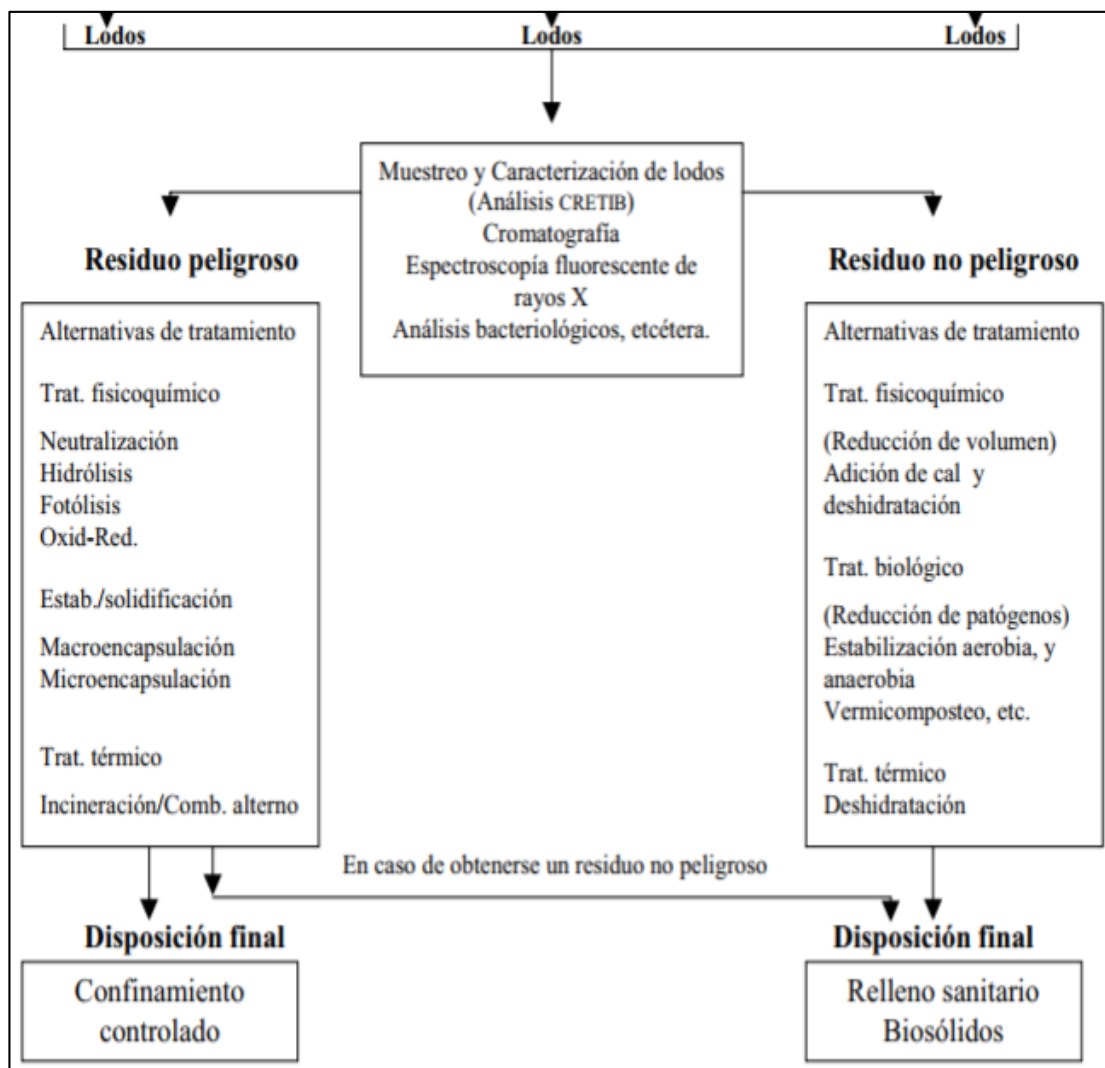


Gráfico 1: Diagrama para la disposición final de lodos provenientes de PTARDs (Fuente: Maria Elena Perez Zuñiga, 2016)

Si la categoría determinada es la de residuo peligroso se deberán plantear las alternativas y metodología para el manejo y disposición final del mismo en espacios de confinamiento controlados; caso la categoría sea la de residuo no peligroso se podrá disponer en rellenos sanitarios o aprovecharlo como biosólidos.

Si los lodos peligrosos son dispuestos en cuerpos de agua o tiraderos a cielo abierto sin ningún tratamiento, se generarán efectos sobre el suelo, agua subterránea además de la atracción de

vectores (insectos, ratas, carroñeros, etc.), generando problemas de contaminación de los mantos freáticos, fertilidad de suelos y de salud pública. (Norma Oropeza García, 2006). Los efectos negativos generados sobre el ambiente por una mala disposición se dan por:

- SSV (Sólidos suspendidos volátiles) y SST (Solidos suspendidos totales): los sólidos pueden dar lugar a depósitos de fango y generación de condiciones anaeróbicas en un medio acuático. Una cantidad excesiva de materia en suspensión puede colmatar el suelo.
- Sustancias orgánicas y biodegradables: estos compuestos con parámetros elevados de DQO y DBO5 están compuestos principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Una vez vertidas en el ambiente su descomposición biológica puede dar agotamiento al oxígeno disuelto en las aguas receptoras y finalmente a la aparición de condiciones anóxicas que inhiben y hasta eliminan toda forma de vida acuática. (Paola Mariel Morales Rojo, 2005)
- Microorganismos patógenos: como coliformes totales y coliformes fecales, estos microorganismos causan enfermedades gastrointestinales a animales y pueden biomagnificarse a través del consumo de plantas o animales de consumo.
- Metales pesados: los metales denominados “pesados” tales como el plomo generan efectos tóxicos graves tales como anemia, plutonismo, envenenamiento, entre otros. Además, tienen la capacidad de generar bioacumulación en los organismos y biomagnificación que consiste en la transferencia de sustancias mediante la cadena trófica afectando a diferentes niveles de está llegando incluso hasta el ser humano.

A fin de exponer los efectos de aplicar lodos residuales que no han recibido ninguna clase de tratamiento como suplementos para suelos, en el Anexo N°1 se encontrara un caso real ocurrido en EE. UU. donde un granjero y sus vacas resultaron enfermos por uso de biosólido en un campo de cultivo.

### 2.3.2. DIAGNOSTICO, LODOS RESIDUALES EN LA U.O.

Los lodos residuales producidos por la PTARD generan una situación problemática causada por 2 directrices:

- La excesiva generación en la forma de toneladas mensuales.
- La gran cantidad dispuesta como residuos peligrosos, el 100% del lodo generado es dispuesto como residuo peligroso debido a que no existen análisis de estos, ni tratamiento alguno implementado en la actualidad que permita aprovecharlos.

### 2.3.3. GENERACIÓN EXCESIVA DE LODOS RESIDUALES.

En promedio se generan 125 sacos de lodo por semana con un peso promedio de 17 Kg cada uno, lo cual se traduce en una generación semanal de 2125 Kg (Tabla N°2)

**Tabla 2: Generación semanal de lodo en la PTARD obreros de la U.O.**

	<b>LODO CRUDO DIGESTOR (m3)</b>	<b>AGUA RECUPERADA (m3)</b>	<b>SACOS DE LODO PRENSADO (UND)</b>	<b>CANT. LODO PRENSADO (m3)</b>
Semana 1	70	68.02	117	1.98
Semana 2	77	74.48	124	2.32
Semana 3	65	63.02	129	1.91
Semana 4	90	86.76	131	2.44
<b>PROMEDIO SEMANAL</b>	<b>75.50</b>	<b>73.07</b>	<b>125.25</b>	<b>2.16</b>

Fuente: reporte semanal del técnico de la PTARD.

Los datos mencionados en la tabla N°3, permiten la presentación de los datos diarios de generación en la tabla N°3.

**Tabla 3: Generación diaria de lodo en la U.O.**

Promedio diario de lodo prensado (m3)	0.31
Promedio diario de sacos (sacos)	17.89
Lodo contenido por saco (m3)	0.017
Peso de lodo por saco (kg)	17.00
Peso diario de lodo (kg)	304.13

Fuente: elaboración propia

Esta cantidad generada es excesiva para una planta de las dimensiones y capacidad de tratamiento máxima (3.5-4 L/s). El peso total del lodo generado para el periodo 2017 se presenta en la tabla N°4.

**Tabla 4: Peso del lodo residual periodo 2017 generado en la PTARD de la U.O.**

Nº DE EVACUACIÓN	FECHA	PESO DEL LODOS GENERADO (Tn)
1	22/01/2017	13.75
2	21/02/2017	13.75
3	20/03/2017	8.00
4	16/04/2017	11.85
5	29/05/2017	10.80
6	24/06/2017	5.86
7	16/07/2017	11.20
8	11/08/2017	11.20
9	02/09/2017	8.10
10	19/09/2017	9.81
11	12/10/2017	9.81
12	03/11/2017	10.22
13	28/11/2017	7.44
<b>TOTAL</b>		<b>131.79</b>

Fuente: elaboración propia

Se generan 131.79 Tn al año que es una cantidad excesiva, por lo cual se han logrado identificar 3 parámetros en los análisis del afluente (Tabla N°5) que tienen gran influencia en la generación lodos de mala calidad, que no sedimentan con facilidad y que deben ser evacuados, prensados y dispuestos constantemente para mantener condiciones de operación óptima en la PTARD.

**Tabla 5: Análisis del afluente de PTARD obreros.**

<b>IDENTIFICACION DE LA MUESTRA</b>		E-PLAO
<b>FECHA DE MUESTREO</b>		6/07/2017
<b>HORA DE MUESTREO</b>		11:40:00
<b>CATEGORÍA</b>		AGUA RESIDUAL
<b>SUBCATEGORÍA</b>		AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS</b>		
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	273
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	32
Aceites y Grasas	mg/L	21.5
S.A.A.M (Detergente)	mg/L	2.44

Fuente: Informe de resultados SGS del Perú S.A.

### a) SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

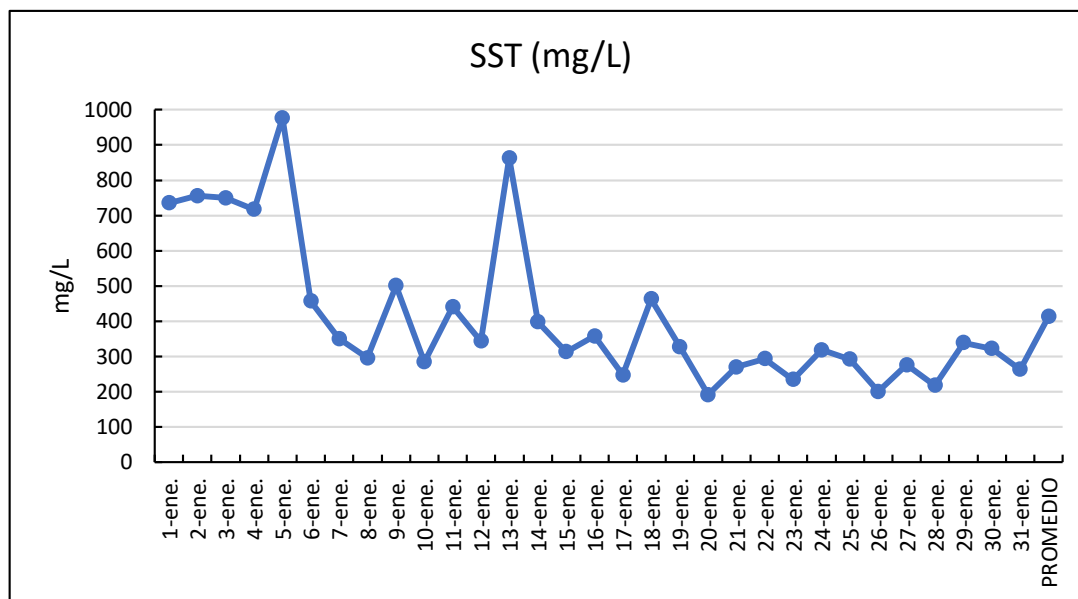
En base a las características del afluente y basados en la afirmación de que la producción primaria de lodos está relacionada a la cantidad total de sólidos suspendidos totales en aguas residuales domésticas (Tchobanoglous et al., 2003), se puede observar que la cantidad de sólidos suspendidos totales de 273 mg/L es excesivamente elevada para el número de personas a las que atiende la planta. Este problema es suscitado en su mayor parte por el agua proveniente de cocina que al caer en las canaletas (Fig. N°16) arrastra consigo restos de arroz, polvo del suelo y alimentos, esta agua cargada entra a la PTARD que a pesar de contar con una cámara de rejas y un tamiz rotatorio (que logran reducir la cantidad de SST) no mitigan en su totalidad el gran ingreso de estos. Además de esto en el área de ingreso a la PTARD posee una cámara de rejas que no está completamente sellada, lo cual permite el ingreso parcial de SST sin ser atrapados.



**Figura 16:** Canaletas y sus rejillas, comedores obreros en la U.O.

Los sólidos son monitoreados al ingreso de la PTARD por el operador de la planta y entregados en un informe semanal, que se ha llegado a tratar agua hasta con cantidades de 1000 mg/L SST (gráfico N°2) para una población de 1400 personas. Una cantidad extremadamente elevada en comparación a una planta de tratamiento de agua residual en una ciudad de Colombia, cuyo efluente contiene alrededor de 231 mg/L SST atendiendo una

población de 202 212 habitantes, es decir, más de 100 veces la población en la U.O y con afluentes con menor cantidad de SST.



**Gráfico 2: SST ingresantes en el afluente que llega a la PTARD. (Fuente: Reporte semanal de la PTARD)**

En la actualidad a fin de disminuir sólidos suspendidos totales se ha trabajado tanto en la fuente (Comedores/Cocina) como en el punto de ingreso a la PTARD. Para la fuente que representa el comedor se realizan inspecciones constantes con el fin de ver las condiciones de trabajo, sensibilizar al personal sobre las correctas metodologías de limpieza y verificar el estado de las rejillas de retención; para el punto de ingreso se mejoró la cámara de rejillas sellando los espacios que generaban fugas.

#### **b) ACEITES Y GRASAS (FOG)**

Presencia de abundantes aceites y grasas de alimentos (FOG) pueden ser observadas en la PTARD, producto de esto se prolifera la presencia de Nocardia tipo 1863 y Microthrix Parvicella conocida también como “bacteria espuma”. Ambas bacterias filamentosas van asociadas al esponjamiento de los lodos conocido como bulking y la formación de espumas o foaming. (Javier E. Sanchez Ramirez, Alberto Bouzas, M. Francisca Garcia Usach, Luis Borrás, & Aurora Seco, 2014).

El esponjamiento (bulking) y la generación de espumas (foaming) de los lodos van asociados al tema de mala sedimentación en los sedimentadores, lo cual genera el requerimiento de evacuación hacia el digestor y prensado constantemente. Por ello es que la necesidad de una trampa de grasas es obligatoria en muchos lugares como comedores y talleres mecánicos como medida para controlar los FOG. Las trampas de grasa funcionan bajo el principio de la densidad donde el agua con densidad de  $1000 \text{ kg/m}^3$  queda debajo del aceite con densidad de  $917 \text{ kg/m}^3$ , poniéndose una salida en la parte baja donde el agua clara se acumula.

La actual trampa de grasas a salida del comedor por su antigüedad ha empezado a colapsar estructuralmente generando atascos, turbulencia y filtración de grasa al interior que finalmente repercute negativamente en el funcionamiento de la PTARD. Asimismo, las trampas de grasas requieren de limpieza, ya que la grasa almacenada (Fig. N°17) por las bajas temperaturas se convierte en manteca que sedimenta y pasa hacia la PTARD.



Figura 17: Trampa de grasas del en la U.O. sin limpieza.

Como mejora para disminuir la cantidad de grasa presente en el afluente, se realizó la construcción de una nueva trampa de grasas (Fig. N°18).

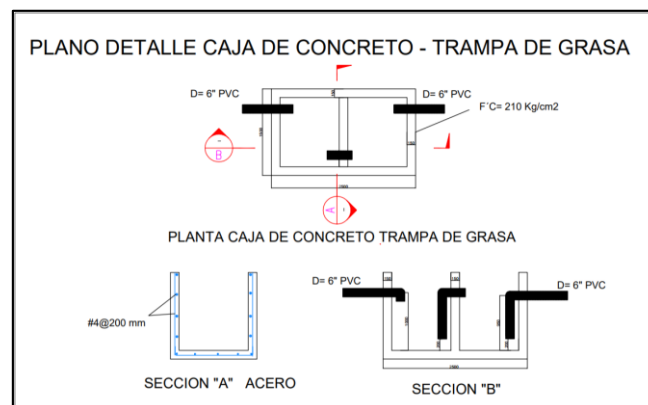


Figura 18: Diseño de la nueva trampa de grasas de la PTARD.

Las mejoras respecto a la anterior trampa de grasas son: la altura a la que se encuentran las salidas, y el tamaño de los compartimientos que le permiten actuar como un sedimentador que logra reducir la cantidad de SST como arcoses, cascaras y tierra (Fig. N°19).



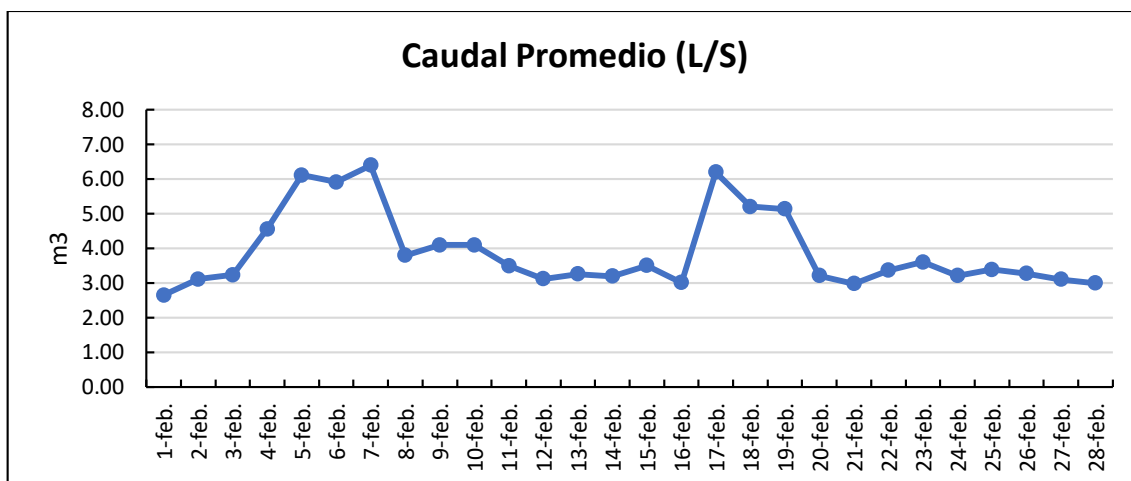
**Figura 19: Sólidos y grasa acumulados en la antigua trampa de grasas en la U.O.**

La nueva trampa está proyectada para disminuir el parámetro de grasas y aceites desde el valor de 21.5 mg/L hasta un valor de 10 mg/L. en promedio. Asimismo, se inició un fuerte programa de inspecciones para verificar la limpieza de la trampa.

### c) CAUDAL INGRESANTE

La PTARD obreros de la U.O. tiene una capacidad máxima de tratamiento de 4.5 L/s, más actualmente trata caudales de hasta 6.40 L/s (Gráfico N°3) en época de precipitaciones. Esto debido al agua que entra por escorrentía, mediante buzones y tuberías que se encuentran agrietadas. A esto se suman fugas de agua en inodoros, grifos y duchas que generan un exceso de caudal de agua potable, la cual es un agua limpia que no contiene mucha materia orgánica (M.O.).

El efecto de este exceso de caudal produce la dilución de la carga orgánica y arrastre de abundantes SST en forma de tierra afectando el desarrollo normal de lodos y generando un desequilibrio del sistema que hace necesaria la evacuación y prensado de lodos de manera constante.



**Gráfico 3: Variación del caudal en época de precipitación en la PTARD (Fuente: Reporte semanal de la PTARD)**

Para tratar el tema del exceso de caudal que llega a la planta se ha procedido a iniciar la racionalización del servicio de agua, esta medida busca:

- Disminuir la dilución del agua con alto contenido orgánico.
- Reducir el volumen total de agua tratado por la planta.
- Contribuir al cumplimiento de las metas de los “Indicadores clave de desempeño” (KPI) del área de medio ambiente respecto al consumo de agua per cápita..

La medida se tomó en conjunto con el área de recursos humanos, para evitar así afectar negativamente el aseo de los trabajadores. La comunicación de esta medida se dio utilizando un banner y mediante correo indicando los horarios de corte y la razón explicada, gracias a esta medida se logró reducir el volumen del agua tratado por la PTARD desde 20000 m3 mensuales hasta 15000 m3 mensuales y estabilizando los caudales de entrada entre los rangos de 3.5–4.5L/s.

#### **2.3.4. DISPOSICIÓN DE LODOS COMO RESIDUOS PELIGROSOS**

En la actualidad el 100% de los lodos residuales de la PTARD son dispuestos como residuos peligrosos, esto debido a no contar con análisis de su composición. Una EPS-RS (Empresa prestadora de servicios de residuos sólidos) es la encargada de darles disposición final en un relleno de seguridad ubicado en Lima. Entregando como sustento legal un manifiesto,

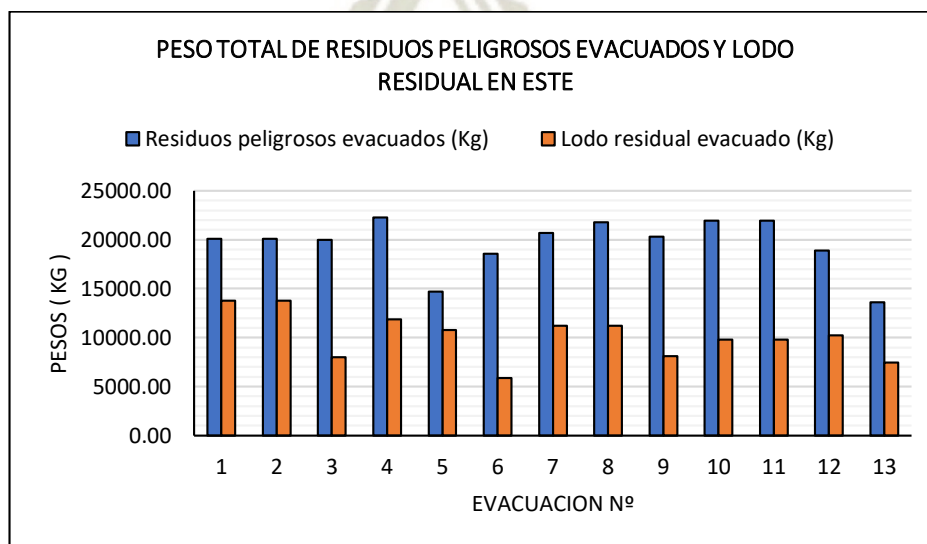
especificando: la descripción del material dispuesto, la cantidad, el costo unitario y total, bases legales y el procedimiento empleado para su disposición final. Desde el 1 de enero a diciembre 7 de 2017 se han tenido 13 evacuaciones de residuos peligrosos (Tabla N°6), más del 50% del peso total de material evacuado está compuesto por peso de los lodos residuales.

**Tabla 6: Lodo evacuado como residuo peligroso en la U.O.**

Nº DE EVACUACIÓN	FECHA	PESO DE MATERIAL EVACUADO (Tn)	PESO DEL LODO EVACUADO(Tn)
1	22/01/2017	20.10	13.75
2	21/02/2017	20.10	13.75
3	20/03/2017	20.00	8.00
4	16/04/2017	22.29	11.85
5	29/05/2017	14.69	10.80
6	24/06/2017	18.55	5.86
7	16/07/2017	20.70	11.20
8	11/08/2017	21.80	11.20
9	02/09/2017	20.30	8.10
10	19/09/2017	21.94	9.81
11	12/10/2017	21.94	9.81
12	03/11/2017	18.90	10.22
13	28/11/2017	13.62	7.44
<b>TOTAL</b>		<b>254.93</b>	<b>131.79</b>

Fuente: elaboración propia.

Anualmente 131.79 Tn de lodo residual son evacuados como material peligroso, el gráfico N°4 permite observar la relación en la tabla N°6, que demuestra la gran carga que generan los lodos residuales respecto al total del peso de los residuos peligrosos evacuados.



**Gráfico 4: Peso de los lodos residuales respecto al peso total de los residuos peligrosos generados en la U.O. (Fuente: elaboración propia)**

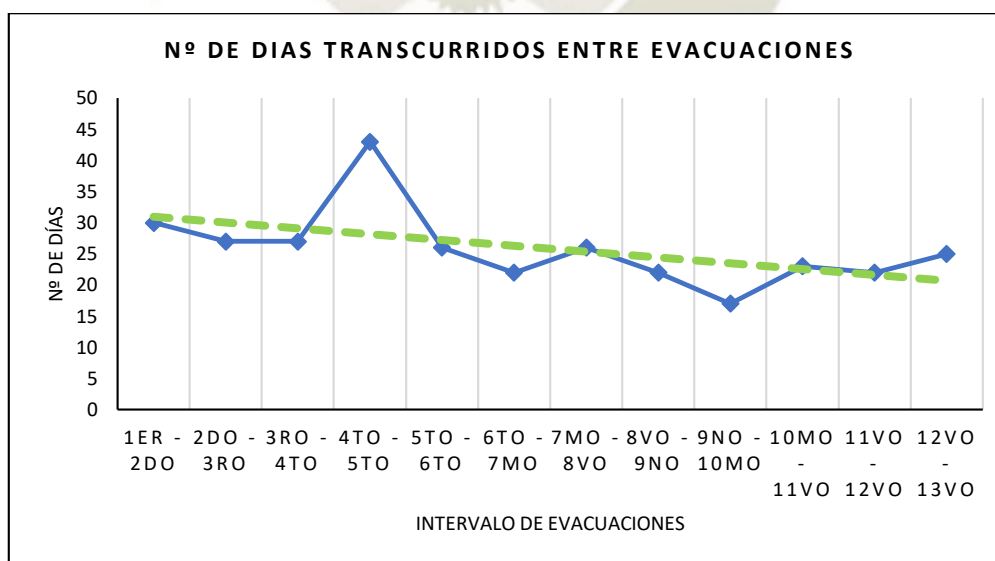
Estas 131.79 Tn de lodo residual son evacuados a lo largo de 1 año mediante el uso de un furgón de residuos peligrosos, para el periodo 2017 las 13 evacuaciones se realizaron con distintas frecuencias transcurridas entre una y otra (Tabla N°7).

**Tabla 7: Días transcurrido entre evacuaciones de residuos peligrosos en la U.O.**

INTERVALO N°s DE EVACUACIÓN	N° DE DIAS TRANSCURRIDOS ( FRECUENCIA)
1ER - 2DO	30
2DO - 3RO	27
3RO - 4TO	27
4TO - 5TO	43
5TO - 6TO	26
6TO - 7MO	22
7MO - 8VO	26
8VO - 9NO	22
9NO - 10MO	17
10MO - 11VO	23
11VO - 12VO	22
12VO - 13VO	25
<b>PROMEDIO</b>	<b>25.91</b>

Fuente: elaboración propia.

Se puede apreciar que la frecuencia de evacuaciones ha ido desde un mínimo de 17 días hasta un máximo de 43 días, dándonos un promedio de 26 días (Gráfico N°5). Esta frecuencia promedio ha llevado a realizar 13 evacuaciones en el año 2017.



**Gráfico 5: Frecuencia de evacuaciones de residuos peligrosos en la U.O. (Fuente: elaboración propia)**

Se logra observar la tendencia a la reducción de la frecuencia de evacuación de residuos peligrosos debido a las mejoras realizadas (Caudal, FOG, SST).

En la actualidad se puede afirmar que se ha llegado a un punto de estancamiento en lo que respecta a la cantidad generada, por lo cual se debe actuar directamente sobre la cantidad DISPUESTA como residuo peligroso.

Esta cantidad dispuesta de tal manera representa una oportunidad perdida, ya que existe la posibilidad de reutilizar estos lodos para su aplicación en suelos agrícolas y forestales debido a su alto contenido de nutrientes como nitrógeno, fosforo y materia orgánica. (Eduardo Campos Medina, Norma García Rojas, Alma Velásquez Rodríguez, & Magdalena Fabilla García, 2009), disminuyendo así los costos de evacuación de residuos peligrosos al generar un aprovechamiento.

### **¿CÓMO SE REALIZA EL PROCESO DE EVACUACION Y FACTURACION DE RESIDUOS PELIGROSOS?**

- Un furgón vacío parte de Arequipa y es pesado al llegar a la unidad.
- El furgón vacío se deja en el ATRI y se engancha el furgón lleno para ser pesado.
- Se genera un acta de evacuación de residuos (Fig. N°20) con los pesos aproximados de los materiales en el furgón, estos pesos por material son brindados por el operador del almacén temporal de residuos industriales (ATRI).
- El acta es firmada por el área de costos para verificar que el área posea fondos suficientes en su presupuesto para el pago. Finalmente, la evacuación es aprobada por la gerencia de la unidad minera (GUM).
- Al cabo de 1 semana, el área administrativa de la EPS-RS envía su valorización vía correo al área de medio ambiente el cual se encarga de confirmar los pesos y costos para finalmente proceder a dar el visto y liberar el pago.
- Al cabo de 2 semanas es enviado el reporte físico de la metodología utilizada y el acta de recepción de los residuos por parte del relleno pertinente.

**ACTA DE RESIDUOS PELIGROSOS**

**FECHA:** 28-11-17  
**PROVEEDOR:** INVERSIONES MERMA SAC  
**RUC:** 20454552971  
**VEHICULO:** SEMITRAILER FURGON  
**PLACA:** V3V-749/ V5Z-990  
**CHOFER:** ROBERTO HUILLCA CHINO  
**LICENCIA:** H46513209

**PESO TOTAL: 13.62 toneladas**

	TIPO DE RESIDUO	CANTIDAD	PESO KG
1	TRAPOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS	42 <del>bidones</del> bultos	4410
2	RESIDUOS CONTAMINADOS CON MINERAL	33 <del>bidones</del> bultos	2838
3	EPS USADOS	80 sacos	1680
4	LATAS DE PINTURA	48 unidades	24
5	FILTROS DE AIRE USADOS	30 unidades	72
6	BALDES Y BIDONES CONTAMINADOS	38 unidades	196
7	RESIDUOS ELECTRICOS	15 unidades	375
8	MANGUERA HIDRAULICAS USADAS	40 unidades	250
9	ACEITE DOMESTICO	40 baldes	1000
10	LODOS SANITARIOS	18 cilindros	1800
11	MANGAS DE VENTILACIÓN	15 unidades	525
12	SACOS DE TIERRA CONTAMINADA	15 sacos	450
	TOTAL		13620

..... Contabilidad Jackeline Herrera	..... Medio Ambiente César Adrianzén	..... Almacén General Christian Aranibar
..... Seguridad Civil Guillermo Gonzales	..... Gerencia UO Arcata Ing. Tito Hinojosa	

**Figura 20: Acta de evacuación de residuos peligrosos en la U.O.**

El pago se genera en base peso total recogido, por lo tanto, a mayor peso recogido mayor será la facturación; de esta manera existiendo una relación directamente proporcional entre el peso y el costo, el acta de valorización es la encargada de dar testimonio de los pesos y costos de la EPS-RS (Anexo 2).

Esta acta de valorización está basada en un parte por:

- Costos variables: compuestos por el peso de los residuos peligrosos (400 soles/tn) + residuos hospitalarios (600 soles hasta 0.5tn) recolectados.
- Costos fijos: compuestos por el flete + camioneta escolta (10000 soles).

Siendo la única manera de reducir los costos, la reducción del tonelaje entregado como residuo peligroso mediante la disminución de los lodos residuales dispuestos como tales.

## 2.4. TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LODO RESIDUAL

El lodo residual previo a ser aprovechado debe ser pasar por algún tipo de tratamiento, con el fin de lograr cuatro objetivos:

- Reducción de volumen/Remoción de agua: la reducción de la humedad presente se liga a la disminución de volumen, el lodo residual generado posee alta humedad (entre 90-95% sin prensado) que debe ser reducida como medida previa a aplicar tratamientos avanzados. Para lograr la reducción de humedad en los lodos diferentes metodologías están disponibles tales como lechos de secado, maquinas centrifuga y filtros prensa (Fig. N°21). (Chirs Nilsson & Hanna Dahlstrom, 2005)



Figura 21: Filtro prensa semiautomático de la PTARD Draco® FPSA 63-20.

La humedad final puede estar entre 60-10% dependiendo de la metodología aplicada. En el caso de los filtros prensa se puede llegar a un porcentaje de 60-70%, en el caso de lechos de secado se puede llegar hasta humedades de 10-5%, pero a costa de requerir de grandes cantidades de tiempo.

- Estabilización: consiste en reducir la cantidad de componentes biodegradables que aún permanecen en los lodos, esto se logra mediante dos tipos de digestión: la anaeróbica que se da en un ambiente anódico y que comprende diferentes etapas como: la ruptura de las estructuras de carbohidratos, grasas y proteínas dando como productos gas metano y dióxido de carbono; y la aerobia donde el lodo es puesto en un contenedor aireado y la descomposición es realizada por microorganismos aeróbicos generando calor que puede

llegar hasta los 65°C (Maria Elena Perez Zuñiga, 2016). Esta temperatura sumada a la eliminación de un aporte constante de agua residual con nutrientes genera la muerte de los microorganismos patógenos y descomponedores deteniendo así la degradación de compuestos biodegradables presentes.

La digestión descrita es solo una de las maneras de estabilización, esta también puede ser lograda mediante la adición de compuestos químicos como la cal que eleva tanto el pH a valores sobre 12 , así como la temperatura con valores de hasta 90°C ambos en conjuntos generando condiciones adversas que terminan frenando toda actividad biológica.(Chirs Nilsson & Hanna Dahlstrom, 2005)

- Higienización: este punto va directamente referido a la disminución de las bacterias patógenas tales como *E.Coli* y *Salmonella sp.* , que generan enfermedades gastrointestinales o parasitarias sobre animales y sobre personas que se alimentan de estos. Procesos como la digestión logran reducir estos patógenos; más son los tratamientos como la adición de químicos (cal) (Paola Mariel Morales Rojo, 2005) o la exposición a temperaturas elevadas (incineración), las medidas que logran generar las condiciones de gran adversidad para eliminar la presencia de patógenos.
- Toxicidad química: la toxicidad química va relacionada a compuestos inorgánicos como metales, que al entrar en contacto con suelo o agua pueden biomagnificarse, como indica un estudio en Bolivia en el año 2012 donde se encontró que el cadmio del agua se almacena en peces pudiendo llegar hasta el ser humano por consumo de las especies contaminadas. (Carlos I. Molina, Carla Ibañez, & François-Marie Gibon, 2012)

#### **2.4.1. LEGISLACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES DE PTARD**

En la actualidad existe amplia bibliografía de los lodos siendo aplicados sobre suelos, debido a la presencia de nutrientes beneficiosos como son el nitrógeno, el fósforo y el potasio, además

del carbono orgánico que una vez estabilizado es útil suplemento y como acondicionador de suelo ya que provee un suelo con mejor estructura para el enraizamiento. Mas para lograr el objetivo de ser aprovechados como algo más que una biomasa encargada de realizar tratamiento de aguas residuales, los lodos deben cumplir con ciertas características para asegurar que su uso genere beneficios y no perjuicios. Esta normatividad para el reaprovechamiento varia de país en país mediante normativa, la cual indica los valores máximos en parámetros fisicoquímicos y biológicos a cumplir.

- **Unión Europea – Directiva 86/278/EEC**

La implementación progresiva de la directiva 91/271/EEC en todos los miembros estados de la unión europea está incrementando la cantidad de lodo que requiere disposición, esto debido a la directiva 91/271/EEC implementa un mayor rigor en el tratamiento de aguas de las ciudades buscando maximizar el control de los vertimientos mediante la conexión de todas las viviendas a un sistema de alcantarillado lo cual a su vez incurre en un aumento de la carga que reciben las PTARD y que desemboca en un aumento de la producción de lodos.

Debido al aumento progresivo de la cantidad de lodo se promulgo la directiva 86/278/EEC la cual busca promover el uso de los lodos provenientes de PTARD en agricultura y asimismo regular su uso de tal manera que no genera efectos de perjuicio en el suelo, vegetación, animal y el hombre. Se prohíbe el uso de lodo no tratado sobre el suelo y se define el lodo tratado como aquel que ha pasado por un proceso: biológico, químico, calorífico o almacenado con el fin de estabilizar sus componentes. De igual manera se dan pautas para las zonas donde se utilicen los lodos estabilizados como son: el lodo no debe ser utilizado en zonas de siembre de vegetales y frutas, animales omnívoros no deben ingresar a la zona por lo menos durante 3 semanas luego de aplicado el lodo.

Finalmente, la directiva especifica principios para el análisis y monitoreo de los lodos y suelos, indica el requerimiento de mantener un récord de las cantidades de lodo producidos, cantidades utilizadas en agricultura, las propiedades y composición del lodo.

- **Estados Unidos - 40 CFR Part 503**

La agencia de protección del medio ambiente de los Estados Unidos mayormente conocida por sus cifras en ingles EPA (Environmental protection agency) promulgo mediante el Código de regulaciones federales (CFR – Code of Federal Regulations) en la parte 503 las regulaciones de los riesgos basados en la disposición o uso final de los lodos provenientes de PTARD. Se presentan 3 parámetros base sobre los cuales se enfoca la determinación de la calidad del lodo:

- Presencia de agentes contaminantes (arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio. Níquel, molibdeno, zinc): se pueden observar las concentraciones límites de metales (Tabla N°8) que debe cumplir el lodo residual para poder ser aprovechado como suplemento sobre suelos, existen valores máximos que no deben ser excedidos en ningún momento del año y valores máximos que no deben ser excedidos en valores promedios mensuales.

**Tabla 8: Concentraciones máximas, metales pesados en lodos de reaprovechamiento - EE.UU.**

LIMITES DE CONCENTRACION		
CONTAMINANTE	CONCENTRACION MAXIMA ANUAL ( TABLA 1 CFR 503.13) (Mg/Kg, peso seco)	CONCENTRACION DE CONTAMINANTE (TABLA 3 CFR 503.13) PROMEDIO MENSUAL (Mg/Kg, peso seco)
Arsenico	75	41
Cadmio	85	39
Cromo	3000	120
Cobre	4300	1500
Plomo	840	300
Mercurio	57	17
Molibdeno	75	--
Níquel	420	420
Selenio	100	36
Zinc	7500	2800

Fuente: 40 CFR Part 503

- Presencia de patógenos (bacterias, virus, parásitos): dependiendo de la clase de lodo “A” o “B” se manejan diferentes requerimientos y restricciones, los lodos de clase “A” requieren de niveles casi inexistentes de patógenos como Salmonella, entero virus y huevos de helminto y por no tienen restricciones en su aplicación sobre el suelo. Por otra parte, los lodos de clase “B” reducen significativamente pero no eliminan los patógenos presentes por lo cual tienen restricciones de uso en los suelos, estos deben ser aplicados sobre lugares impidiendo el ingreso de animales que puedan consumir en la zona durante al menos 30 días para permitir que se reduzcan aún más los niveles de patógenos naturalmente.
- Nivel de atracción de vectores (roedores, moscas, mosquitos): se proponen opciones para la reducción de vectores como: el lodo debe ser aplicado debajo de la superficie del suelo, el lodo de clase “A” debe ser aplicado debajo de la superficie del suelo en menos de 8 horas luego de haber pasado por el proceso de estabilización, no debe haber cantidad significativa de lodo luego de 1 hora en la superficie luego de haberse aplicado debajo de esta última.

- **México – NOM – SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y recursos naturales)**

Los lodos producidos en una planta de tratamiento de agua residual en el país de México deben cumplir con las siguientes 2 Normas Oficiales Mexicanas para ser aprovechados:

- NOM-004-SEMARNAT-2002 (NOM-004): “Protección ambiental - Lodos y biosólidos. - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final”.

En esta norma se clasifican los biosólidos de dos maneras, primero en tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados (Tabla N°9), se observan 8 metales regulados en mg/kg en base seca.

**Tabla 9: Límites máximos permisibles de metales pesados en biosólidos - México**

CONTAMINANTES (Determinados en forma total)	EXCELENTES (Mg/Kg, base seca)	BUENOS (Mg/Kg, base seca)
Arsenico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Niquel	420	420
Zinc	2800	7500

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

En segundo en función del contenido de patógenos como coliformes, salmonella y huevos de helminto los lodos se clasifican en: A, B y C (Tabla N°10).

**Tabla 10: Concentraciones de patógenos para la clasificación de biosólidos - México.**

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
		Coliformes Fecales NMP/g Base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca
A	Menor de 100	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

Finalmente, en base a la clasificación según el contenido de metales y patógenos se indica los posibles lugares y tipo de aprovechamiento que se puede dar a las diferentes calidades de biosólido (Tabla N°11):

**Tabla 11: Clasificación de Biosólidos en base al tipo y clase - México.**

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	Usos urbanos con contacto publico directo durante su aplicación, los establecidos para clase B y C
EXCELENTE O BUENO	B	Usos urbanos sin contacto publico directo durante su aplicación, los establecidos para clase C
EXCELENTE O BUENO	C	Usos forestales, mejoramiento de suelos, usos agrícolas

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002

- NOM-083-SEMARNAT-2003 (NOM-083): Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. En el punto 7.8.1. se menciona que los lodos deben ser tratados o acondicionados previamente a su disposición final en el frente de trabajo.

- **Perú – Resolución Ministerial N°024-2017-VIVIENDA**

Mediante la aprobación a inicios del año 2017 de la Resolución ministerial N°024-2017-VIVIENDA, se sientan las bases para el reaprovechamiento de biosólidos provenientes de PTARD, si bien es cierto que ya hay antecedente de la utilización de los biosólidos en temas de agricultura como en el caso de un trabajo científico en el año 2011 en la PTARD Puente piedra Lima – Perú, en aquellos tiempos el país no contaba con una norma que determine la aplicabilidad de estos residuos. Por ello se establecía su aplicabilidad como acondicionadores de suelos guiándose únicamente por el contenido de nutrientes presente en estos sin considerar los compuestos que podían causar posibles daños. (Jenny Francisco Atencio, Pedro Ramos Matías, & Guillermo Aguirre Yato, 2011)

En la legislación peruana se clasifica el biosólido proveniente de lodo residual en 2 en clases:

- Biosólido de clase “A”: se denominan así a los biosólidos sin restricciones sanitarias para su aplicación en el suelo.
- Biosólido de clase “B”: se denominarán así a los biosólidos con restricciones sanitarias para su aplicación según localización de los suelos y/o tipo de cultivo.

Para lograr estas clasificaciones se deben lograr valores en los parámetros por debajo de límites establecidos de: estabilización, toxicidad química, higienización tanto los biosólidos de clase A y clase B. Las consideraciones de los parámetros a cumplir para las clases son:

- Parámetros de estabilización: se debe lograr la estabilización física de lodos residuales para ser clasificados como biosólidos de cualquier de las 2 clases, para ello se deberán

cumplir con 1 solo requerimiento el cual va relacionado a la cantidad de sólidos volátiles respecto a los sólidos totales presentes.

$$\begin{array}{l} \text{Materia Orgánica} \\ \text{(Sólidos volátiles)} \end{array} \leq 60\% \text{ de Materia seca} \\ \text{(Sólidos totales)}$$

- Parámetros de toxicidad química: Según el tipo de biosólido ya sea este “A” o “B” no se deberán superar los parámetros de concentración máxima de metales pesados de la tabla N°12.

**Tabla 12: Límites de toxicidad química en biosólidos de clase A y clase B**

PARÁMETROS DE TOXICIDAD QUÍMICA EN BIOSÓLIDOS DE CLASE A Y CLASE B								
Mg/Kg ST Materia Seca	Arsénico	Cadmio	Cromo	Cobre	Plomo	Mercurio	Niquel	Zinc
<b>Clase A y B</b>	40	40	1200	1500	400	17	400	2400

Fuente: R.M. 024-2017-VIVIENDA

- Parámetros de higienización de biosólidos: orientados al control de los agentes patógenos presentes con el fin de evitar enfermedades gastrointestinales a la población. El mayor indicador presente en este parámetro es la presencia de huevos de helmintos que son huevos que resisten de gran manera el proceso de cloración y son causantes de enfermedades intestinales parasitarias (Carolina Ortiz, Myriam C. López, & Favio A. Rivas, 2011). La normativa nos indica los valores máximos y los indicadores que se deben cumplir para la clasificación como biosólidos de clase A o B (tabla N°13).

**Tabla 13: Concentraciones máximas para el parámetro de higienización de biosólidos**

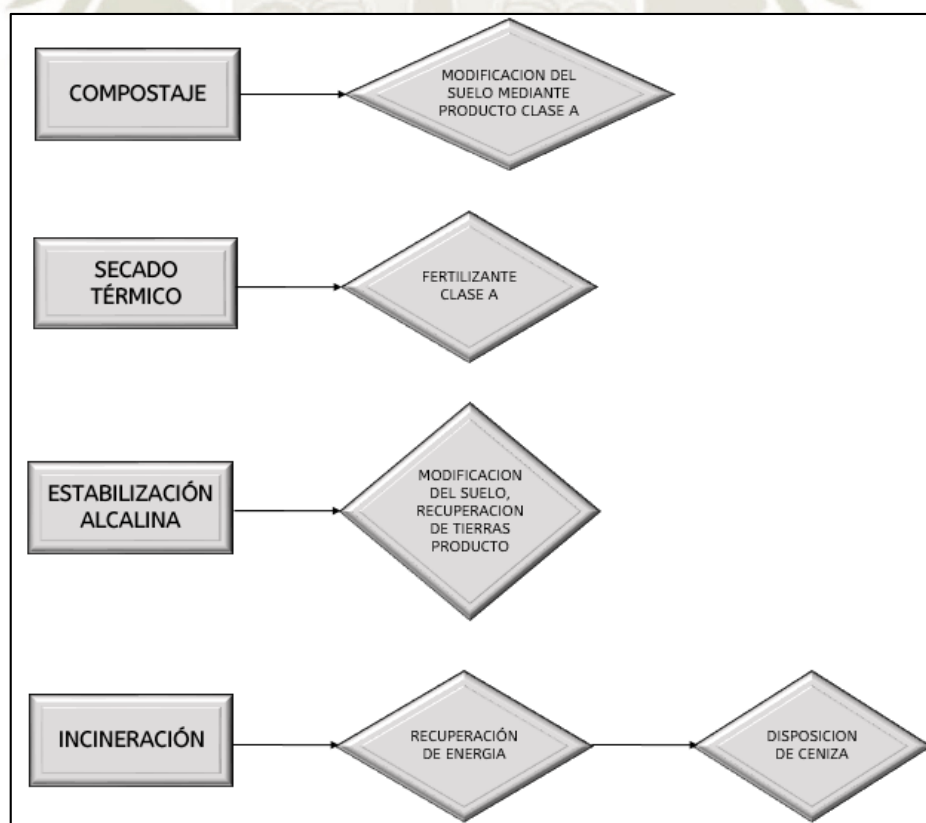
PARÁMETROS DE HIGIENIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS		
INDICADOR	CLASE A	CLASE B
<b>Indicadores de contaminación fecal</b>	Escherichia coli < 1000 NMP/1g ST o	El nivel de higienización se podrá demostrar de forma alternativa mediante las tecnologías indicadas para la higienización, en la sección II del anexo.
	Salmonella sp. < 1 NMP/10g ST	
<b>Indicador de huevos de helmintos</b>	Huevos viables de Helmintos < 1 / 4g ST o	
	Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización	

Fuente: Tabla N° 3 del R.M. 024-2017-VIVIENDA

De igual manera, en el artículo 13 punto 13.1, se indica que el productor de biosólido debe informar sobre la concentración del parámetro nitrógeno total CASO el biosólido vaya a ser comercializado.

### ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES

En el campo del tratamiento de lodos residuales se puede distinguir diversos tipos de tecnologías, más todas con un objetivo en común el cual es lograr la inocuidad de los lodos ya sea para poder: disponerlos como residuos no peligrosos o aprovecharlos en diferentes áreas (material de relleno en construcción o como potenciador de la capacidad productiva de los suelos). Dependiendo de la tecnología de tratamiento que se empleara, los mecanismos de control de contaminantes serán: biológicos, químicos o físicos. Variando en función de la tecnología de tratamiento se encontrarán estos los costos, tiempos y resultados. En el gráfico N°6 se presentan los tratamientos disponibles.



**Gráfico 6: Tratamientos aplicables a lodos residuales provenientes de PTAR con el fin de obtener biosólidos. (Fuente: elaboración propia)**

#### 2.4.2. COMPOSTAJE DE LODOS

El compostaje es un proceso biológico exotérmico de conversión de la materia orgánica presente en los residuos hacia formas más estables como el humus, la cual es realizada por microorganismos como bacterias, hongos y actinomicetos (Patricia Torres, Andrea Pérez, Juan C. Escobar, Iris E. Uribe, & Ricardo Imery, 2007), estos compuestos finales generados poseen gran cantidad de nutrientes en formas altamente disponibles para las especies vegetales.

Pero muchas veces las investigaciones se han realizado alejadas de la realidad del problema, ya que llegado el momento de la producción de lodos en gran cantidad los responsables de las depuradoras o incluso los agricultores no toman las suficientes medidas para evitar los posibles riesgos de su aplicación en suelos. En este sentido no sería coherente que por una parte se depuren las aguas residuales y por otra no gestionasen correctamente los lodos; el suelo puede ser un buen receptor de residuos orgánicos: tiene capacidad de transformar, transportar o de inmovilizar a componente, pero todo esto tiene un límite, es decir una capacidad, de la que no se puede abusar.

El uso indiscriminado de lodos en suelos agrícolas puede llevar a la alteración de sus características, a la contaminación de las aguas subterráneas, de ciertos cultivos o de la cadena trófica. (Montserrat Soliva & Oscar Huerta, 2004). Como experiencia satisfactoria de compostaje de lodos residuales, en Colombia se realizó compostaje de estos (Patricia Torres et al., 2007), previo tratamiento en un lecho de secado con el fin de reducir la humedad y patógenos presentes. El biosólido obtenido fue mezclado con material de soporte (MS) y material de enmienda (ME, residuos orgánicos provenientes de un mercado cercano), se mezclaron los materiales en diferentes proporciones según la tabla N°14 :

**Tabla 14: Conformación de las pilas de compostaje utilizadas para el experimento**

PILA	CONFORMACION		
	B:	ME:	MS
TESTIGO	100	0	0
18% ME	72	18	10
36% ME	54	36	10
MS: Material de Soporte - residuo de poda			
ME: Material de Enmienda - cachaza y residuos orgánicos de poda			

Fuente: Investigación realizada en Cali sobre compostaje de biosólidos (Patricia Torres et al., 2007)

Esta mezcla de materiales fue tratada como un compostaje corriente realizándose el movimiento para la aireación y la toma de temperatura de manera periódica durante 40 días, esto para verificar las condiciones óptimas del proceso. Pasado este lapso se procedió a caracterizar las muestras para ver su capacidad como abono orgánico, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla N°15) (patricia torres et al., 2007) :

**Tabla 15: Caracterización del biosólido compostado en Colombia.**

Variable	100% Biosólido		72%B-18%C-10%P		Valor Recomendado
	Inicio	Final	Inicio	Final	
pH	6.7	6.5	7.05	7.4	5.0 - 8.5
Materia Orgánica %	28.4	16.7	32.3	22.4	> 25
Carbono Orgánico %	16.7	9.8	19	13.2	> 15
Nitrógeno Amoniacal %	0.29	0.03	0.02	0.02	< 0.03
Nitrógeno Total %	2.37	1.73	1.72	1.85	> 0.8
Relación C/N	7.1	5.6	11.1	7.1	< 25 Clase A
Fósforo %	0.87	1.63	0.72	2.06	> 0.1
Potasio %	0.1	0.08	0.19	0.37	0.025
NPK %	3.3	3.4	2.6	4.3	> 4
Densidad real (g cm3)	-	2	-	2	1.45 - 2.69
Densidad aparente (g cm3)	-	0.5	-	0.4	< 0.6
Humedad %	70	40	62	35	30 - 45

Fuente: Investigación realizada en Cali sobre compostaje de biosólidos (Patricia Torres et al., 2007)

Se observó que tanto en el compostaje de biosólido al 100%, como en el mezclado con residuos domésticos se obtienen valores cercanos a los recomendados para ser aplicados en suelo. Esto nos indica que el producto obtenido del compostaje de biosólido tiene alta capacidad para ser usado como suplemento para suelos.

### **2.4.3. SECADO TÉRMICO DE LODOS RESIDUALES**

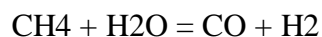
Consiste en la disminución de humedad y patógenos del lodo residual mediante la adición de calor, el cual eleva la temperatura evaporando el agua y generando condiciones adversas para los microorganismos. En este secado se puede obtener metano el cual puede ser reciclado y utilizado como energía térmica para los fines antes mencionados como es la higienización del lodo mediante pasteurización (Keller et al, op cit ). Varios estudios han demostrado que la pasteurización del lodo (70°C por 30 minutos) elimina todos los enterovirus presentes en el lodo. En este tratamiento se somete al lodo deshidratado a ciertas temperaturas por un periodo de tiempo determinado, después del cual se almacena el material para poder verificar recrecimiento de los indicadores bacterianos. Los tratamientos térmicos buscan que los componentes orgánicos de los lodos sean transformados en estructuras más simples, por ende, el fin de este tratamiento es la transformación del material en formas menos perjudiciales para el ambiente y el hombre.

### **2.4.4. GASIFICACIÓN DE LODOS RESIDUALES**

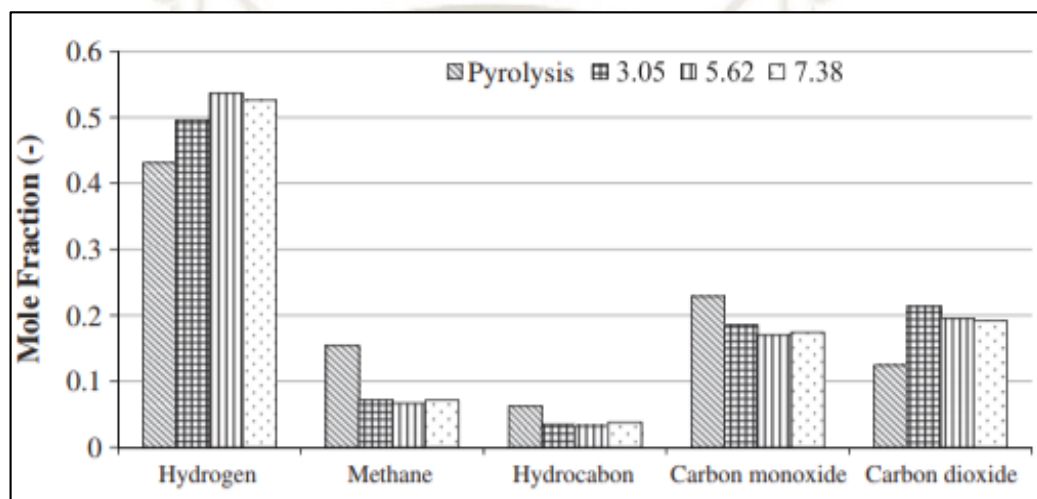
Que consiste en la conversión de un sustrato carbonoso (residuo orgánico) en un gas combustible de bajo poder calorífico (Como puede ser el metano o hidrogeno) mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua). Las reacciones son llevadas a cabo en un gasificador, en el cual, con presión controlada se logran controlar las posibles emisiones y reducir los gases de chimenea generados (Sebastian Werle, 2016). El lodo residual debe pasar por un previo proceso de secado para disminuir su humedad antes de pasar al proceso de gasificación.

En Estados Unidos se llevó a cabo una experiencia de gasificación de lodos residuales, los cuales fueron previamente secados en un lecho de secado y almacenados para mantener las

condiciones de humedad optimas. En este estudio se tomó gran importancia a la relación Vapor/Carbono (Steam/Carbon - S/C) que refiere a la reacción:

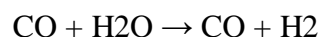


Variando la relación de S/C mediante el cambio de presión y temperatura puede favorecer o inhibir la generación de hidrogeno (Anwar Sattar, Gary A. Leeke, Andreas Hornung, & Joseph Wood, 2014) y dependiendo cual sea el objetivo deseado (Gráfico N°7),

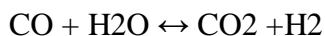


**Gráfico 7: Concentración de gases obtenida mediante la manipulación del factor S/C.**  
(Fuente: Steam gasification of rapeseed, wood, sewage sludge and miscanthus biochars for the production of a hydrogen-rich syngas)

En Polonia en 2016 Sebastián Werle realizó estudios sobre la gasificación de lodos residuales provenientes de PTARD, en los cuales se concluyó que modificando parámetros como el ratio de aire/oxígeno se podía optimizar la composición del gas producto orientándose este a CO y H<sub>2</sub>, en primera instancia según la reacción:



Se produce el monóxido e hidrógeno, este monóxido producido reacciona con los residuales generando dióxido y más hidrogeno.



De esta manera se observa que la composición del gas producido cambia de acuerdo a la cantidad de aire suplida al reactor, mientras se aumenta la temperatura y la concentración de oxígeno. (Sebastian Werle, 2016).

#### **2.4.5. ESTABILIZACIÓN ALCALINA DE LODOS RESIDUALES**

En este proceso, la cal es adicionada en suficiente cantidad para subir el pH del lodo, el alto pH generado crea un ambiente que mata o retarda sustancialmente las reacciones microbianas que generaran olores y atracción de vectores. Esto se logra ya que los agentes alcalinos inducen cambios en la naturaleza coloidal del protoplasma lo que causa la muerte de la célula, valores de pH superiores a 11 producen la desnaturalización de la capa proteínica de los virus y la destrucción de los mismos (Jorge Arboleda Valencia, 2000).

Varios estudios indican los buenos resultados que se obtienen al tratar alcalinamente el lodo, debido a los altos valores de pH. Este efecto puede ser complementado al utilizar óxido de calcio (CaO) aunque puede adicionarse al lodo antes de su deshidratación, se ha determinado que el tratamiento alcalino es más eficiente cuando se aplica a lodos con mayor contenido de humedad (Eduardo Campos Medina et al., 2009). El óxido de calcio al reaccionar con la humedad del lodo aumenta la temperatura del material y aumenta el valor de pH. Algunos autores como Keller et al (1999), afirman que el mantenimiento del pH sobre 12 y las altas temperaturas son factores importantes, que en combinación eliminan el contenido patológico del lodo. Adicional a esto se debe tomar en cuenta el pH inicial y la duración del almacenamiento, los cuales son de alta influencia.

En condiciones del estudio, se concluyó que el tratamiento con cal permitió obtener un lodo sólido desinfectado (Eliminando *E.Coli* y *Salmonella sp.* en 24 horas con valores de pH mayores que 12.5, en 7 días el pH se mantuvo en 12, y en 14 días si el pH permaneció sobre 11.5. (María de Pilar Araque Manrique, 2006)

La estabilización con cal es generalmente más costo-efectivo y más simple que otras alternativas de tratamiento, y la calidad de los lodos resultantes es superior; aunque la adición de cal resulta en un modesto incremento en el volumen del lodo. Adicionalmente, el tratamiento alcalino reduce los olores en el lodo, lo estabiliza, incrementa su contenido de calcio y contribuye a su deshidratación; sin embargo, los altos valores de pH limitan su utilización en la mayoría de cultivos. (María de Pilar Araque Manrique, 2006)

#### **2.4.6. INCINERACIÓN DE LODOS RESIDUALES**

La incineración compone otra de las metodologías para tratamiento de lodos, cuya finalidad es la generar una combustión completa de la materia presente en los residuos a incinerar. Generando de esta manera un producto inerte con una reducción significativa del peso y volumen inicial del material, estos factores sumados pueden lograr que el material sea tratado como combustible derivado de residuos si su poder calorífico es el adecuado.

Para poder considerar la metodología de incineración para lodos provenientes de PTARD se debe estimar el poder calorífico inferior (PCI) el cual nos indica la cantidad de energía liberada por unidad de peso de un material en su combustión con oxígeno. (F.J. Colomer Mendoza, M. Carlos Alberola, L. Herrera Prats, A. Gallardo Izquierdo, & M.D. Bovea, 2009)

Para esto se sigue la norma UNE 32 006:1995 en la cual mediante el uso de una bomba calorimétrica se logra obtener el poder calorífico superior (PCS) que restado del calor de condensación del hidrógeno y del agua nos entrega el PCI. Este calor generado puede ser aprovechado en diferentes actividades. En la estación de depuración de agua residual (EDAR) la Cartuja del municipio de Zaragoza en España, se maneja un sistema de incineración de lodos cuya energía es reciclada para: (Juan Palacios Izaguirre, 2013) :

- Pre calentamiento de aire de fluidificación.
- Producción de vapor a 230°C y 30 bar para las calderas.

- Producción de ceniza de lodo que dependiendo de sus propiedades puede ser reutilizada en otras actividades como aquellas relacionadas a fabricación de cemento y ladrillos ligeros.

De igual manera que con otras metodologías la incineración puede realizarse de distintas maneras como las siguientes (United States Environmental Protection Agency, 2011) :

- Mediante uso de hornos de múltiple compartimento.
- Mediante uso de un Lecho Fluidizado
- Mediante el uso de energía eléctrica.

## 2.5. CONSTRUCCIÓN DE HORNOS A BASE DE LEÑA

La construcción está basada en los diseños de hornos de barro caseros y las medidas se dimensionan en base a la capacidad necesaria para poder tratar la carga diaria deseada. Asimismo, se busca siempre la permacultura, dado que se trata de una perspectiva y conocimiento con respecto al uso de la tierra fundada en valores, enfoques, diseños y sistemas en armonía con la naturaleza.

Como material se utiliza el ladrillo, el cual se instaura como un material de construcción proveniente de la tierra y el suelo, contribuyendo a preservar el ambiente a partir de sus ventajas constructivas. Su constitución le permite poseer ciertas características favorables para su empleo en viviendas, hornos, secaderos solares o deshidratadores de frutas y verduras, cocinas.

Para la construcción de un horno se prevén 6 pasos según el manual de construcción de un horno de barro (Pedro M. Molina, 2005):

- Paso 1: Selección del lugar donde se construirá el horno: Lugar llano, sin pendiente, alejados de posibles inundaciones y cursos de agua, evitando la exposición al mismo de frente y costado (donde se encuentra la boca del leñero)

- Paso 2: Construcción de la base: la base sobre la que se construirá el horno debe ser de concreto y correctamente nivelada para lograr un horno estable físicamente.
- Paso 3: Construcción del leñero: Una vez construida la base, se comienzan a colocar los ladrillos para formar la primera fila de ladrillos, los que serán unidos con cemento (Fig.Nº22), se deben dejar 2 agujeros correspondientes al tamaño de 1 ladrillo en los lados izquierdo y derecho a fin de que sirvan como toma de aire, caso contrario las llamas generadas se “asfixiaran” por falta de oxígeno.



Figura 22: Construcción del leñero de horno artesanal de barro.

Sobre esta estructura se coloca una parrilla para combustión (Fig. Nº23) sobre la cual ira puesta la madera a la hora de realizar el encendido, la altura a la que se ponga dependerá de la altura a la que se encuentre la estructura de contención metálica del material a secar/cocinar, de igual manera las dimensiones de la rejilla irán en función de las dimensiones del leñero.

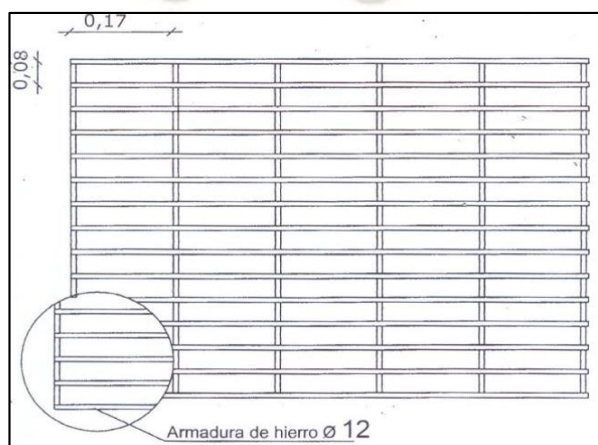


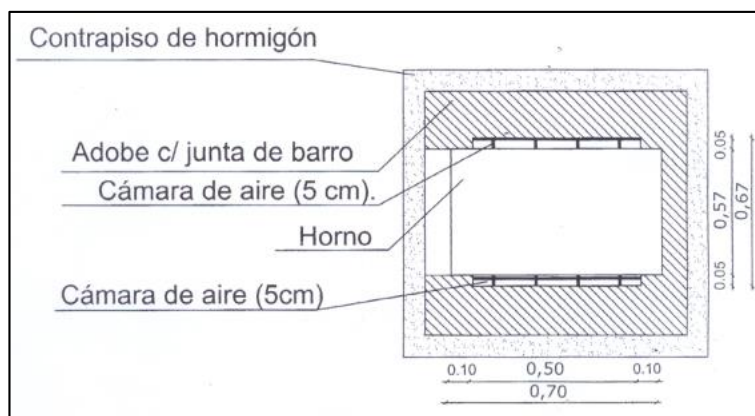
Figura 23: Rejilla metálica utilizada para apilar la madera combustible del horno.

- Paso 4: Construcción de Horno superior: se debe construir una estructura metálica que será la encargada de transmitir el calor al material tratado, para ello se fijará un tambor (Fig. N°24) en el cual será ingresada la carga a secar, este se asentará sobre la quinta fila de ladrillos o a aproximadamente 70 cm de alto, el tambor debe poseer una puerta que permita sellar la carga en el interior y podrá ser de diferentes formas, aunque se recomienda una forma cilíndrica; en el caso del secado de lodos residuales este deberá contar con un desfogue para evitar que la humedad perdida vuelva a condensar. Es importante que el tambor quede a una altura de fácil y cómodo acceso para el ingreso de la carga.



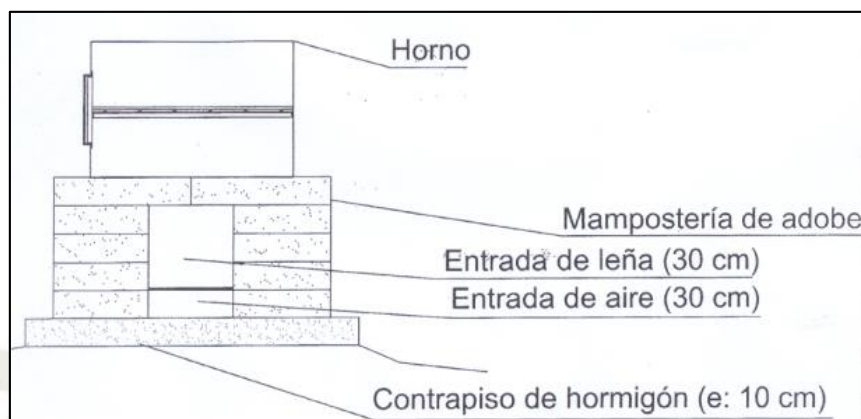
**Figura 24: Tambor dentro del horno el cual se encargará de recibir la carga a secar.**

La vista en planta del diseño del horno modelo (Fig. N°25) presenta la base de concretos, las paredes levantadas, la cámara de aire que será ocupada por la parrilla y la madera y sobre la cual ira posicionado el envase contenedor del material a secar/cocinar.



**Figura 25: Vista en planta del horno de barro modelo a seguir.**

La vista en corte del modelo (Fig. N°26) presenta una estructura lateral conteniendo el espacio para ingreso de leña y un espacio abierto utilizado como entrada de aire ya que sin una de estas el fuego tiende a sofocarse y perder fuerza.



**Figura 26: Vista en corte del modelo de horno de barro a seguir.**

- Paso 5: Aislamiento con arcilla: una vez que se haya instalado el horno superior se debe proceder a recubrir la estructura con arcilla o barro, esto se logra aplicando capas sucesivas hasta lograr la medida indicada de entre 10-15cm, entre capa y capa se deberá realizar un alisado con el fin de que la siguiente capa asiente bien (Pedro M. Molina, 2005). La función del recubrimiento será de retener el calor a fin de minimizar el consumo de leña.
- Paso 6: A fin de controlar las emisiones se deberá instalar una chimenea en la cara superior del horno este puede ser de diversos materiales como tubería HDPE o metálica, esta permitirá operar de manera óptima al evitar inhalación de gases por parte del operador.

## CAPITULO III: MATERIALES Y METODOLOGIA

Habiendo expuesto la problemática en la U.O. referida a los lodos residuales generados en la PTARD, en el presente capítulo se procede a explicar la metodología que se aplicó para lograr el objetivo de poder generar biosólido aprovechable como suplemento para suelos; reduciendo de esta manera costos en disposición y generando un producto benéfico.

### 3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL LODO RESIDUAL

- **COLECCIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRA DE LODO RESIDUAL**

La muestra de lodo residual provenientes de la PTARD fue colectada de acuerdo a la guía mandada por la empresa SGS del Perú S.A., estas guías denominadas D.R. (Fig. N°27) indicaron por cada parámetro deseado a analizar el tipo de frasco que se requerirá, la cantidad mínima de muestra, el tipo de preservación requerido y finalmente la metodología con la cual se hizo el análisis.

<b>CANTIDAD DE MUESTRA Y REQUISITOS MINIMOS PARA ENSAYOS DE MUESTRAS AMBIENTALES POR SERVICIO</b>									
Señores:								N° O.L.: 342948	
Fecha: 1 de Mayo del 2017									
Nro	Determinaciones (Servicio)	Matriz	Método de ensayo	Tipo Envase	Tamaño mínimo de muestra	Tipo Muestra	Preservación	Precauciones	Tiempo de Almacenamiento
27	AQ NO3	AGUA	EPA 300.0-1993, Rev. 2.1.- Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography.	Frasco PVC 100 ml boca ancha	100.00	PUNTUAL COMPOSITO	ALMACENAR DE: >0°C A <= 4° C	-	48 HORAS
28	AQ Num.Colf.Fec	AGUA	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E.1, 22nd Ed. 2012; Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure	Frasco PVC estéril 250 ml (Tapa roja)	250.00	PUNTUAL	REFRIGERAR < 8°C (ADICIONAR TIOSULFATO DE SODIO A MUESTRAS QUE TIENEN CLORO; PARA AGUA RESIDUAL USAR 0.5 ML TIOSULFATO AL 10% Y PARA AGUA DE USO Y CONSUMO HUMANO 0.5 ML TIOSULFATO AL 3%, POR 250 ML DE MUESTRA	NO ELIMINAR LA CUBIERTA DE LA BOTELLA (TAPADOS CON PAPEL KRAFT). NO LLENAR LOS FRASCOS DE MUESTREO, SOLO TOMAR 3/4 PARTES. DEJAR UN ESPACIO PARA LA AIREACION Y HOMOGENIZACION. ENVIAR BLANCO VIAJERO PI/ORDEN COMERCIAL.	AGUA DE BEBIDA 30 HORAS. AGUA NO POTABLE : 24 HORAS
29	AQ Num.Colf.Fec+AQ Num.E.Coli+AQ Numer.Colf.Tot	AGUA	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221B 22nd Ed. 2012; Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E.1, 22nd Ed. 2012; Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221F 22nd Ed.2012; Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique. Escherichia coli Procedure Using Fluoregenic Substrate. Escherichia coli test (EC-MUG Medium)	Frasco PVC estéril 250 ml (Tapa roja)	250.00	PUNTUAL	REFRIGERAR < 8°C (ADICIONAR TIOSULFATO DE SODIO A MUESTRAS QUE TIENEN CLORO; PARA AGUA RESIDUAL USAR 0.5 ML TIOSULFATO AL 10% Y PARA AGUA DE USO Y CONSUMO HUMANO 0.5 ML TIOSULFATO AL 3%, POR 250 ML DE MUESTRA	NO ELIMINAR LA CUBIERTA DE LA BOTELLA (TAPADOS CON PAPEL KRAFT). NO LLENAR LOS FRASCOS DE MUESTREO, SOLO TOMAR 3/4 PARTES. DEJAR UN ESPACIO PARA LA AIREACION Y HOMOGENIZACION. ENVIAR BLANCO VIAJERO PI/ORDEN COMERCIAL.	AGUA DE BEBIDA 30 HORAS. AGUA NO POTABLE : 24 HORAS
							REFRIGERAR < 8°C (ADICIONAR TIOSULFATO DE SODIO A MUESTRAS QUE TIENEN CLORO; PARA AGUA RESIDUAL USAR 0.5 ML TIOSULFATO AL 10% Y PARA AGUA DE USO Y CONSUMO HUMANO 0.5 ML TIOSULFATO AL 3%, POR 500 ML DE MUESTRA	NO ELIMINAR LA CUBIERTA DE LA BOTELLA (TAPADOS CON PAPEL KRAFT). NO LLENAR LOS FRASCOS DE MUESTREO, SOLO TOMAR 3/4 PARTES. DEJAR UN ESPACIO PARA LA AIREACION Y HOMOGENIZACION. ENVIAR BLANCO VIAJERO PI/ORDEN COMERCIAL.	AGUA DE BEBIDA 30 HORAS. AGUA NO POTABLE : 24 HORAS

Figura 27: Directiva de remisión enviada por SGS del Perú

Se colectaron y enviaron 3.50 Kg de lodo residual, estas muestras fueron enviadas con condiciones de preservación (Tabla N°16) al laboratorio de SGS del Perú en Arequipa:

**Tabla 16: Envase enviado y condiciones de preservación de cada muestra.**

<b>PARÁMETROS ANALIZADOS, ENVASE Y TIPO DE PRESERVACIÓN</b>		
Nitrógeno total ( mg/kg )	1 Bolsa Ziploc hermética – 500g	<b>&lt; 4° C</b>
SC AQ Numeración de coliformes fecales ( NMP/g )	1 Bolsa Ziploc hermética – 500g	
SC AQ Numeración de E.Coli	1 Bolsa Ziploc hermética – 500g	
Sólidos Totales base húmeda (mg/kg )	1 Frasco PVC gomero 500 ml	
Sólidos Volátiles Base seca (mg/Kg )	1 Frasco PVC gomero 500 ml	
Sólidos Volátiles Base húmeda ( mg/Kg )	1 Frasco PVC gomero 500 ml	
SC CX Deter. Huevos de helminto ( Huevos/4GST )	1 Bolsa Ziploc hermética – 500g	
Mercurio ( mg/Kg ) + Metales EPAA3051	1 Frasco PVC gomero 500 ml	

Fuente: elaboración propia.

El análisis fue realizado por la empresa SGS del Perú S.A.C., los parámetros analizados, así como los métodos utilizados figuran en la Tabla N°17:

**Tabla 17: Parámetros y métodos de análisis del lodo residual**

PARÁMETROS	MÉTODO
Nitrógeno total (mg/kg)	SGS-ENVIDIV-ME-45 : 2017; Rev.00 - Determinación de Nitrógeno Total en Suelos, Lodos y Sedimentos
SC AQ Numeración de coliformes fecales (NMP/g)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E, 22nd Ed. 2012; Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure
SC AQ Numeración de E.Coli	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E, 22nd Ed. 2012; Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure
Sólidos Totales (mg/kg)	EPA Method 1684:2001.Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solids, and Biosolids.
Sólidos Volátiles Base seca (mg/Kg)	EPA Method 1684:2001.Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solids, and Biosolids.
Sólidos Volátiles Base húmeda (mg/Kg)	EPA Method 1684:2001.Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solids, and Biosolids.
SC CX Deter. Huevos de helminto (Huevos/4GST)	NOM-004-SEMARNAT-2002, PROTECCION AMBIENTAL.- LODOS Y BIOSOLIDOS.- ANEXO V-METODO PARA LA CUANTIFICACION
Mercurio (mg/Kg) + Metales EPAA3051	EPA 7471B: 2007. Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique) + EPA 3051A:2007. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges,Soils and Oils/EPA 6020A:2007 .Inductively Coupled PlasmaMass Spectrometry.

Fuente: elaboración propia.

Pasado un tiempo de aproximadamente 7 días los resultados fueron remitidos a los miembros del área de Medio ambiente de la U.O. en un informe validado por INACAL (Instituto Nacional

de Calidad). Los resultados obtenidos fueron contrastados con la R.M. 024-2017-VIVIENDA para verificar el cumplimiento o no de esta.

### 3.1.1. ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA TRATAMIENTO

Con los resultados obtenidos, se procedió a evaluar la tecnología más apropiada para el tratamiento en base a los siguientes factores:

- Costo económico.
- Espacio requerido.
- Disponibilidad de fuente de energía.
- Tiempo requerido por el tratamiento para resultados óptimos.

Todos estos parámetros se evaluaron en base a tabla N°18, que se tomó de un estudio de aspectos técnicos y económicos en la higienización de lodos (M. Cecilia Diocaretz & Gladys Vidal, 2010) en el cual se mencionan los tratamiento y se realiza un análisis de los costos, beneficios y desventajas de cada uno. La clasificación para el tema de disponibilidad de fuente de energía fue realizada en base a la condición presente en la zona proyectada de construcción.

**Tabla 18: Clasificación de tratamiento en base a indicadores escogidos.**

	CLASIFICACIÓN	RANGO	INDICADOR
<b>COSTO</b>	<b>MUY ALTO</b>	1 0000 000\$ +	+++++
	<b>ALTO</b>	100 000 - 999 999\$	++++
	<b>MEDIO</b>	10 000 - 99 999\$	+++
	<b>BAJO</b>	1 000 - 9 999\$	++
	<b>MUY BAJO</b>	0 - 999\$	+
<b>ESPACIO</b>	<b>BAJO</b>	0-10 m <sup>2</sup>	+++
	<b>MEDIO</b>	10- 100 m <sup>2</sup>	++
	<b>ALTO</b>	100 m <sup>2</sup> +	+
<b>TIEMPO</b>	<b>BAJO</b>	0 - 24 horas	+++
	<b>MEDIO</b>	1 día - 10 días	++
	<b>ALTO</b>	10 días +	+
<b>DISPONIBILIDAD DE FUENTE DE ENERGIA</b>	<b>DISPONIBLE</b>	SI	+++
	<b>NO DISPONIBLE</b>	NO	+

Fuente: Elaboración propia en base al estudio de: Aspectos técnicos y económicos de procesos de higienización de lodos provenientes del tratamiento de aguas servidas (M. Cecilia Diocaretz & Gladys Vidal, 2010)

### 3.2. CONSTRUCCIÓN DE HORNO PARA TRATAMIENTO

En primer lugar, como actividad de adecuación de la zona, se diseñó y construyó como base para el horno una plataforma de concreto en proporción 1:1:6 (bolsa cemento: agregado grueso: arena fina) (Fig. N°28), esto con el fin de nivelar el terreno y generar una superficie sólida que resistiera el peso de: los ladrillos, el concreto y el tambor superior. Las dimensiones fueron asignadas en base al tamaño final del horno, dejando márgenes de 10cm a los lados y 30 frontalmente.

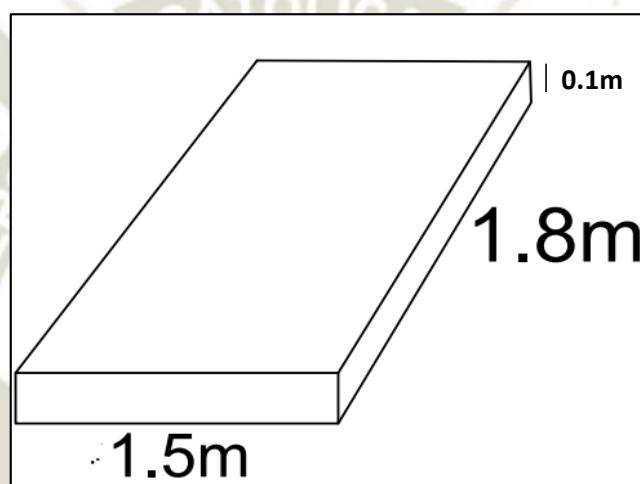
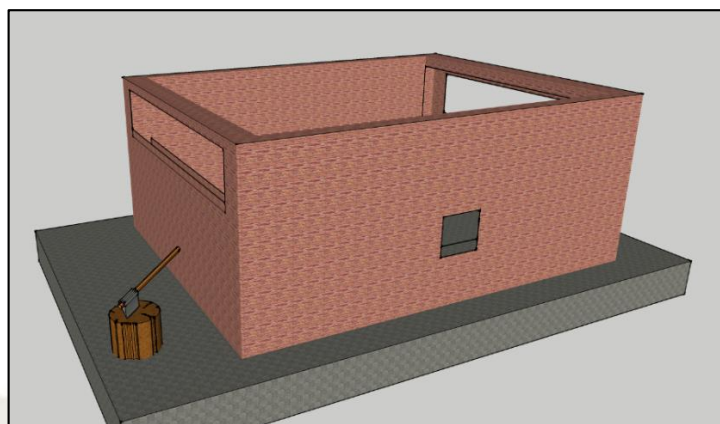


Figura 28: Medidas de la losa de concreto base para el horno de secado de lodos.

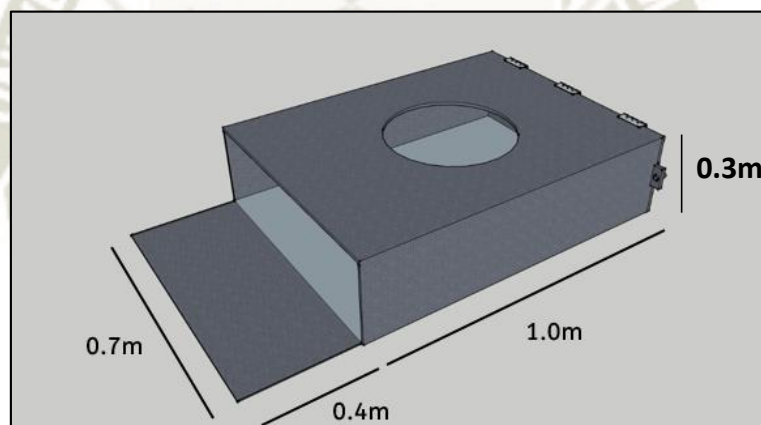
Respecto a la estructura inferior del horno esta se basó en el diseño de hornos de barro artesanales (Pedro M. Molina, 2005). Se utilizaron ladrillos King Kong y concreto, la construcción tomó alrededor de 6 horas y la estructura se dejó fraguar durante 2 días para asegurar su estabilidad.

Se levantaron 9 filas de ladrillo, alcanzándose una altura de 1.1m, se incluyó en ambas caras una toma de aire con el fin de brindar oxígeno a la combustión y se dejaron 2 espacios rectangulares en la parte frontal y trasera (Figura N°29) que fueron las encargadas de sostener el tambor superior.



**Figura 29: Vista de perfil del diseño del horno.**

Finalmente se generó un tambor superior (Fig. N°30), este se basó en el modelo de tambor de Pedro M. Molina (Pedro M. Molina, 2005), con modificaciones externas debido a temas de seguridad y control de emisiones, estas modificaciones permite un mejor funcionamiento. La forma fue de un prisma y el material de planchas metálicas de 3/8” de grosor.



**Figura 30: Diseño del tambor superior del horno.**

Para las dimensiones se tomó en cuenta: la cantidad de lodo producido y cantidad proyectada de lodo a tratar (% del total que se planea tratar diariamente):

$$VOLUMEN REAL = L * Ancho * Alto$$

$$VOLUMEN EFECTIVO = L * Ancho * Alto/3$$

Se presentó un volumen real que aquel en el que el lodo se llena hasta el tope, pero por temas de eficiencia, si el lodo se pone en capas demasiado gruesas la transmisión de calor y el espacio para la salida del vapor de agua se ven limitadas. Para contrarrestar esto se presentó un volumen

efectivo que considero una altura de lodo de 1/3, lo cual logra disminuir el tiempo de calentamiento, aumentar el nivel máximo de temperatura alcanzado y así lograr el tratamiento de mayor cantidad por día.

Respecto al techo y la chimenea, el recubrimiento se realizó con una capa de ladrillo cubierto con plancha triplay de madera de espesor 10 mm, este triplay conto con un agujero de 3” en la parte central el cual sirvió como base para la chimenea; esta chimenea consto de una tubería HDPE 3” y de longitud 20m encargada de guiar las emisiones producidas de CO<sub>2</sub>, así como el vapor de agua hacia el relleno sanitario adyacente. En el cual la tubería fue hundida a fin de atrapar los gases.

### 3.3. EVALUACIÓN DE HORNO PARA TRATAMIENTO DE LODO

Habiéndose concluido la construcción del horno de secado de lodos, se procedió a comenzar la realización de pruebas para el tratamiento, esto con el fin de verificar los mejores valores de funcionamiento. Las variables tomadas en cuenta fueron:

- **Peso de madera utilizado:** la cantidad de madera utilizada por prueba se basó en el poder calorífico de la madera de 16021.6 KJ/Kg (C. Telmo & J. Lousada, 2011) para lograr aumentar y mantener la temperatura a 200°C durante 1.5 horas del lodo residual con 70%de humedad inicial, el cual posee un calor especifico de 3.045 KJ/Kg K° (Ke Zhenshan, 2009) dando así un valor de 25 Kg de madera necesarios.
- **Tiempo total de tratamiento:** El tiempo de tratamiento se basó en el estudio de inactivación térmica de E.Coli (Randhir Singh, Xiupin Jiang, & Feng Luo, 2010) que indica que una temperatura de 50°C en un plazo de 6 horas se logra eliminar el *E. Coli* al 100%.
- **Humedad final e inicial:** sirvió para definir la mejor calidad de muestra, ya que un lodo más seco permite un mejor manejo y evidencia una mayor temperatura alcanzada.

- Temperatura alcanzada: se partió del estudio de inactivación térmica de *E. Coli* (Randhir Singh et al., 2010), se buscó una temperatura de alrededor de 200°C durante 1.5h para inhibir al 100% la *E.Coli*, esta variable va directamente ligada al peso de madera utilizado.
- Kg de lodo residual ingresados: se ingresaron pesos de lodo residual basados en la cantidad proyectada a tratar diariamente.

Todas estas variables se constataron en la tabla N°19, la única variación entre pruebas fueron los Kg de madera utilizados que fueron probados en el intervalo de los 15 Kg hasta los 25 Kg, eligiéndose 4 cantidades aleatoriamente, tomando como base de partida 25 kg. Finalmente realizadas las pruebas se constató las temperaturas alcanzadas y la humedad final en las muestras obtenidas para evidenciar la influencia de la cantidad de madera utilizada.

**Tabla 19: Formato para toma de datos sobre variables de funcionamiento del horno.**

Nº PRUEBA	KG DE LODO INGRESADOS	Tiempo de pre calentamiento	Tiempo de estadía en horno ( h )	Kg de Madera	Humedad Inicial %
1	90	15 Min	90 Min	15	74%
2	90	15 Min	90 Min	18	74%
3	90	15 Min	90 Min	20	74%
4	90	15 Min	90 Min	22	74%
5	90	15 Min	90 Min	25	74%

Fuente: elaboración propia.

El procedimiento para la evaluación de los parámetros antes mencionados fue el siguiente:

1. Se ingresó la cantidad de madera necesaria para el encendido (entre 2-4 varillas de madera) dentro del compartimiento interior del horno, la madera tuvo que tener dimensiones adecuadas para evitar que sobresaliera de la estructura. Para las pruebas de deshidratación se llevaron 120 Kg de madera en total, distribuidas en varillas individuales de 3kg cada una.



**Figura 31: Madera de eucalipto a utilizar para el calentamiento del horno.**

La madera de Eucalipto (Fig. N°31) fue proporcionada por el área de infraestructura, la cual genera un remanente que a la actualidad es dispuesto como residuo u ocasionalmente donado a la comunidad.

2. Ya puesta la madera se procedió al encendido mediante el uso del soplete, se calentó la madera hasta verificar que se haya producido una llama rojiza que se mantenga.
3. Una vez verificado el encendido se procedió a agregar más varillas de madera para completar el encendido (entre 2-3 varillas de madera).
4. Se volvió a verificar que la llama se mantuviera.
5. Se procedió a medir la temperatura interior con el uso de la pistola termómetro infrarrojo, se realizó esta acción cada 10 min con el fin de constatar el aumento gradual de temperatura.
6. Una vez llegado a la temperatura deseada (entre 180°C-250°C) se abrieron los sacos de lodo y se ingresó el contenido al horno por la parte posterior de este, se colocó la plancha de metálica posterior con el fin de mantener una mayor temperatura en el interior y se inició el cronometro.
7. Se abrió la tapa posterior cada 5 min con el fin de monitorear el aumento de temperatura (Fig. N°32) de la superficie de la plancha metálica en función del tiempo, se aprovechó este momento para homogenizar lodo con ayuda de un rastrillo.



**Figura 32: Medición de temperatura interior del horno.**

8. Pasado el tiempo proyectado de 1 Hora se procedió a retirar el lodo secado abriendo la compuerta de la parte frontal del horno, se utilizó una pala para empujar el biosólido a la bandeja metálica de colección ubicada al pie del horno.
9. Se retiró una muestra de biosólido para realizar los análisis respectivos que son requeridos por la normativa.



**Figura 33: Muestras de lodo extraídas para posterior análisis en laboratorio.**

Se extrajeron muestras de aproximadamente 200g para análisis internos (Fig. N°33) (Humedad) y muestras de 500g para análisis externos por parte de SGS del Perú, la cantidad de muestra es definida por los requerimientos del laboratorio interno y el laboratorio externo.

10. El biosólido fue ensacado fin de ser utilizado como abono orgánico en futuras ocasiones.
11. Previo a retirarse de la zona el operador verifico que la llama este completamente apagada con el fin de evitar posibles incendios.
12. Los restos de ceniza generados por la combustión de la madera utilizada fueron ensacados y utilizados como adicionales para la generación de compost.

Estos pasos fueron realizados durante 5 veces utilizando diferentes cantidades de madera, alcanzándose diferentes temperaturas y con porcentajes de reducción de humedad variados. La muestra a enviar para análisis fue seleccionada en base a las características cualitativas tales como olor, consistencia, color y textura.

### 3.3.1. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DE BIOSÓLIDO

Se colectó y analizó una muestra de biosólido siguiendo la misma metodología que en el caso del lodo residual (Punto 3.1), analizando únicamente los parámetros que no lograron cumplir con la R.M. 024-2017-VIVIENDA en primera instancia.

### 3.4. PRUEBAS DE EFECTIVIDAD PARA REVEGETACIÓN

Se empleó un diseño experimental correspondiente a un DCR (Diseño Completamente Randomizado), en el cual se realizó el cultivo de 27 unidades experimentales de *Zea mays* L. en 9 macetas cerámicas de volumen 0.0015 m<sup>3</sup>. Estas 9 macetas se dividieron en 3 grupos realizándose la mezcla manual de estas con compost, tierra de cultivo y biosólido a diferentes concentraciones (Tabla N°20) basadas en el estudio de respuesta del maíz ante compost (Zahir Shah, Zahid Shah, Muhammad Tariq, & Muhammad Afzal, 2007). Se inspeccionaron las unidades experimentales mediante fotografías a partir del día de cultivo cada 4 días, durante 1 mes. Asimismo, se realizaron análisis de fertilidad para cada uno de los sustratos utilizados.

**Tabla 20: Grupos elaborados para realizar las pruebas de eficiencia con biosólido.**

GRUPO 1	Alta concentración	1/4T + 3/4B	<b>B1</b>
		4/4T	<b>T1</b>
		1/4T + 3/4C	<b>C1</b>
GRUPO 2	Media concentración	1/2T + 1/2B	<b>B2</b>
		4/4T	<b>T2</b>
		1/2T + 1/2C	<b>C2</b>
GRUPO 3	Baja concentración	3/4T + 1/4B	<b>B3</b>
		4/4T	<b>T3</b>
		3/4T + 1/4C	<b>C3</b>

B: biosólido, T: tierra cultivo, C: compost, Fuente: elaboración propia.

- Grupo 1: tratamientos con 3/4 de biosólido y compost además de un control de tierra pura.

- Grupo 2: tratamientos con 2/4 de biosólido y compost además de un control de tierra pura.
- Grupo 3: tratamientos con 1/4 de biosólido y compost además de un control de tierra pura.

Cada maceta contuvo 3 semillas de *Zea mays* L. (Fig. N°34), cultivada a una profundidad de 5 cm desde la superficie del sustrato, las macetas fueron puestas aleatoriamente unas al lado de otras,

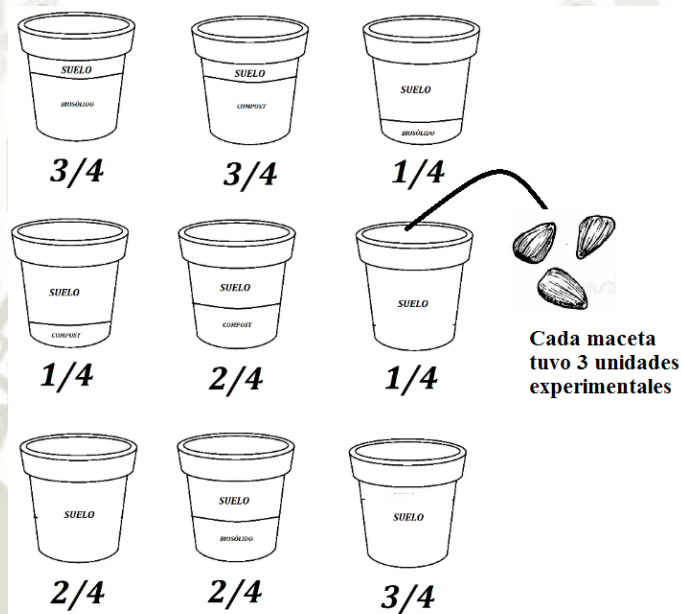


Figura 34: Esquema de la distribución de macetas con los tratamientos.

El *Zea mays* L. “maíz” fue elegido debido a que es una especie de rápido crecimiento, presentando una altura de hasta 130 cm y número de hojas de 6 en un plazo de 30 días según estudios (Julio A, Soplín, Ana Rengifo, & Jhony Chumbe, 1993).

Los contenedores de las muestras en este caso las macetas fueron divididas en 3 grupos mezclados entre sí y puestos en un sombreadero, controlándose los siguientes factores.:

- Temperatura.
- Horas de luz solar diarias.
- Frecuencia de riego.
- Suelo de mezcla.
- Cantidad de suplemento utilizado.

Finalmente, para la obtención de resultados de eficiencia del biosólido se extrajeron las 27 unidades experimentales de *Zea mays* L., de las cuales se tomaron los datos de:

- Altura de tallo: con una regla graduada se midió la longitud del tallo partiendo desde la superficie del suelo hasta la punta del tallo, antes de la bifurcación de las hojas.
- Longitud de raíz: posterior a la medición de tallo, se extrajeron las unidades experimentales del suelo con el fin de realizar la medición de la longitud de raíz. Se siguió se siguió la metodología de (Rosario Miralles De Imperial et al., 2002) que indica que las plantas deben ser extraídas con la tierra de cultivo para posteriormente ser sumergidas en agua lo cual permite la sedimentación de las partículas de suelo dejando las raíces descubiertas y en buen estado, se tomó como dato la longitud de raíz más larga.

Los promedios de longitud de tallo y de raíz de las unidades experimentales fueron sometidas a un análisis de varianza (ANOVA) que determina si dos cursos de acción arrojan resultados similares, esto se realizó con el software STATISTICA. Caso existiese variabilidad entre los tratamientos, es decir la presencia de letras a, b o c, se procedió a aplicar la prueba de especificidad de Tukey ( $p < 0.05$ ) para establecer diferencias significativas entre los diferentes tratamientos aplicados. (José Vicéns Otero, Ainhoa Herrarte Sánchez, & Eva Medina Moral, 2005). Las fotografías tomadas correspondieron a los datos cualitativos mientras que las longitudes de tallo y raíz correspondieron a los datos cuantitativos.

### **3.5. CÁLCULO DE COSTO BENEFICIO**

Se compilaron los costos en base a las actas de valorización del periodo 2017, a partir de estas se realizó el análisis de los costos/beneficios en base a la guía de comisión europea del año 2003, la guía indico que si el valor obtenido es mayor a 1 (la unidad) el proyecto será viable (Comisión Europea, 2003). Finalmente se realizaron las proyecciones del ahorro esperado para el año 2018 como parte de la ejecución del proyecto propuesto.

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL LODO RESIDUAL

Los resultados obtenidos del análisis del lodo residual fueron contrastados con los valores de la R.M. 024-2017-VIVIENDA para poder verificar aquellos que excedían el límite. Los contrastes se presentan por tipo de parámetro: estabilización, higienización y toxicidad química; los análisis completos se hallarán en el Anexo 3.

#### - Parámetros de estabilización

Los valores de parámetros de estabilización obtenidos fueron (Tabla N°21):

**Tabla 21: Estabilización del lodo residual respecto a la R.M. 024-2017-Vivienda**

PARAMETROS DE ESTABILIZACIÓN			
Parámetro	Valor de ensayo	Concentración máxima permitida - R.M. 024-2017	Cumplimiento
Sólidos Totales base húmeda (mg/kg)	109111	No aplica	-
Sólidos Volátiles Base húmeda ( mg/Kg )	85525	< 65466.6	NO

Fuente: elaboración propia

La norma indica que los sólidos volátiles no deben superar el 60% del valor de los sólidos totales, en este caso el valor del ensayo supera en 78.38%, incumpliendo con la norma.

#### - Parámetros de higienización.

Los valores de parámetros de higienización obtenidos fueron (Tabla N°22):

**Tabla 22: Higienización del lodo residual respecto a la R.M. 024-2017-Vivienda**

PARAMETROS DE HIGIENIZACIÓN			
Parámetro	Valor de ensayo	Concentración máxima permitida - R.M. 024-2017	Cumplimiento
SC AQ Numeración de E.Coli ( NMP/ 1g ST )	7000000	1000	NO
SC CX Deter. Huevos de helminto ( Huevos/4GST )	0	<1	SI

Fuente: elaboración propia

No se cumplen los parámetros de norma en referencia a *E. coli*, el cual es excedido de manera extrema. El exceso de *E. Coli* era de esperarse y va acorde a los valores de otros lodos residuales sin tratamiento donde se encontraron valores de 2410000 NMP/1g ST (Malack Muhammad, Bukhari Alaadin, & Abuzaid Nabil, 2007).

**- Parámetros de toxicidad química**

Los parámetros de toxicidad química van ligados directamente a la presencia de metales pesados, los valores obtenidos fueron (Tabla N°23):

**Tabla 23: Toxicidad química del lodo residual respecto a la R.M. 024-2017-Vivienda**

PARAMETROS DE TOXICIDAD QUÍMICA			
Parámetro ( mg/Kg ST Materia seca )	Valor de ensayo	Concentración máxima permitida - R.M. 024-2017 ( mg/Kg ST Materia seca )	Cumplimiento
Arsénico	25.298	40	SI
Cadmio	0.721	40	SI
Cromo	14.214	1200	SI
Cobre	44.456	1500	SI
Plomo	87.25	400	SI
Mercurio	<0.262	17	SI
Níquel	6.781	400	SI
Zinc	454.354	2400	SI

Fuente: elaboración propia

Se verifico el cumplimiento de los 8 parámetros contemplados en la norma con amplios márgenes, corroborando así la inexistencia de metales en el lodo residual.

El análisis inicial del lodo residual revelo que no existen metales presentes, aspecto muy favorable ya que disminuye la complejidad del tratamiento requerido, esto va acorde a análisis realizados en lodos provenientes de plantas de tratamiento de agua residual municipal donde

los valores de metales son bastante bajos (Junjie TAO et al., 2012). Esto se debe a la naturaleza de la composición de las aguas municipales que en su mayoría es de carga orgánica.

#### 4.1.1. ELECCIÓN DEL TRATAMIENTO ADECUADO

Se analizaron los 4 parámetros planteados en la metodología (Tabla N°24).

**Tabla 24: Análisis de factores para la elección de tecnología.**

TRATAMIENTO	COSTOS	ESPACIO	DISPONIBILIDAD DE ENERGIA	TIEMPO REQUERIDO
<b>COMPOSTAJE DE LODOS</b>	+10000\$	El espacio requerido es mediano, debido a la gran cantidad de lodo generado por día y el tiempo de tratamiento se requerirá múltiples celdas para almacenar el lodo residual hasta que cumpla el tiempo de retención adecuado y rote.	No se requiere ningún tipo de energía para el tratamiento, el compostaje involucra uso de energía solar y de microorganismos para la transformación a un producto inocuo y aprovechable en suelos.	Entre 2-3 meses dependiendo de las condiciones en el ambiente presentes.
<b>SECADO TERMINO</b>	4000\$	El espacio requerido es bajo, dependiendo del diseño que se emplee, se puede realizar un sistema en bandejas aplicadas verticalmente lo cual reduce el espacio de la superficie necesario.	Se puede disponer de diversas fuentes que generen el calor para el secado: solar, eléctrica, mediante combustión directa de materiales o gases.	Horas o minutos dependiendo del calor entregado al sistema.
<b>ESTABILIZACION ALCALINA</b>	+10000\$	El espacio requerido es mediano, dependiendo del diseño que se emplee, el lodo debe ir disperso sobre la superficie en capas no muy gruesas para asegurar el contacto con la cal.	No requiere energía alguna, la mezcla puede realizarse manualmente por personal.	Entre 4-7 días agregando 3Kg de cal por 20 Kg de lodo, se realizaron pruebas a 20°C en un ambiente controlado.
<b>INCINERACION</b>	+15000\$	El espacio requerido es mediano, se requerirá generar estructuras metálicas, conexiones eléctricas, gasfitería, calderas.	Requiere fuentes de energía que puedan brindar cantidades elevadas para poder generar calor necesario para incinerar los residuos.	Horas o minutos dependiendo del calor entregado al sistema.

Fuente: elaboración propia.

Posterior a ello se asignó un valor a los tratamientos (Tabla N°25)

**Tabla 25: Valores asignados a los tratamientos en base a los indicadores planteados.**

ITEM	TIPO DE TRATAMIENTO	INVERSION	ESPACIO	TIEMPO	DISPONIBILIDAD DE FUENTE DE ENERGIA	TOTAL
1	TRATAMIENTO ALCALINO	+++	+	++	+++	9
2	COMPOSTAJE	+++	+	+	+++	8
3	SECADO TERMINO	++++	++	+++	+++	12
4	TRATAMIENTO CON CALOR (INCINERACIÓN)	+++	++	+++	+	9

Nota: Mientras más símbolos + haya el tratamiento es mejor.

El secado térmico compone los menores costos, debido a que requiere infraestructura de menor tamaño y con materiales más económicos; en el tema de tiempo requerido la incineración y el secado térmico presentan los menores tiempos, el tema de disponibilidad de energía es variado teniéndose como único tratamiento sin fuente de energía disponible la incineración ya que se requiere de gran cantidad de energía para llegar a la  $T^{\circ}$  deseada.

En base a todo lo anterior, el secado térmico es la tecnología más apropiada debido a: los bajos costes que representa; a la adecuación que posee para utilizar diferentes tipos de energía, en este caso la combustión directa de biomasa (madera residual de carpintería), que además en un futuro podría utilizarse el metano proveniente en el relleno sanitario (Maysson Esmi Armenta-Rivas, Liseth Dayana Sierra-Camargo, & Andrés M. Vélez-Pereira, 2017) o la energía solar; y finalmente, el bajo tiempo de tratamiento que quedó demostrado por R.A. Gizatulin 2016 quien sometió muestras de lodo a un calentamiento de 100- 200°C durante 5 minutos en un horno logrando reducción de patógenos como coliformes a 0. (R. A. Gizatulin et al., 2016).

#### 4.2. CONSTRUCCIÓN DE HORNO PARA TRATAMIENTO

El diseño final propuesto fue el siguiente (Fig. N°35 y Fig. N°36), este se basó en la construcción de hornos caseros de barro (Pedro M. Molina, 2005) con ligeras modificaciones externas en el tambor superior por temas de seguridad y de mejora operacional.

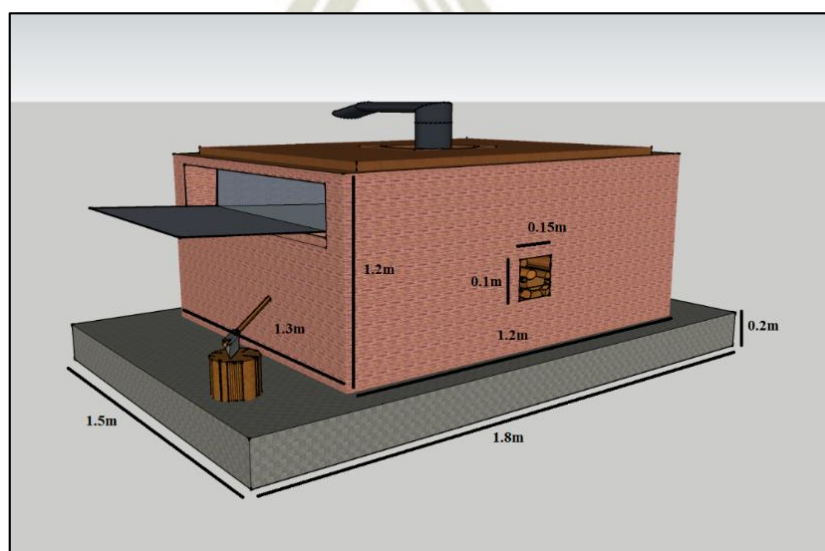
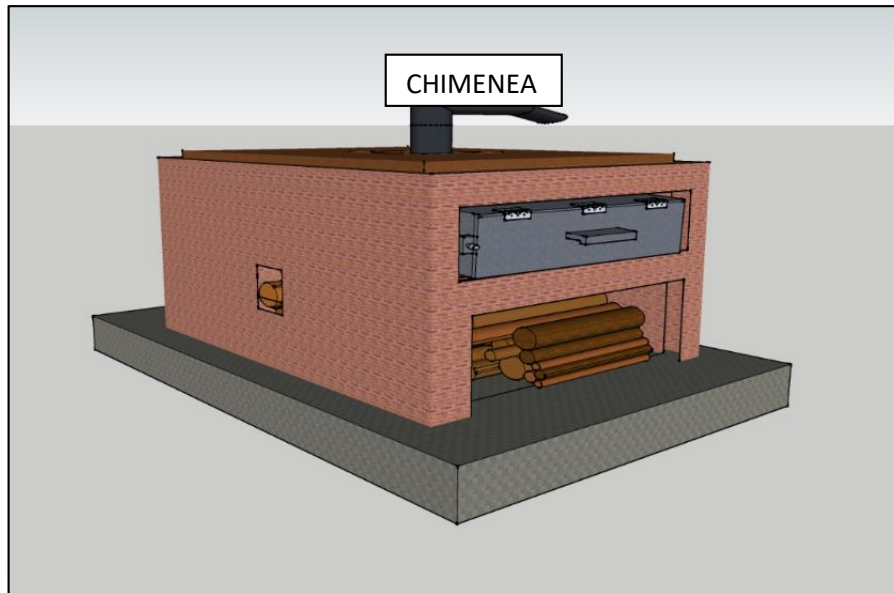


Figura 35: Vista parte trasera del diseño de horno.



**Figura 36: Vista parte frontal del diseño de horno.**

La chimenea se incluyó con el fin de disminuir emisiones, esta se conectó a una tubería HDPE de 3", que guio el gas hasta el relleno sanitario, donde fue hundida a 3m de profundidad, quedando parte de las emisiones atrapada por el material orgánico y el lixiviado presente. Esta inyección acidifico ligeramente el pH del lixiviado del relleno, pero no trajo ningún problema al momento de tratar dicho residuo con cal. Adicional a esto un estudio llevado a cabo por el departamento de agricultura de los EE.UU afirma que el balance neto total de la combustión de madera es 5%, debido a que el CO<sub>2</sub> generado durante la combustión iguala al consumido durante el ciclo de vida del árbol (Richard Bergman & John Zerbe, 2004), por lo cual la disminución de las emisiones daría un balance general neto en la combustión de la madera.

Las modificaciones que se aplicaron respecto al tambor superior no afectaron el funcionamiento interno, solo se modificaron componentes exteriores a fin de facilitar la operación para ingresar el lodo residual y retirar el biosólido; además se mejoraron las condiciones de seguridad permitiendo que se vierta el lodo al interior del horno de manera segura, y evitando que las bolsas en las que se encontraba el biosólido se derritieran y pegaran al tambor superior.

La ubicación escogida para la construcción fue la zona de relleno sanitario de la U.O. a 2.5 Km de los campamentos (Fig. N°37), esta fue elegida con el fin de evitar que olores y emisiones generadas en el proceso de secado produzcan molestia alguna a personas, yendo acorde a la R.M. 128-2017-VIVIENDA “Condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición final” que indica que se debe evitar daños a las personas por malos olores. Además de esto, la zona del relleno sanitario tiene personal permanente de trabajo por lo cual se adecuarían sus funciones para operar el horno y generar el biosólido.



**Figura 37: Relleno sanitario, ubicación del lugar para construcción del horno.**

Para la construcción del horno se contó con el apoyo de 2 personas del área, los materiales como ladrillos y cemento fueron trasladados mediante camioneta hacia el lugar de construcción en el relleno sanitario. El levantamiento de la loza de concreto (Fig. N°38) tomo 4h entre el encofrado y vaciado de concreto.



**Figura 38: Loza de concreto de 1.5m x 1.8m construida en el relleno sanitario de la U.O.**

Se dejó fraguar la loza durante 2 días para poder asegurar su estabilidad, posterior a ello se comenzó a realizar la construcción de la estructura exterior del horno (Fig. N°39),



**Figura 39: Construcción de estructura exterior de horno de deshidratación de lodos.**

Ya fraguada la estructura se procedió a levantar y ubicar el tambor metálico sobre esta de tal manera que quedara centrado y con la inclinación de 5ª propuesta (Fig. N°40).



**Figura 40: Proceso de construcción del horno para deshidratación de lodos.**

Pasado 3 días se procedió a verificar el estado final del horno (Fig. N°41), se revisó el correcto fraguado del concreto, la estabilidad de la estructura y estado de la losa soporte.



**Figura 41: Estado final del horno para tratamiento de lodos de la U.O.**

El diseño final no genera un impacto visual mayor, yendo acorde al tema de permacultura que se planteó en un inicio, el resultado de la construcción estuvo acorde al diseño planteado

#### 4.3. EVALUACIÓN DE HORNO PARA TRATAMIENTO DE LODO

Las muestras se trabajaron con un tiempo total de tratamiento de 1.5 horas, las cantidades de madera usada fueron de 17 Kg -19 Kg -21 Kg -23 Kg, partiendo de la cantidad base de 25 Kg, la cantidad de lodo ingresado fue de 90 Kg por prueba.

Se presenta la tabla N°26, resumen de todas las pruebas realizadas anteriormente.

**Tabla 26: Resumen pruebas de tratamiento de lodo residual realizadas.**

Nº PRUEBA	KG DE LODO INGRESADOS	Tiempo de pre calentamiento	Tiempo de estadía en horno (h)	Tº alcanzada (°C)	Kg de Madera	% Humedad Inicial	% HUMEDAD FINAL
1	90	15 Min	90 Min	201	17	74%	61.3
2	90	15 Min	90 Min	204	19	74%	59.7
3	90	15 Min	90 Min	214	21	74%	56.5
4	90	15 Min	90 Min	221	23	74%	54.1
5	90	15 Min	90 Min	256	25	74%	48.9

Fuente: Elaboración propia.

En base a los anteriores resultados se concluyó que la muestra N°5 (Fig. N°42) poseía las mejores características tanto visualmente debido al color que presentaba (zonas carbonizadas) asegurando así la calidad higiénica; en olor, el cual dejó de ser desagradable llegando hasta un

punto casi inodoro; y finalmente en % de humedad, donde presentaba la mayor sequedad con un 48.9% de humedad lo cual genera mayor facilidad para su transporte y aplicación en suelos al volverse un material más granulado y de fácil mezcla.



**Figura 42: Muestra N°5 de biosólido extraído post tratamiento.**

Es posible que el tiempo de tratamiento y la humedad sean reducidos con el fin de facilitar el transporte del material, también se determinó que para lograr esto la cantidad de combustible es el factor primordial. Durante los tratamientos aplicados, no hubo problema alguno en la dotación de madera combustible ya que se generan 158 Kg de este cada 4 día. Además, si es requerido agregar más combustible, no será posible sin una previa evaluación de las nuevas cantidades requeridas.

Con respecto a las emisiones, durante las pruebas se pudo corroborar la disminución de las emisiones al ambiente, esto puede ser explicado debido a que la zona donde se encuentra hundido el tubo de la chimenea está a mayor presión que la atmosférica, y es una superficie larga que según investigaciones propicia la captura del CO<sub>2</sub> (Per Eirik S. Bergmo, Alv-Arne Grimstad, & Erik Lindeberg, 2011),

### 4.3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DE MUESTRAS DE BIOSÓLIDO

La muestra N°5 se colectó, envió y analizó; los resultados provenientes del biosólido obtenido mediante tratamiento térmico obtenido son resultados certificados por el INACAL y con valor oficial para ser presentados ante las autoridades cuando sea necesario (Anexo 4).

Como se indicó en la metodología solo han sido analizados los parámetros que no fueron cumplidos en primera instancia, los cuales corresponden a: parámetros de parámetros de estabilización (Tabla N°27) e higienización (Tabla N°28).

#### a) Parámetros de estabilización

Tabla 27: Estabilización del biosólido respecto a la R.M. 024-2017-Vivienda

PARAMETROS DE ESTABILIZACIÓN - HORNO DE TRATAMIENTO			
Parámetro	Valor de ensayo	Concentración máxima permitida - R.M. 024-2017	Cumplimiento
Sólidos Totales base húmeda (mg/kg )	543683	No aplica	No aplica
Sólidos Volátiles Base húmeda ( mg/Kg )	303906	< 326209.8	SI

Fuente: elaboración propia

El parámetro de estabilización respecto a sólidos volátiles en base húmeda fue cumplido con un valor de 55.83%, menor al 60% requerido por la norma.

#### b) Parámetros de higienización

En el caso de los parámetros de higienización (Tabla N°28) *E. Coli* fue cumplido al 100%, partiendo de un valor del lodo residual de 7000000 NMP/1g ST hasta un valor de <1.8 NMP/1g ST siendo la reducción de casi el 100%, valor esperado ya que en investigaciones se comprobó que ante altas temperaturas el *E. Coli* desaparece al no ser un microorganismo termo tolerante.

Tabla 28: Higienización del biosólido respecto a la R.M. 024-2017-Vivienda

PARAMETROS DE HIGIENIZACIÓN – HORNO DE TRATAMIENTO			
Parámetro	Valor de ensayo	Concentración máxima permitida - R.M. 024-2017	Cumplimiento
SC AQ Numeración de E.Coli ( NMP/ 1g ST )	< 1.8	1000	SI

Fuente: elaboración propia

#### 4.4. PRUEBAS DE EFECTIVIDAD PARA REVEGETACIÓN

Se presentaron los resultados en dos instancias básicas: la primera fotografías para evidenciar cualitativamente el crecimiento de las especies, y la segunda instancia con resultados cuantitativos obtenidos estadísticamente mediante el análisis con “STATISTICA” de la altura del tallo y longitud de raíz.

##### 4.4.1. INSTANCIA I: RESULTADOS CUALITATIVOS.

Los grupos formados fueron los siguientes (Fig. N°43).



**Figura 43:** Contenedores de muestra sembrados para el fin de verificar la eficiencia como suplementos para suelos.

Se presentan los resultados cualitativos obtenidos durante el seguimiento del desarrollo de las unidades experimentales mediante evidencia fotográfica en la cual se aprecia el estado de las hojas, color y crecimiento gradual del tallo.










Se discutieron los resultados de la fecha de 4 días, 16 días y 36 días, ya que fueron fechas en las cuales se puede apreciar el estado inicial, el estado medio y el estado final de los cultivos.

El resto de fechas fotografiadas se encontrarán en el Anexo N°5.

**a) RESULTADOS – 4 DIAS**

Pasados los primeros 4 días (Tabla N°29) se observa que la muestra C2-C1 logro la germinación de las 3 repeticiones, las muestras T3-T2-T1 también presentan presencia de brotes, pero en menor cantidad. Finalmente, el biosólido B2 y B3 presentan brotes, cosa que no ocurre con B1 que no presenta brote alguno. Esto puede estar relacionado a un sustrato muy compactado, se ha observado que al regar a B1 el agua se queda estancada en la superficie indicando así una baja permeabilidad.

**Tabla 29: Resultados cualitativos en revegetación, 4 días.**

	CÓDIGO	SUELO ( T )	COMPOST ( C )	BIOSOLIDO ( B )
28/03/2018	C-1, T-1, B-1			
	C-2, T-2, B-2			
	C-3, T-3, B-3			

**b) RESULTADOS FECHA - 16 DIAS**

Pasados 16 días (Tabla N°30) se logró observar que las muestras cultivadas con compost presentan los mejores resultados con tallos en buen estado y gran número de hojas, la muestra de biosólido B1 (75%B+25%T) presenta pequeños brotes, mientras que el resto de muestras que ya presentan hojas, evidenciándose un gran atraso en su crecimiento. La muestra B3 (25%B+75%T) va presentando los mejores indicios de los cultivos con

biosólido para indicar que genera un buen crecimiento de *Zea mays L.* el tallo y las hojas que presenta no están muy alejado del aspecto de las muestras de suelo y compost.

**Tabla 30: Resultados cualitativos en revegetación, 16 días.**

	CÓDIGO	SUELO ( T )	COMPOST ( C )	BIOSOLIDO ( B )
9/04/2018	C-1, T-1, B-1			
	C-2, T-2, B-2			
	C-3, T-3, B-3			

**c) RESULTADOS – 36 DÍAS.**

**Tabla 31: Resultados cualitativos en revegetación, 36 días.**

	CÓDIGO	SUELO ( T )	COMPOST ( C )	BIOSOLIDO ( B )
29/04/2018	C-1, T-1, B-1			
	C-2, T-2, B-2			
	C-3, T-3, B-3			

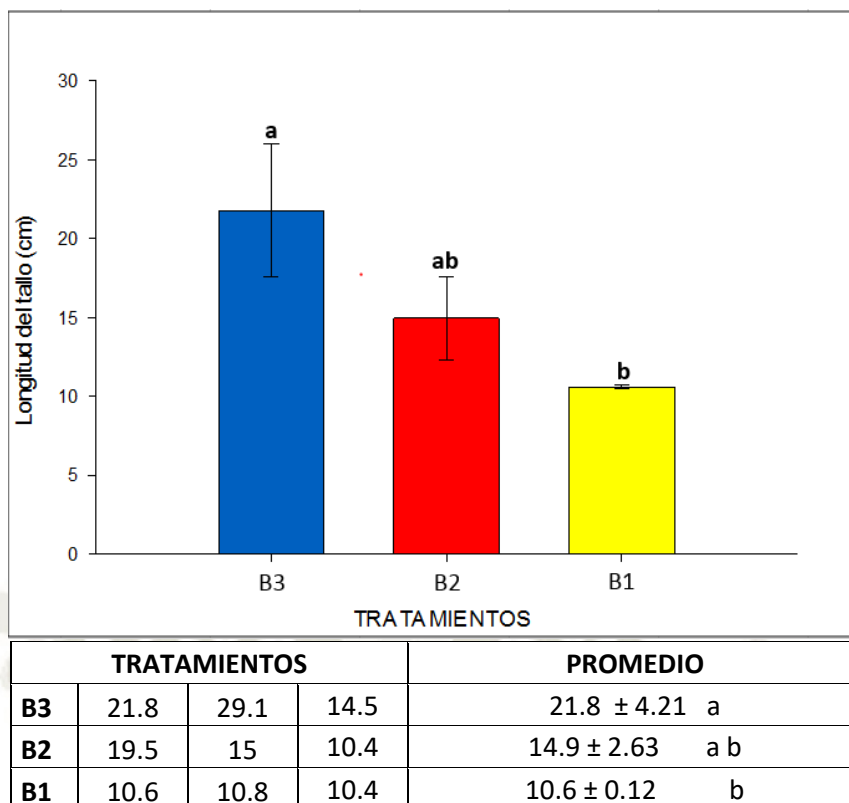
Al final de las pruebas (Tabla N°31), se comprobó que las unidades experimentales de *Zea mays* L. correspondientes al biosólido B3 alcanzaron la segunda altura promedio mayor con 21.80 cm, solo atrás de T2 con alturas de tallo promedio de 21.86 cm. En el caso de longitud de raíz B3 presento el mejor resultado promedio con 36.9 cm. El estado de salud de las plantas fue muy bueno hasta pasados los 32 días, desde el cual fue decayendo. Las hojas empezaron a perder pigmentación y fuerza empezando a orientarse hacia el suelo, además algunos de los tallos también empezaron a perder estabilidad, inclinando las especies hacia un lado. B1 presento el menor desarrollo (Tabla N°30) durante todo el seguimiento, esto es probable debido a que su germinación fue posterior a las demás unidades como se aprecia en la tabla N°32, lo cual se atribuye al estado físico de su sustrato; el cual tuvo características arcillosas debido a gran cantidad de biosólido aplicada, esto no permite el ingreso normal del agua ni aireación.

#### 4.4.2. INSTANCIA II: RESULTADOS CUANTITATIVOS

El análisis estadístico entregó 8 gráficos, aquellas columnas que posean la misma letra no poseían diferencia significativa (es decir no existe un  $p < 0.05$ ) mientras que las que poseían diferentes letras a o b poseían diferencia significativa (existe  $p < 0.05$ ), Los datos base longitud de tallo y raíz se presentan en el Anexo N°6.

En primera instancia se presentan los resultados de longitud de raíz y tallo obtenidos de los tratamientos que emplearon únicamente como sustrato el biosólido B1-B2-B3 en diferentes concentraciones mezclado con tierra de cultivo.

Para el caso de longitud de tallo como se puede observar en el gráfico N°8 el tratamiento B3 (25%B+75%T) alcanzo la mayor longitud de tallo de las plántulas de maíz con 21.8cm, sin embargo, el tratamiento B1 (75%B+25%T) solo alcanzo la longitud de 10.6cm encontrándose así diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los dos tratamientos. Para el caso de B2 se encontró un valor de 14.9cm, lo que lo ubica en el punto medio de los tratamientos. Para el análisis de la varianza ir al Anexo 7.

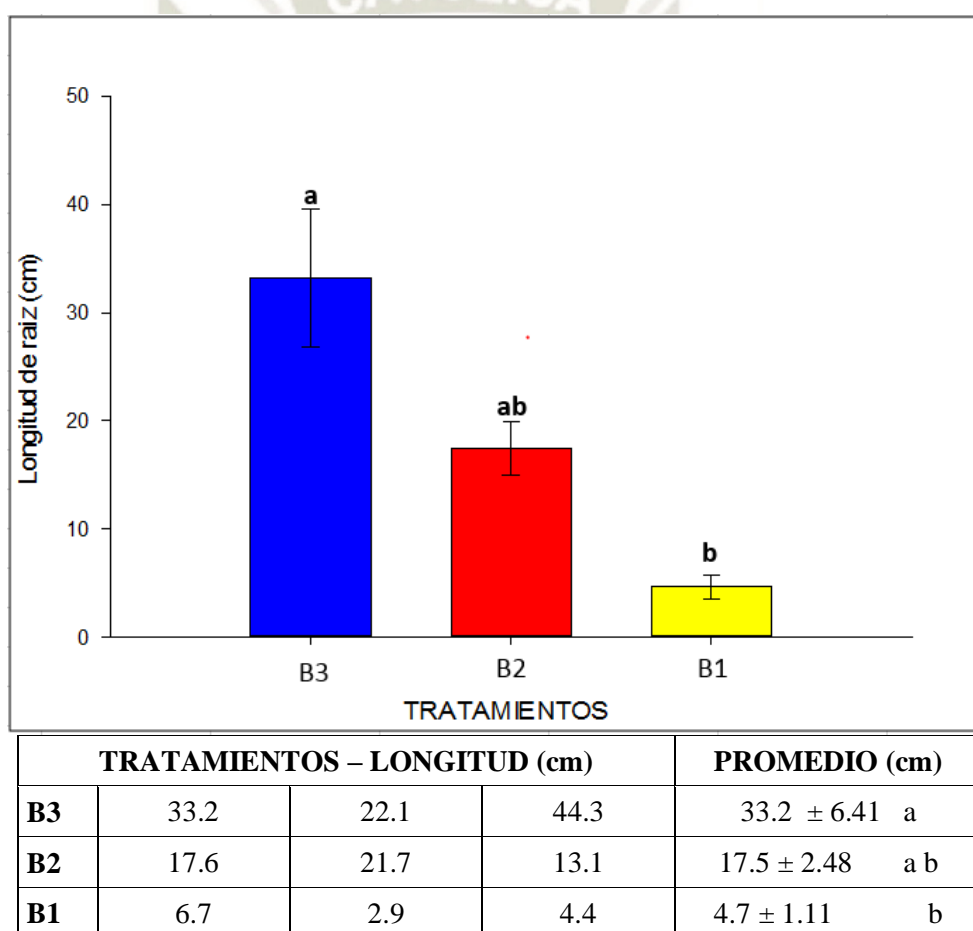


**Gráfico 8: Longitud de tallo alcanzada de *Zea mays* L. cultivada con biosólido. (Fuente: elaboración propia)**

B3 (25%B+75%TC) alcanzó la mayor longitud del tallo ( $21.8 \pm 4.21$  cm) en relación a los demás tratamientos, la razón de estos resultados pudo deberse a que el biosólido en las dosis más elevadas B2 (50%B+50%TC) y B1 (75%B+25%TC) habrían incrementado la salinidad del sustrato final en base a los análisis efectuados en laboratorio (INIA, Anexo 14). Esto se corrobora de acuerdo a lo estudiado por Nader van Hoorn en el año 2000, que indicó que cada especie vegetal posee un denominado índice de tolerancia de salinidad (ECe) con unidades dS/m. Este valor representa el umbral que al ser excedido genera un estrés salino, retrasa y reduce la germinación de las semillas, ya que en esta etapa de germinación es donde el maíz es más susceptible. La salinidad afecta el potencial osmótico del suelo reduciendo la cantidad de agua absorbida por la semilla; en la fase de crecimiento retrasa el crecimiento de hojas y reduce su tamaño debido a la reducción de la elongación celular. (Muhammad Farooq, Mubshar Hussain, Abdul Wakeel, Kadambot H, & M. Siddique, 2015). En el caso del *Zea mays* L. se encontró un valor de tolerancia máximo de 1.8 dS/m valor que pudo ser superado por las

concentraciones de B1 y B2. (Nader, van Hoorn, Hamdy, & Mastrorilli, 2000), El aspecto de salinidad elevada en el biosólido pudo verse relacionado a la adición del precipitado proveniente del tratamiento de lixiviado (Montserrat Soliva & Marga López, 2004)

Respecto a las longitudes de raíz (gráfico N°9), el tratamiento B3 (25%B+75%T) alcanzo la mayor longitud de las plántulas de maíz con 21.8cm, mientras que, el tratamiento B1 (75%B+25%T) solo alcanzo la longitud de 6.7cm encontrándose diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los dos tratamientos. Para el análisis de la varianza ir al Anexo 8.



**Gráfico 9: Longitud de raíz alcanzada de Zea mays L. cultivada con biosólido (Fuente: elaboración propia)**

El gráfico N°9 presenta las longitudes de raíz de las muestras B1, B2 y B3; donde el tratamiento B1 alcanzo la menor longitud de raíz ( $4.7 \pm 1.11$  cm) en relación al tratamiento B3 con la mayor longitud de raíz ( $33.2 \pm 6.41$  cm), explicándose por las mismas razones que en el gráfico N°8.

Donde la salinidad genero el bajo resultado en el tratamiento B1, estudios realizados en China en el año 2012, afirman que la salinidad afecta negativamente el ratio de crecimiento además de unas disminución en la fotosíntesis que afecta el crecimiento de hojas en etapas de desarrollo más avanzado (Chunxiang Qu et al., 2012). Adicional a esto la CIC (Capacidad intercambio catiónico), que determina los elementos intercambiables por los suelos (Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>) deben esta entre ciertos rangos para evitar antagonismos como es el caso exceso de la relación entre K-Ca-Mg que pueden bloquearse (Tabla N°32). (Marisol Andrades & Elena Martínez, 2014) , esto pudo haber sucedido en el tratamiento B1 debido al elevado potasio.

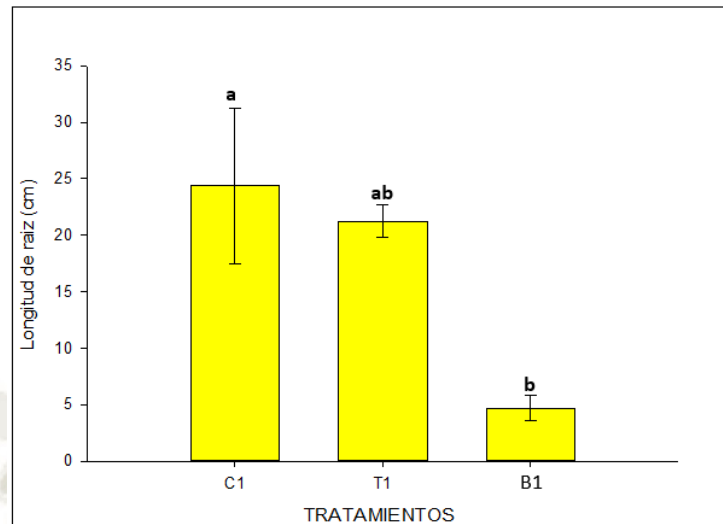
**Tabla 32: Composición porcentual del CIC y los valores recomendados.**

	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
<b>Biosólido</b>	48.6%	6.9%	4.3%	40.1%
<b>Tierra</b>	78.5%	11.8%	2.0%	7.8%
<b>Compost</b>	81.4%	3.3%	1.7%	13.6%
<b>RECOMENDADO</b>	60 a 80	10 a 20	2 a 6	0 a 3

Fuente: Elaboración propia.

A partir de este punto se expondrán los resultados obtenidos entre los tratamientos realizados entre los diferentes sustratos a concentraciones iguales, es decir C1-T1-B1, C2-T2-B2 y C3-T3-B3, con el fin de comparar las eficiencias entre compost (C), biosólido(B) y tierra de cultivo (T). Los resultados de longitud de raíz y tallo fueron los siguientes:

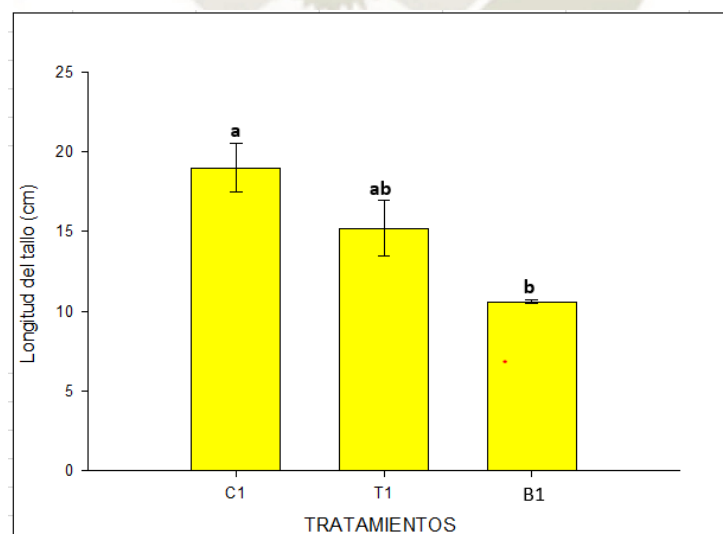
Entre los tratamientos de alta concentración (gráfico N°10), C1 (75%C+25%T) alcanzo la mayor longitud de raíz de las plántulas de maíz con 24.4cm y T1 (100%T) de cerca con 21.2cm. Mientras tanto el tratamiento B1 (75%B+25%T) solo alcanzo una la longitud menor de 4.7cm, encontrándose diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos C1 y B1. Para el análisis de la varianza ir al Anexo 9.



TRATAMIENTOS – LONGITUD (cm)				PROMEDIO (cm)
<b>C1</b>	38.1	17.2	17.8	24.4 ± 6.87 a
<b>T1</b>	22.2	18.4	23.1	21.2 ± 1.44 a b
<b>B1</b>	6.7	2.9	4.4	4.7 ± 1.11 b

Gráfico 10: Longitud de raíz alcanzada de *Zea mays* L. entre C1-T1-B1 (Fuente: elaboración propia)

Para las longitudes de tallo en C1-T1-B1 (Gráfico N°11), la mayor longitud fue de 19cm con el tratamiento C1 (75%C+25%T), y el menor de 10.6cm con B1 (75%B+25%T), T1 (100%T) se mantuvo en una posición media con 15.2cm. Existió diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos C1 y B1. Para el análisis de la varianza ir al Anexo 10.



TRATAMIENTOS – LONGITUD (cm)				PROMEDIO (cm)
<b>C1</b>	16	21	20	19.0 ± 1.53 a
<b>T1</b>	18	15.7	12	15.2 ± 1.75 a b
<b>B1</b>	10.6	10.8	10.4	10.6 ± 0.12 b

Gráfico 11: Longitud de tallo alcanzada de *Zea mays* L. entre C1-T1-B1 (Fuente: elaboración propia)

Para las longitudes de raíz en los tratamientos C1-T1-B1 (gráfico N°11), el tratamiento B1 (75%B+25%TC) presentó los resultados más bajos ( $4.7 \pm 1.11$  cm) y C1 (75%C+25%T) los mejores ( $24.4 \pm 6.87$  cm); para el caso de longitud de tallos (gráfico N°11) se repitió la tendencia con B1 de menor longitud ( $10.6 \pm 0.12$  cm) y C1 con la mayor longitud ( $19.0 \pm 1.53$  cm). Los bajos resultados del biosólido (B1) frente al compost y tierra de cultivo, pueden atribuirse a la salinidad producida, además de un factor adicional relacionado a la condición física del sustrato, que en el caso de B1 presentó una estructura física muy similar a una arcilla. La gran cantidad de B1 al mezclarse con la tierra de cultivo, generó un sustrato bastante compacto que pudo influir en la: disponibilidad del potasio que generó un difícil drenaje, mal aireado, costras en la superficie y apelmazamientos (Marisol Andrades & Elena Martínez, 2014). Influencia que repercutió negativamente en el crecimiento de las plántulas de maíz.

Para los tratamientos de media concentración: C2 (50%C+50%T), T2 (100%T) y B2 (50%B+50%T), los resultados de longitud de raíz (gráfico N°12) no presentaron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) alguna. Ver Anexo 11 para análisis de varianza.

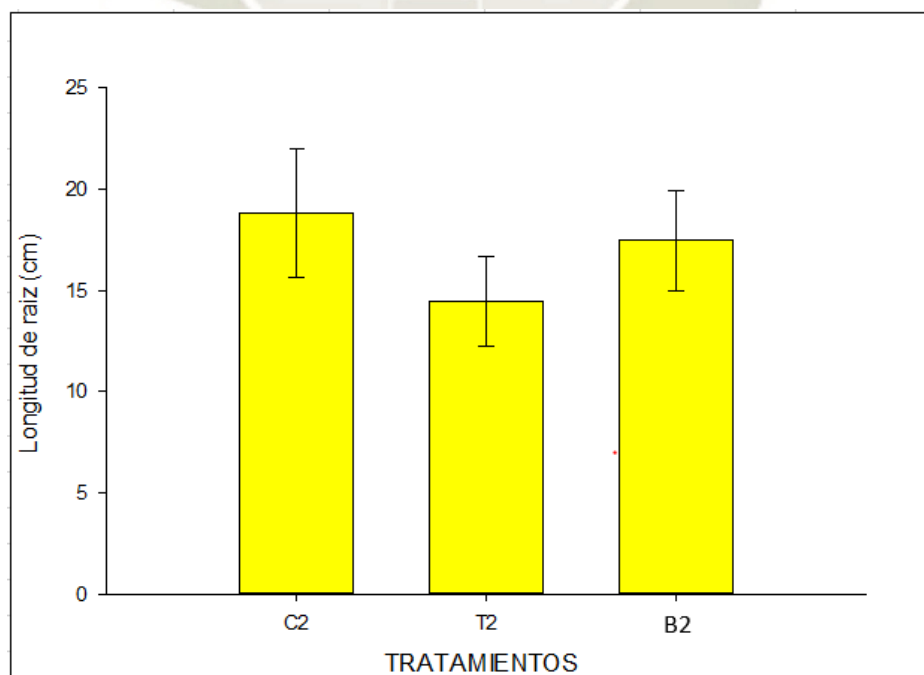
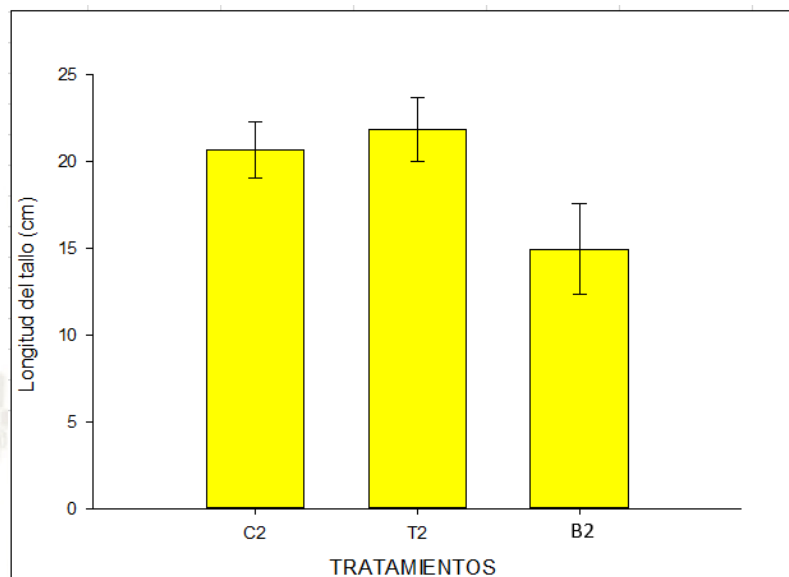


Gráfico 12: Longitud de raíz alcanzada de *Zea mays* L. entre C2-T2-B2 (Fuente: elaboración propia)

En el caso de las longitudes de tallo (Gráfico N°13) entre los tratamientos C2 (50%C+50%T), T2 (100%T) y B2 (50%B+50%T) tampoco existió diferencia significativa ( $p < 0.05$ ). Ver Anexo 12 para el análisis de varianza.



**Gráfico 13: Longitud de tallo alcanzada de *Zea mays* L. entre C2-T2-B2 (Fuente: elaboración propia)**

Para los tratamientos C2-T2-B2 las longitudes de raíces (Gráfico N°12) no poseyeron diferencias significativas, sin embargo, C2 (50%C+50%T) (18.8 cm) y B2 (50%B+50%T) (17.46 cm) presentaron mayor longitud de raíces que T2 (100%T) (14.46 cm), lo cual indica que ambos tuvieron mejor desempeño que la tierra de cultivo pura. Esto se debió al aumento de NPK que en ambos casos estuvo más cerca del recomendado para cultivos de *Zea mays* L (Tabla N°33) (A. Ashgar et al., 2010) .

**Tabla 33: Composición NPK del biosólido y compost y proporción recomendada.**

	N	P	K
<b>COMPOST</b>	14.52	1	3.78
<b>BIOSÓLIDO</b>	14.13	1	2.61
<b>TIERRA</b>	22.5	1.0	5.0
<b>RECOMENDADA</b>	<b>2.93</b>	<b>1.33</b>	<b>1</b>

En el caso de longitudes de tallo (Gráfico N°13) se presentó a T2 (21.86 cm) como la de mayor longitud, a C2 (20.66 cm) en 2do segundo lugar y finalmente B2 (14.96 cm) con la menor

longitud, esto se pudo deber a que la salinidad influencio directamente disminuyendo la germinación de las semillas (N.S. Orlovsky, U.N. Japakova, H.F. Zhang, & S. Volis, 2016). Esto se corrobora con el apartado de resultados cualitativos, donde se logró observar que la semilla de B2 germino 5 días luego respecto a sus contrapartes, esto repercutió directamente en un desarrollo más lento del tallo. Pasados los 30 de seguimiento de las muestras se evidencio que B2 estuvo muy cerca de alcanzar la altura de tallo de C2 y T2. En estas concentraciones el biosólido, la tierra de cultivo y el biosólido no poseen diferencias significativas lo cual indica que podrían utilizarse como reemplazos entre uno y otros sin afectar el desempeño de cultivos. Para el caso de los tratamientos de baja concentración, para la longitud de raíz (Gráfico N°14), se observó que entre C3 (25%C+75%T), T3 (100%T) y B3 (25%B+75%T) no existió diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la longitud de raíz; mas el tratamiento B3 presento la mayor longitud con 33.2 cm. Ver Anexo 13 para en análisis de varianza.

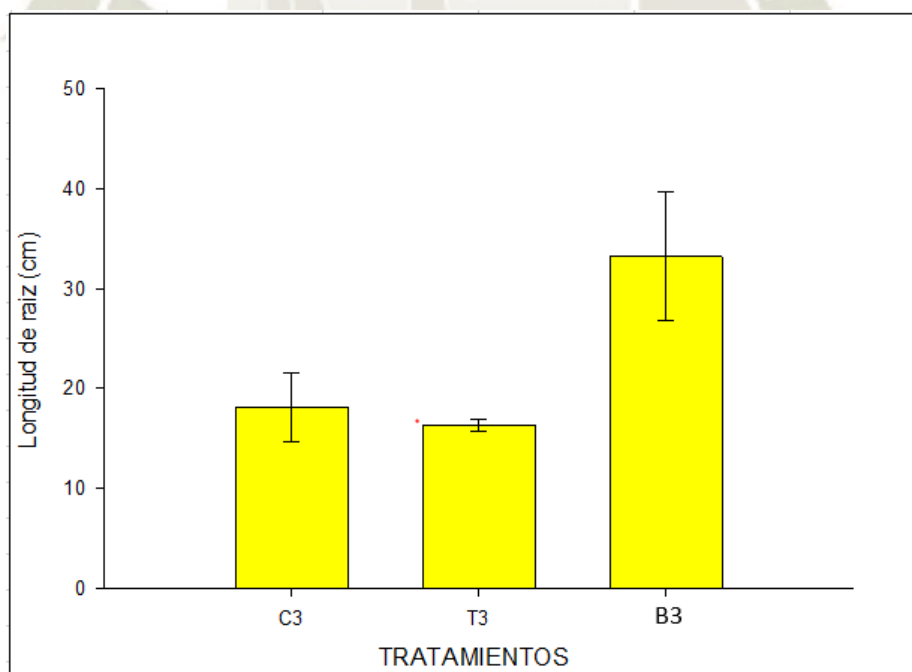
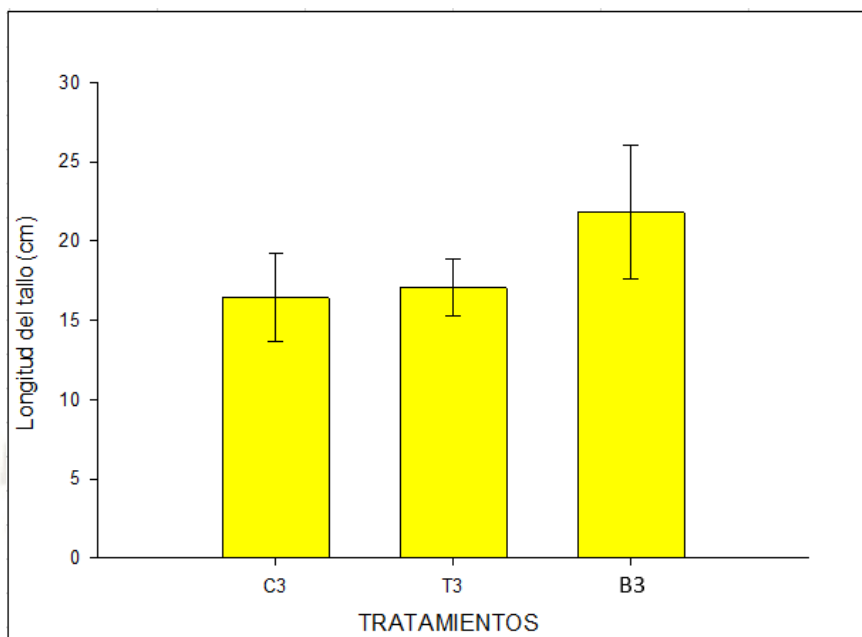


Gráfico 14: Longitud de raíz alcanzada de *Zea mays* L. entre C3-T3-B3 (Fuente: elaboración propia)

Respecto a la longitud de tallo C3-T3-B3 (gráfico N°15), se tuvo a C3 (25%C+75%T), T3 (100%T) y B3 (25%B+75%T) con resultados muy similares, por lo cual no existió diferencia

significativa ( $p < 0.05$ ) en la longitud de tallo; mas el tratamiento B3 presento la mayor longitud con 21.8cm. Ver Anexo 14 para el análisis de varianza.



**Gráfico 15: Longitud de tallo de *Zea mays* L. entre C3-T3-B3 (Fuente: elaboración propia)**

Para los tratamientos C3-T3-B3 respecto a la longitud de raíz (Gráfico N°14), se tuvo a B3 (25%B+75T%) con 33.2 cm, a C3 (25%C+75%TC) con 16.43 cm y a T3 (100%T) con 17.06 cm; para el caso de las longitudes de tallo (Gráfico N°15) el comportamiento se repitió con la mayor longitud de B3 (21.8 cm) y las menores de T3 (17.06 cm) y C3 (16.43 cm), La diferencia pudo deberse a que a la concentración aplicada de 25%, el compost no proveyó la cantidad de nutrientes suficiente para potenciar un crecimiento superior. Mientras tanto, el biosólido B3 al tener concentraciones más elevadas de macronutrientes (Tabla N°34).

**Tabla 34: Análisis de composición química de sustratos.**

	PPM o mg/L					
	pH	N	P	K	C.E.	CIC
<b>Biosólido</b>	8.17	20000	2550	1995.12	5.76	BAJO
<b>Tierra</b>	7.05	900	3755	199.98	0.23	MEDIO
<b>Compost</b>	8.10	14400	2200	5645	1.79	MUY ALTO

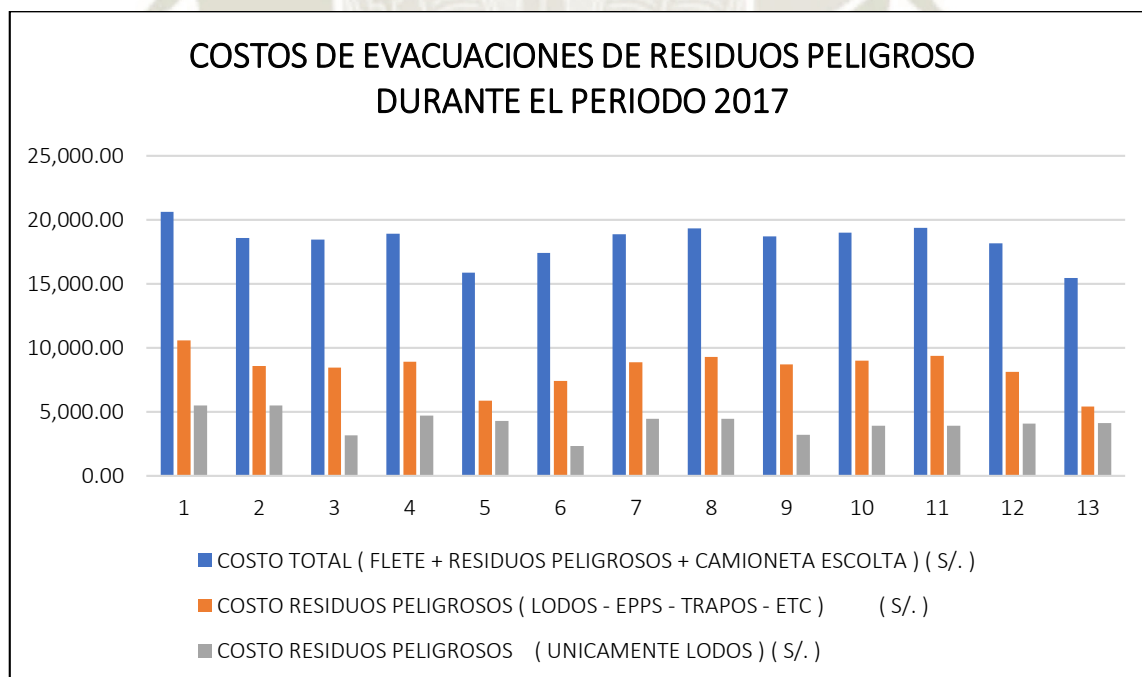
Fuente: Elaboración propia.

Con el tema de salinidad mitigado debido a la mezcla con más tierra, genero los mejores resultados al ser aplicado en menores dosis. Los informes de análisis completos de los tres sustratos usados se encontrarán en los Anexos 15, 16 y 17.

El valor de pH que tiene el compost y el biosólido con 8.13 en promedio los hace moderadamente alcalinos, en los casos de las muestras C2-T2-B2 (gráfico 12 y grafico 13) y C1-T1-B1 (grafico 10 y grafico 11) se pudo haber generado alcalinización del suelo que repercutió negativamente en el crecimiento de las plántulas de maíz, caso que no ocurrió con los tratamientos C3-T3-B3 debido a la mayor cantidad de tierra de cultivo que actuó como buffer ante el pH alcalino.

#### 4.5. CALCULO DEL COSTO/BENEFICIO

Desde mes de enero al mes de Diciembre del 2017 en la U.O. se tuvieron 13 evacuaciones cada una con costos diferentes (Gráfico N°16).



**Gráfico 16: Costos de evacuaciones de residuos peligroso durante el periodo 2017 (Fuente: elaboración propia).**

Se observaron los 3 costos que componen las evacuaciones que son: el costo total, el costo de los residuos peligrosos y el costo de únicamente los lodos (Tabla N°35).

Tabla 35: Costos de las evacuaciones del periodo 2017 en la U.O.

Nº DE EVACUACIÓN	FECHA	COSTO TOTAL ( S/. )	COSTO RESIDUOS PELIGROSOS ( S/. )	COSTO LODOS ( S/. )
1	22/01/2017	20,600.00	10,600.00	5,500.00
2	21/02/2017	18600.00	8,600.00	5,500.00
3	20/03/2017	18,464.00	8,464.00	3,200.00
4	16/04/2017	18,913.20	8,913.20	4,740.00
5	29/05/2017	15,876.00	5,876.00	4,320.00
6	24/06/2017	17,420.00	7,420.00	2,344.00
7	16/07/2017	18,868.00	8,868.00	4,480.00
8	11/08/2017	19,316.00	9,316.00	4,480.00
9	02/09/2017	18,700.00	8,700.00	3,240.00
10	19/09/2017	19,016.00	9,016.00	3,924.00
11	12/10/2017	19,364.80	9,364.80	3,924.00
12	03/11/2017	18,154.00	8,154.00	4,089.60
13	28/11/2017	15448.00	5448.00	4120.00
	<b>PROMEDIO</b>	18364.00	8364.62	4143.20
	<b>TOTAL</b>	238740.00	108740.00	53861.60

Se obtuvo que el costo total promedio mensual fue de S/.18364.00 (Lodos, Epps, trapos, baldes de aceite, etc), el costo de residuos peligrosos mensual de S/.8364.62 y el costo de residuos peligrosos únicamente lodos fue de S/.4143.20 mensuales, esta gran carga en el costo total por parte de los lodos residuales (alrededor del 50% en promedio) se aprecia en el gráfico N°17.

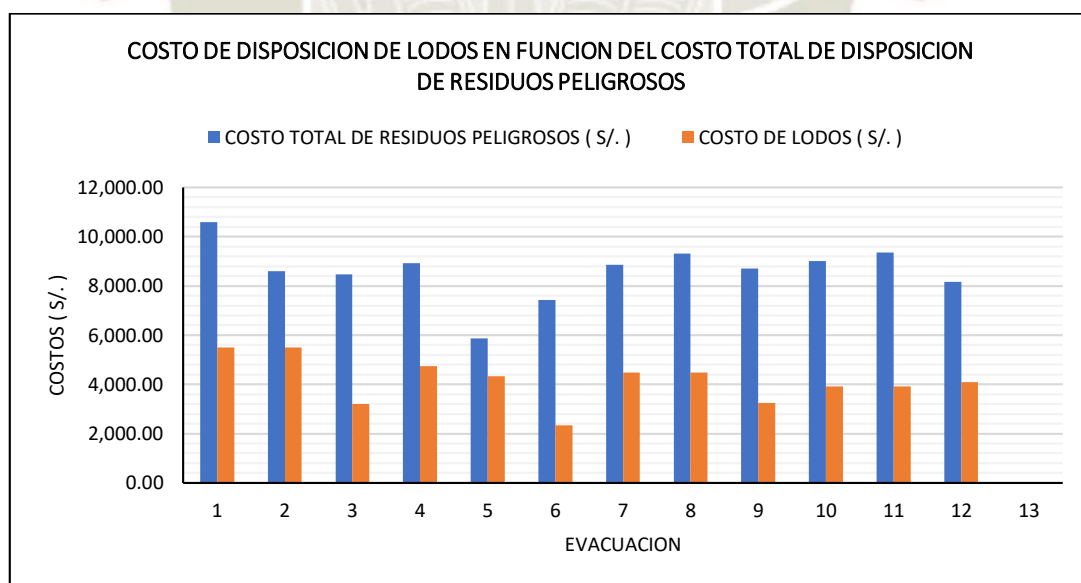


Gráfico 17: Costo de disposición de residuos peligrosos y lodos dentro de estos (Fuente: elaboración propia).

Se constató que la generación de lodo residual aumentaba la frecuencia de evacuaciones, el aprovechamiento de este en forma de biosólido aumenta los días entre evacuación

disminuyendo así la frecuencia de evacuaciones y disminuyendo las evacuaciones anuales realizadas (Gráfico N°18) basado en tabla N°36.

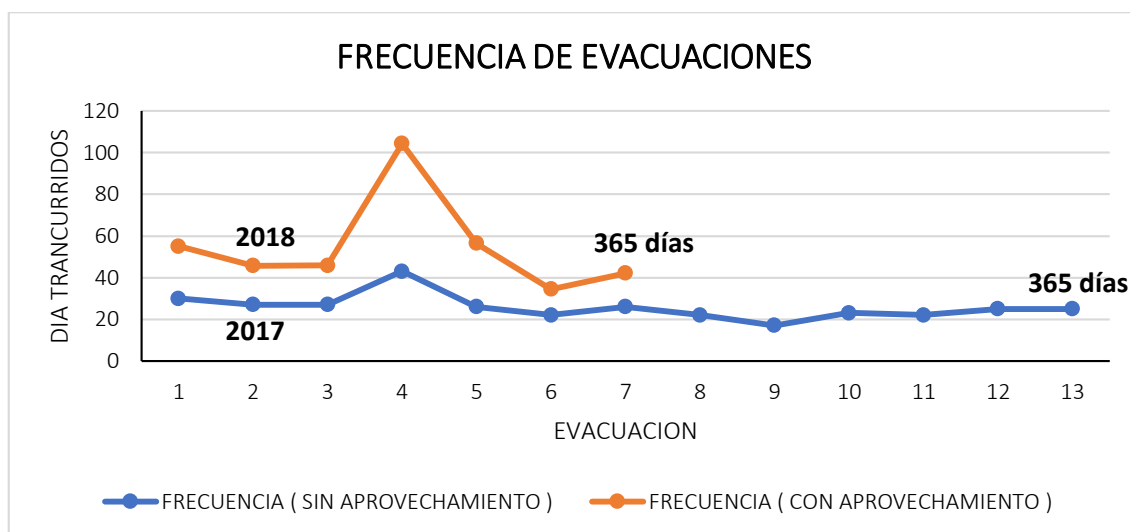


Gráfico 18: Frecuencia de evacuaciones actual y proyectada 2017-2018 (Fuente: elaboración propia).

Tabla 36: Variación de la frecuencia producto del aprovechamiento de biosólido.

EVACUACION	FRECUCIA ( SIN APROVECHAMIENTO) (días)	MATERIAL PELIGROSO EVACUADO ( Kg/d )	PESO DE LODO POR DIA ( KG/d )	MATERIAL PELIGROSO SIN LODO (KG/d)	FRECUCIA ( CON APROVECHAMIENTO) (días)	AUMENTO DE DIAS %
1	30	670.00	305.00	365.00	55.07	83.56%
2	27	744.44	305.00	439.44	45.74	69.41%
3	27	740.74	305.00	435.74	45.90	70.00%
4	43	518.37	305.00	213.37	104.47	142.94%
5	26	565.00	305.00	260.00	56.50	117.31%
6	22	843.18	305.00	538.18	34.47	56.67%
7	26	796.15	305.00	491.15	42.15	62.10%
8	22	990.91	305.00	685.91	31.78	44.47%
9	17	1194.12	305.00	889.12	22.83	34.30%
10	23	954.02	305.00	649.02	33.81	46.99%
11	22	997.38	305.00	692.38	31.69	44.05%
12	25	756.00	305.00	451.00	41.91	67.63%
13	25	544.80	305.00	239.80	56.80	127.19%
<b>PROMEDIO</b>	<b>25.77</b>	<b>793.47</b>	<b>305.00</b>	<b>488.47</b>	<b>46.39</b>	<b>74.36%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se apreció un aumento promedio del 74% en los días entre evacuaciones, esto representa un aumento de 21 días respecto ante la anterior frecuencia de evacuación (Tabla N°36). La 9na evacuación presenta el menor aumento de días debido a que esta se realizó en la fecha de Septiembre de 2017, previa a este fecha en el mes de Agosto se tuvo una visita por parte de

gerencia, la cual indico el retiro de gran cantidad de material peligroso acumulado. Este gran retiro de material genero gran carga por día, lo cual repercutió en el tiempo de evacuación más rápido del año, de 17 días. El mayor tiempo de evacuación se logró en la 4ta evacuación con 43 días, esta fue llevada a cabo en el mes de Abril, mes en el cual hubo una disminución de la generación de residuos peligrosos debido a un descenso en la producción, lo cual disminuye el uso de aceites para mantenimiento, uso de maderas, de malla para sostenimiento y demás.

Finalmente se estimó el ahorro que se tendrá económicamente debido a la disminución de frecuencia de evacuaciones de lodo proveniente de la PTARD (tabla N°37).

**Tabla 37: Ahorro proyectado a partir del aprovechamiento de biosólido de la PTARD.**

EVACUACIONES		COSTO PROMEDIO EVACUACION ( S/.)	EVACUACIONES (CON LODO)	EVACUACIONES (SIN LODO)
PESO PROMEDIO	20109.567 Kg	18364.00	14	8
<b>COSTO ANUAL</b>			257096.00	146912.00
<b>AHORRO ANUAL (S/.)</b>			110,184.00	
<b>AHORRO ANUAL (US\$)</b>			33,389.09	

Fuente: Elaboración propia.

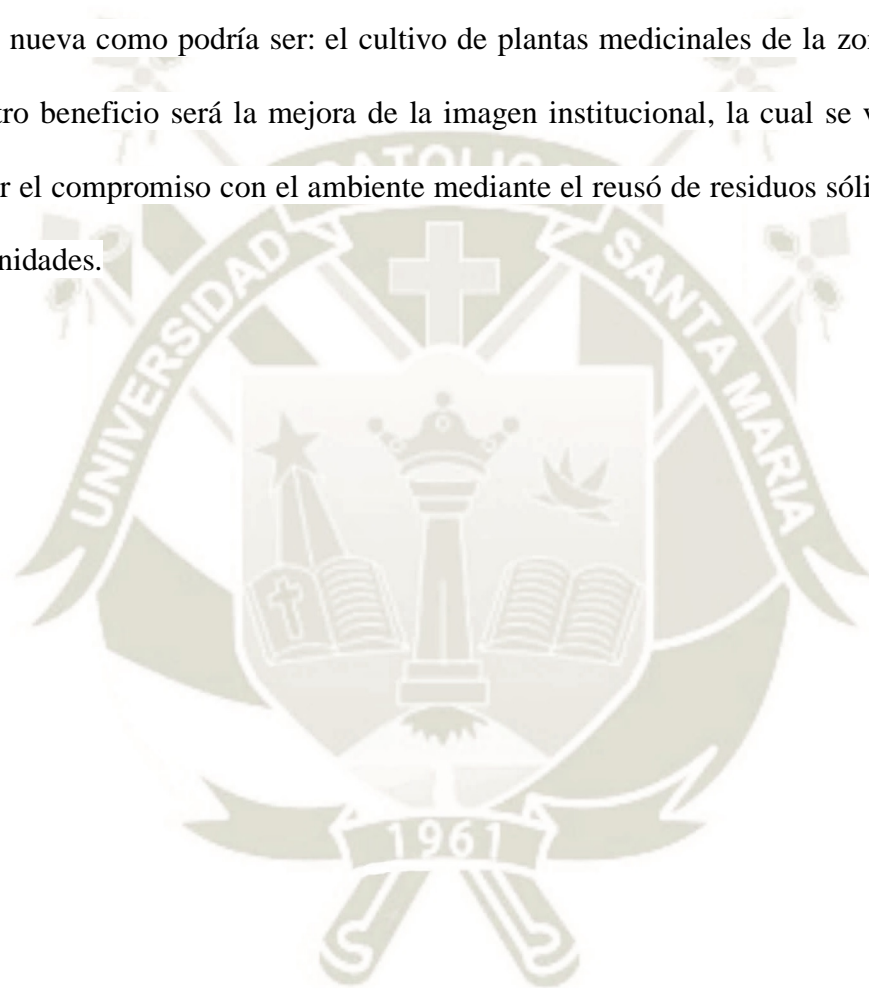
El costo de la elaboración del horno fue de S/.5,041.53 (Anexo 17), el costo beneficio total hallado fue:

$$\text{Costo Beneficio} = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{110184}{5041} = 22$$

El resultado del análisis costo beneficio dio un valor de 22; mientras un valor sea mayor a 1 el proyecto será rentable (Comisión Europea, 2003), valores mayores nos indican mayor rentabilidad a largo plazo. El proyecto planteado representa costos ahorrados de US\$33,389.09 anuales, esto considerando un tratamiento del 100% de lodo producido, caso se decida tratar

únicamente el 50% de igual manera se tendrán ahorros de US\$ 18,000.00 anuales e incluso si solo se decidiera tratar el 30% de los lodos se tendría un ahorro de alrededor de US\$ 11,700.00.

Este análisis solo toma en cuenta los beneficios económicos, ignorando de esta manera los beneficios de otros tipos como podrían ser los sociales. Si se dona este biosólido a la comunidad, estos podrían iniciar un negocio de venta o utilizarlos para potenciar alguna actividad nueva como podría ser: el cultivo de plantas medicinales de la zona para posterior venta. Otro beneficio será la mejora de la imagen institucional, la cual se verá reforzada al demostrar el compromiso con el ambiente mediante el reusó de residuos sólidos y el apoyo a las comunidades.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

El lodo residual generado no cumplió con los parámetros de estabilización (Sólidos volátiles y sólidos totales) e higienización (*E. Coli*) la R.M. 024-2017-VIVIENDA; en el caso de toxicidad (metales pesados), debido a que la PTARD no trata aguas industriales la presencia de estos fue nula. Habiéndose evaluado las tecnologías aplicables se concluyó que la tecnología de tratamiento térmico es la adecuada para adecuar los parámetros incumplidos, debido a: bajos costes, poco requerimiento de espacio, disponibilidad de materiales, alto porcentaje de reducción de olores, patógenos y reducción de masa.

El diseño del horno y la construcción fueron exitosos, los materiales de fácil manipulación y obtención aumentando su capacidad de replicabilidad. Adicionalmente, no se presentaron inconvenientes en las labores de construcción y los tiempos empleados fueron bastante cortos (3 días).

Las condiciones óptimas de funcionamiento para obtención de biosólido a partir de lodo residual de la PTARD de la U.O. fueron de: 90 Kg de lodo residual con 74% de humedad inicial calentado a 200°C durante 1.5 horas empleando 25 Kg de madera. Bajo estas condiciones se obtiene un biselado que cumple la totalidad de parámetros de higienización, estabilización y toxicidad de la R.M. 024-2017-VIVIENDA.

Realizadas las pruebas de eficiencia del biosólido generado sobre los suelos, se concluyó que el tratamiento B3 (25%Biosólido+75%Tierra cultivo) genera las condiciones más favorables respecto al compost y a tierra de cultivo sola, esta concentración potencia el crecimiento de la especie *Zea mays* L., que logro una altura de tallo de 21.8 cm y 33.2 cm de longitud de raíz. De esta manera el biosólido podría ser considerado como un reemplazo del compost, teniendo menor precio, mayor facilidad de obtención e iguales o mejores resultados.

Para el caso de la U.O. si se trata el 100% del lodo residual producido se obtendrá 240 Kg de biosólido (con humedad del 50%) diario, es decir 6.6 Tn de biosólido mensual. El ahorro económico generado por el aprovechamiento será de aproximadamente US\$ 2,782.00 mensuales y US\$ 38,953.93 anuales, el cual podrá ser incluso potenciado si se procede a comercializar el producto.

## RECOMENDACIONES

- La caracterización del lodo residual es fundamental para poder elegir el tratamiento a aplicar, caso haya presencia de metales se deberá aplicar otro tipo de tratamiento cuya complejidad sería mayor.
- Se debe considerar que la tecnología de secado térmico mediante uso de un horno también puede ser adecuada para funcionar con energías más “limpias” como la solar debido a que la irradiación solar en la zona es bastante elevada, o incluso energía proveniente de la combustión del metano generado en el relleno sanitario adyacente, este cambio de fuente de energía representaría una oportunidad de mejora bastante significativa. Asimismo, se recomienda aplicar una capa de material aislante adicional a la estructura con el fin de mantener mejor la temperatura y disminuir el uso de leña.
- En el caso de utilizar biomasa (madera) como combustible se recomienda realizar cultivo de arboles para compensar los servicios eco sistémicos producidos por la tala.
- Hay que considerar que el horno de tratamiento de lodos residuales debe contar con todas las medidas de seguridad requeridas para los operadores (EPPs, procedimientos, estándares, IPERC base) ya que este es un trabajo en caliente y por lo tanto un trabajo de alto riesgo que debe ser realizado siempre por 2 personas.
- El biosólido obtenido posee una humedad de 50% lo cual aumenta su peso y le da una estructura similar a una arcilla, esta humedad no influye en sus características

fisicoquímicas y bacteriológicas; sin embargo, se recomienda disminuir aún más esta humedad con el fin de disminuir el volumen y peso a fines de facilitar el transporte o almacenaje, además de esto un biosólido más seco permitirá una mayor facilidad para ser aplicado a la tierra al tener menor granulometría pudiendo tener mayor capacidad de mezcla y esparcirse como un abono ordinario.

- La normativa R.M. 024-2017-VIVIENDA debería incluir un requerimiento específico respecto a salinidad, que en este estudio ha sido factor de influencia fuerte en el desarrollo de las especies vegetales.
- En el tema de costos se recomienda adicionar un presupuesto adicional para el mantenimiento del horno, además considerar la mano de obra para la operación, aunque esta ya se encuentre en la zona y se les adjunte la labor como parte de sus funciones. Adicional a esto se puede realizar un análisis del beneficio social caso se proceda a realizar la donación a comunidades.
- Es recomendable considerar la donación del biosólido a ONGs o comunidades que lo requieran, debido a su alta concentración de nutrientes el biosólido podría servir como potenciador de sus actividades de reforestación o agricultura, la donación mejoraría la imagen institucional de la compañía y podría ser la base para generar un sistema de responsabilidad social empresarial.

## BIBLIOGRAFÍA

- A. Ashgar, A. Ali, W.H. Syed, M. Asif, T. Khaliq, & A.A. Abid. (2010). Growth and yield of Maize (*Zea mayz L.*) cultivars affected by NPK application in different proportion. *Pakistan Journal of Science*, 62(4), 211-216.
- Anwar Sattar, Gary A. Leeke, Andreas Hornung, & Joseph Wood. (2014). Steam gasification of rapeseed, wood, sewage sludge and miscanthus biochars for the production of a hydrogen-rich syngas. *biomass and bioenergy*, 69(1), 276-286.
- Ayhan Demirbas, Gaber Edris, & Walid M. Alalayah. (2017). Sludge production from municipal wastewater treatment in sewage treatment plant. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(10), 999-1006.
- C. Telmo, & J. Lousada. (2011). Heating values of wood pellets from different species. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 2634-2639.
- Carlos I. Molina, Carla Ibañez, & François-Marie Gibon. (2012). Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): Posible riesgo en la salud de consumidores. *Ecología en Bolivia*, 47(2), 99-118.
- Carolina Ortiz, Myriam C. López, & Favio A. Rivas. (2011). Prevalencia de helmintos en la planta de aguas residuales del municipio El Rosal, Cundinamarca. *Revista de Salud Pública*, 14(2), 296-304.
- Code of Federal Regulations Title 40, part 503, United States Environmental protection agency, 1993.
- Chirs Nilsson, & Hanna Dahlstrom. (2005). *Treatment and Disposal Methods for Wastewater sludge in the area of Beijing, China* (Lunds Tekniska Hogskola Lunds Universitat). Sweden: Department of water and environmental Engineering Lund institute of technology.
- Chunxiang Qu, Chao Liu, Xiaolan Gong, Chunxiao Li, Mengmeng Hong, Ling Wang, & Fashui Hong. (2012). Impairment of maize seedling photosynthesis caused by a combination of potassium deficiency and salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 75(1), 134-141.

- Comisión Europea. (2003). Guía del análisis costes-beneficios de los proyectos de inversión. s.n.
- Edmundo Rocha. (2008). COMPONENTES Y SISTEMAS PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES. s.n.
- Eduardo Campos Medina, Norma García Rojas, Alma Velásquez Rodríguez, & Magdalena Fabilla García. (2009). Análisis básico del reusó de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca. *Quivera*, 11(1), 35-51.
- Fernando Kramer. (2003). La administración del agua. En *Educación ambiental para el desarrollo sostenible* (1.ª ed., Vol. 1, pp. 158-159). Madrid: Los libros de la Catarata.
- F.J. Colomer Mendoza, M. Carlos Alberola, L. Herrera Prats, A. Gallardo Izquierdo, & M.D. Bovea. (2009, marzo). Viabilidad de la valorización energética de lodos procedentes de distintos tipos de depuradoras. *Residuos: Revista técnica*, 19(110), 32-37.
- Francisco Sánchez Mares. (2005). *Software para diseñar sistemas de lodos activados y lagunas aireadas* (Científico No. 1) (p. 5). México: Instituto Tecnológico de Aguascalientes.
- Javier E. Sanchez Ramirez, Alberto Bouzas, M. Francisca Garcia Usach, Luis Borrás, & Aurora Seco. (2014). Identificación de bacterias filamentosas Thiothrix en el tratamiento del efluente de un reactor anaerobio de membranas sumergidas ( SANMBR ). *Revista de Ingeniería y Región*, 11(1), 7-16.
- Jenny Francisco Atencio, Pedro Ramos Matías, & Guillermo Aguirre Yato. (2011). Aprovechamiento agrícola del lodo generado en la PTAR de Puente Piedra – Lima. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(1), 66-74.
- Jorge Arboleda Valencia. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (3.ª ed., Vol. 1). Colombia: Mcgraw-Hill / Interamericana De Colombia.
- José Vicéns Otero, Ainhoa Herrarte Sánchez, & Eva Medina Moral. (2005, enero). Análisis de la Varianza (ANOVA).
- Juan Gualberto Limón Macías. (2013, julio 8). LOS LODOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ¿PROBLEMA O RECURSO? s.n.

- Juan Palacios Izaguirre. (2013, febrero). *Incineración de lodos como alternativa en la línea de fangos de una EDAR. EDAR La Cartuja (Zaragoza)*. PowerPoint presentado en Incineración de lodos como alternativa en la línea de fangos de una EDAR. EDAR La Cartuja (Zaragoza), España.
- Julián Andrés Varila Quiroga, & Fabio Eduardo Díaz López. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista de Tecnología - Journal of Technology*, 7(2), 21-28.
- Julio A, Soplín, Ana Rengifo, & Jhony Chumbe. (1993). Análisis de crecimiento en *Zea mays L.* y *Arachis hypogaea L.* *Folia Amazónica*, 3(1), 171-189.
- Junjie TAO, Shoulin WU, Linbo SUN, Xiaobo TAN, Shimiao YU, Zhibin, & ZHANG. (2012). Composition of Waste Sludge from Municipal Wastewater Treatment Plant. *Procedia Environmental Sciences*, 12(1), 964-971.
- Ke Zhenshan. (2009). The Application Research on Sludge Lime Drying Process for Municipal Wastewater Treatment Plant. First Greek-Chinese Forum on the Environment.
- M. Cecilia Diocaretz, & Gladys Vidal. (2010). Aspectos técnicos y económicos de procesos de higienización de lodos provenientes del tratamiento de aguas servidas. *Theoria*, 19(1), 51-60.
- Malack Muhammad, Bukhari Alaadin, & Abuzaid Nabil. (2007). Fate of Pathogens in Sludge Sand Drying Beds at Qateef, Khobar and Dammam: A Case Study. *International Journal of Environmental Research*, 1(1), 19-27.
- María de Pilar Araque Manrique. (2006). *Análisis básico del reusó de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca* (Tesis Máster). Universidad de los Andes, Bogotá.
- María Elena Perez Zuñiga. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (PB)* (Experimental). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Marisol Andrades, & Elena Martínez. (2014). Capacidad total de Cambio. En *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen* (3era ed., Vol. 1, pp. 22-23). España: Publicaciones Universidad de La Rioja.

- Maysson Esmi Armenta-Rivas, Liseth Dayana Sierra-Camargo, & Andrés M. Vélez-Pereira. (2017). Modelación de la producción de metano en el Relleno Sanitario Parque Ambiental Palangana (Santa Marta). *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, XVIII(2), 183-192.
- Montserrat Soliva, & Marga López. (2004, noviembre). Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. UPC.
- Montserrat Soliva, & Oscar Huerta. (2004, noviembre). Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbanas. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. UPC.
- Muhammad Farooq, Mubshar Hussain, Abdul Wakeel, Kadambot H, & M. Siddique. (2015). Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 461-481.
- Nader, K., van Hoorn, J. ., Hamdy, A., & Mastroilli, M. (2000). Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agricultural Water Management*, 43(1), 99-109.
- Néstor Juio Fraume. (2006). Tratamiento del agua. En *Abecedario ecologico : la mas completa guía de terminos ambientales* (Marcela Ramirez Aza, Vol. Uno, p. 309). Bogotá: Fundación Hogares Juveniles Campesino.
- NOM-004-SEMARNAT-2002, Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales, México, 2002
- Norma Oropeza García. (2006, junio). Lodos residuales: estabilización y manejo. *2006*, 1(1), 51-58.
- N.S. Orlovsky, U.N. Japakova, H.F. Zhang, & S. Volis. (2016). Effect of salinity on seed germination, growth and ion content in dimorphic seeds of *Salicornia europaea* L. (Chenopodiaceae). *Plant Diversity*, 38(4), 183-189.
- Paola Mariel Morales Rojo. (2005). *Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas y su aprovechamiento* (Tesis profesional). Universidad de las Américas Puebla, Cholula, Puebla, México.

- Pascual de Anda Cárdenas. (2005). Química 2: De acuerdo a la reforma del Bachillerato. En *Unidad I: Estequiometria* (1.ª ed., Vol. 1, p. 70). México: Umbral Editorial S.A.
- Patricia Torres, Andrea Pérez, Juan C. Escobar, Iris E. Uribe, & Ricardo Imery. (2007).  
COMPOSTAJE DE BIOSÓLIDOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE ÁGUAS  
RESIDUALES. *The Engenharia Agrícola journal*, 27(1), 267-275.
- Pedro M. Molina. (2005). *Colección Emprendimientos : Cómo hacer Hornos de Barro* (1era ed., Vol. 1). Buenos Aires: Grupo editor de la Grulla S.A.
- Per Eirik S. Bergmo, Alv-Arne Grimstad, & Erik Lindeberg. (2011). Simultaneous CO<sub>2</sub> injection and water production to optimise aquifer storage capacity. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 5(1), 555-564.
- R. A. Gizatulín, V. V. Senkus, & A. V. Valueva. (2016). A Technology of Wastewater Sludge Treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 127(1), 012038.
- Randhir Singh, Xiupin Jiang, & Feng Luo. (2010). Thermal Inactivation of Heat-Shocked *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* in Dairy Compost. *Journal of Food Protection*, 73(9), 1633-1640.
- Richard Bergman, & John Zerbe. (2004, mayo). Primer on Wood Biomass for Energy. USDA Forest Service, State and Private Forestry Technology Marketing Unit.
- Rosario Miralles De Imperial, Eulalia Ma. Beltrán, Miguel Ángel Porcel, Ma. del Mar Delgado, Ma. Luisa Beringola, José Valero Martín, ... Ingrid Walter. (2002). Emergencia de seis cultivos tratados con lodo, fresco y compostado, de estaciones depuradoras. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 18(3), 139-146.
- Resolución Ministerial 024-2017-VIVIENDA, Diario oficial el Peruano, Lima, Perú, Enero de 2017
- Sebastian Werle. (2016). Sewage sludge gasification process for clean and sustainable environment. *Renewable Energy Environmental Sustainability*, 1(35), 5.
- Stanley E. Manahan. (2007). *Introducción a la química Ambiental* (Primera, Vol. 1). México: Reverté S.A.

United States Environmental Protection Agency. (2011). AP-42: Compilation of Air Emission Factors.

En *Chapter 2: Solid Waste Disposal* (Fifth, Vol. 1, pp. 2.2-1 a 2.2-10). Estados Unidos:

United States Environmental Protection Agency.

Zahir Shah, Zahid Shah, Muhammad Tariq, & Muhammad Afzal. (2007). Response of maize to

integrated use of compost and Urea fertilizers. *Sarhad Journal of Agriculture*, 23(3), 668-673.



## ANEXOS

### ANEXO 1: Sewage Sludge as Fertilizer: Safe? – Food Safety Network

El artículo “Sewage Sludge as Fertilizer: Safe?” publicado por la Food Safety Network (2008), describe las consecuencias del uso indiscriminado de lodos residuales sin tratamiento sobre suelos. En este artículo, el granjero Andy Mcelmurray de Georgia en Estados Unidos empleo lodo residual donado por parte de una empresa de tratamiento de aguas residuos para fertilizar sus campos.

En estos campos Andy cultivaba comida para que sus vacas pudieran alimentarse, pasado un lapso de 2 años se dio cuenta que sus tierras se volvían cada vez más y más ácidas. En este momento teniendo conocimiento del problema Andy aplico cal para neutralizar el pH ácido, a pesar de esto al poco tiempo sus vacas cayeron enfermas.

Realizándose pruebas, se rastreó el origen de la enfermedad de sus vacas al lodo que había estado utilizando durante años, este lodo contenía altos niveles de molibdeno, cadmio y talio; siendo los 3 compuestos altamente tóxicos.

Al haber aplicado la cal, los contaminantes se volvieron más biodisponibles para las plantas y las vacas que comían las plantas. Por ello las vacas empezaron a presentar síntomas de envenenamiento por molibdeno, realizándose pruebas se pudo encontrar que su leche estaba contaminada con talio (un veneno para ratas toxico en humanos en pequeñas dosis). Pero ya era demasiado tarde, las vacas resultaron muertas y Andy resulto enfermo debido a respirar el polvo proveniente de los lodos que quedaba en su granja.

En este caso la planta de tratamiento de agua residual de Augusta fue la que proveyó el lodo contaminado y rompió la ley, teniendo esta presencia de metales muy por encima de los límites permitidos.

Todo lo anteriormente expuesto llevo a que en Febrero de 2008, en la corte de distrito de Augusta-Georgia, se fallara a favor de la familia de Andy; quienes habían demandado al departamento de agricultura por subsidios para el suelo mediante la entrega de lodo que contenía diversos contaminantes como cadmio, molibdeno, arsénico y talio.

ANEXO 2: VALORIZACION DE SERVICIOS ECONOMICOS PRESTADOS

**VALORIZACIÓN ECONÓMICA POR PRESTACIÓN DE SERVICIOS  
DISPOSICIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS N° 108-2017**

Arequipa, 18 de Diciembre del 2017

SEÑORES:

ATENCIÓN.- Ing. Cesar Adrianzen  
Medio Ambiente

PRESENTE.

Por intermedio del presente le presento la siguiente valorización económica para su respectiva facturación Según Guía de Remitente de Inversiones Merma N° 007-000846, con fecha de evacuación 28/11/2017, de la UO ARCATA, a continuación mostramos:

DESCRIPCIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS	PESO UNIT.	PESO TOTAL	UNIDAD	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL (S/.)
Trapos contaminados con hidrocarburo	4,410	13,820 TN	01 TN	S/. 400,00	S/. 5.448,00
Residuos contaminados con mineral	2,838				
EPP's usados	1,680				
Latas de pintura vacías	0,024				
Filtros de aire usados	0,072				
Baldes y bidones contaminados	0,196				
Residuos eléctricos	0,375				
Mangueras hidráulicas usadas	0,250				
Aceite domestico	1,000				
Lodos sanitarios	1,800				
Mangas de ventilación	0,525				
Sacos de tierra contaminado	0,450				
0	0,000				

DESCRIPCIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS PELIGROSOS	CANTIDAD TOTAL	COSTO UNIT. (Hasta 0.5 TN)	COSTO TOTAL (S/.)
Residuos hospitalarios.	0,000 TN	S/. 600,00	S/. 0,00

PESO TOTAL EVACUADO 13,820 TN

DESCRIPCIÓN DE SERVICIO	COSTOS TOTALES
Disposición final de Residuos Peligrosos.	S/. 5.448,00
Disposición final de Residuos Peligrosos Hospitalarios.	S/. 0,00
Transporte de la Mina hacia su disposición final. Con camión furgón de 30 TN. De capacidad.	S/. 8.000,00
Camioneta Escolta. Manipulación (carga y descarga)	S/. 2.000,00
<b>Nota.- Estos costos NO incluyen IGV.</b>	<b>S/. 15.448,00</b>

ANEXO 3: ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE LODO RESIDUAL.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N°LE - 002

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL  
MA1711270

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					L-PLAO
FECHA DE MUESTREO					06/07/2017
HORA DE MUESTREO					08:15:00
MATRIZ					LODOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					LODOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
<b>Análisis Generales</b>					
Sólidos Totales	ES_EPA1684	mg/kg (Base Húmeda)	50	150	109,111 *
Sólidos Volátiles	ES_EPA1684	mg/kg (Base Húmeda)	50	150	85,525 *
Sólidos Volátiles	ES_EPA1684	mg/kg	50	150	783,842 *
Mercurio	ES_EPA7471	mg/kg	0.0109	0.0348	0.1205
Nitrógeno Total	ES_SGS_ME45	mg/kg	0.3	0.8	2,188.0 *
<b>Análisis Microbiológicos</b>					
Numeración de Escherichia coli	ES_APHA9221BEG_AQ	NMP/g	--	--	7,000,000.0 *
Numeración Coliformes fecales	ES_APHA9221E_AQ	NMP/g	--	--	14,000,000.0 *
Ascaris Lumbricoides	ES_NOM004_HH_CX	Huevos/2gST	--	--	0 *
Cestodos	ES_NOM004_HH_CX	Huevos/2gST	--	--	0 *
Huevos de Helminto	ES_NOM004_HH_CX	Huevos viables/4 g	--	--	0 *
Huevos de Helminto	ES_NOM004_HH_CX	Huevos/2gST	--	--	0 *
<b>Metales</b>					
Cobre	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	44.456
Aluminio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.602	7,434.448
Antimonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	4.831
Arsénico	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.897	2.857	25.298
Bario	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	47.561
Berilio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	0.236
Bismuto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	37.847
Boro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.399	17.195	<17.195
Cadmio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	0.721
Calcio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.382	208.223	6,676.042
Circonio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	1.229
Cobalto	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	3.208
Cromo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	14.214
Escandio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	1.111
Estaño	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	4.325
Estroncio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	54.148
Fosforo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	11,881.653
Hierro	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	8,187.845
Lantano	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	4.514
Magnesio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	2,930.867
Manganeso	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	1,282.997
Mercurio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	<0.262



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL  
MA1711270**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					L-PLAO
FECHA DE MUESTREO					06/07/2017
HORA DE MUESTREO					08:15:00
MATRIZ					LODOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					LODOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Metales					
Molibdeno	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	4.438
Níquel	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	6.781
Plata	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.084	0.268	8.725
Plomo	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	87.250
Potasio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	4,396.685
Selenio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	<3.605
Sodio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.136	563.442
Talio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	0.115
Thorio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	2.293
Titanio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	69.074
Uranio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	0.279
Vanadio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	8.670
Wolframio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	1.595
Ytrio	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	1.810
Zinc	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	454.354

ANEXO 4: ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE BIOSÓLIDO OBTENIDO












INFORME DE ENSAYO  
MA1801981










IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					L1-PLAO: Lodo tratado mediante horno	L2-PLAO: Lodo tratado con lecho de secado
FECHA DE MUESTREO					31/01/2018	31/01/2018
HORA DE MUESTREO					03:10:00	03:16:00
MATRIZ					LODOS	LODOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					LODOS	LODOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
Análisis Generales						
Sólidos Totales	ES_EPA1684	mg/kg (Base Húmeda)	50	150	543,683	452,266
Sólidos Volátiles	ES_EPA1684	mg/kg (Base Húmeda)	50	150	303,906	249,291
Análisis Microbiológicos						
Numeración de Escherichia coli	ES_APHA9221BEG_AQ	NMP/g	--	--	<1,8	2,300,0

ANEXO 5: SEGUIMIENTO FOTOGRAFICO DE ESPECIES CULTIVADAS










a) RESULTADOS – 8 DIAS.

		CÓDIGO	SUELO ( T )	COMPOST ( C )	BIOSOLIDO ( B )
01/04/2018	C-1, T-1, B-1				
	C-2, T-2, B-2				
	C-3, T-3, B-3				










b) RESULTADOS – 12 DIAS

		CÓDIGO	SUELO ( T )	COMPOST ( C )	LODO ( L )
05/04/2018	C-1, T-1, L-1				
	C-2, T-2, L-2				
	C-3, T-3, L-3				










c) RESULTADOS – 20 DIAS

		CÓDIGO	SUELO ( T )	COMPOST ( C )	BIOSOLIDO ( B )
13/04/2018	C-1, T-1, B-1				
	C-2, T-2, B-2				
	C-3, T-3, B-3				










d) RESULTADOS – 24 DIAS

		CÓDIGO	SUELO ( T )	COMPOST ( C )	BIOSOLIDO ( B )
17/04/2018	C-1, T-1, B-1				
	C-2, T-2, B-2				
	C-3, T-3, B-3				

e) RESULTADOS – 28 DIAS

	CÓDIGO	SUELO ( T )	COMPOST ( C )	BIOSOLIDO ( B )
21/04/2018	C-1, T-1, B-1			
	C-2, T-2, B-2			
	C-3, T-3, B-3			

f) RESULTADOS – 32 DIAS

	CÓDIGO	SUELO ( T )	COMPOST ( C )	BIOSOLIDO ( B )
25/04/2018	C-1, T-1, B-1			
	C-2, T-2, B-2			
	C-3, T-3, B-3			

ANEXO 6: RESULTADO OBTENIDOS DE LONGITUD DE TALLO Y RAÍZ DE ZEA MAYS L.

GRUPO	MUESTRA	Long. Tallo (cm)	Long. Raíz (cm)
B1-1	Muestra 1	10.6	6.7
B1-2	Muestra 2	10.8	2.9
B1-3	Muestra 3	10.4	4.4
B2-1	Muestra 4	19.5	17.6
B2-2	Muestra 5	15	21.7
B2-3	Muestra 6	10.4	13.1
B3-1	Muestra 7	21.8	33.2
B3-2	Muestra 8	29.1	33.2
B3-3	Muestra 9	14.5	44.3
T1-1	Muestra 10	18	22.2
T1-1	Muestra 11	15.7	18.4
T1-3	Muestra 12	12	23.1
T2-1	Muestra 13	25	18.1
T2-2	Muestra 14	18.6	10.5
T2-3	Muestra 15	22	14.8
T3-1	Muestra 16	20.5	17.2
T3-2	Muestra 17	14.6	15.3
T3-3	Muestra 18	16.1	16.6
C1-1	Muestra 19	16	38.1
C1-2	Muestra 20	21	17.2
C1-3	Muestra 21	20	17.8
C2-1	Muestra 22	17.8	24
C2-2	Muestra 23	23.4	13.1
C2-3	Muestra 24	20.8	19.3
C3-1	Muestra 25	11.2	12.3
C3-2	Muestra 26	20.5	24.1
C3-3	Muestra 27	17.6	18

Fuente: elaboración propia

**ANEXO 7: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LONGITUD DE TALLO ZEA MAYS L. ENTRE B3-B2-B1**

PARAMETRO	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	273.389	2	136.694	5.2600	0.047911*
ERROR	155.927	6	25.988		

**ANEXO 8: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LONGITUD DE RAÍZ ZEA MAYS L. ENTRE B3-B2-B1**

PARAMETRO	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	1225.529	2	612.764	12.6450	0.007051*
ERROR	290.753	6	48.459		

**ANEXO 9: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LONGITUD DE RAÍZ ZEA MAYS L. ENTRE C1-T1-B1**

PARAMETRO	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	672.362	2	336.181	6.6601	0.029951*
ERROR	302.860	6	50.477		

**ANEXO 10: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LONGITUD DE TALLO ZEA MAYS L. ENTRE C1-T1-B1**

PARAMETRO	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	106.216	2	53.108	5.6073	0.042341*
ERROR	56.827	6	9.471		

**ANEXO 11: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LONGITUD DE RAÍZ ZEA MAYS L. ENTRE C2-T2-B2**

PARAMETRO	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	29.556	2	14.778	0.7046	0.5310
ERROR	125.833	6	20.972		

**ANEXO 12: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LONGITUD DE TALLO ZEA MAYS L. ENTRE C2-T2-B2**

PARAMETRO	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	81.540	2	40.770	3.1515	0.115990
ERROR	77.620	6	12.937		

**ANEXO 13: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LONGITUD DE RAÍZ ZEA MAYS L. ENTRE C3-T3-B3**

PARAMETRO	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	513.487	2	256.743	4.8449	0.0559
ERROR	317.953	6	52.992		

**ANEXO 14: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LONGITUD DE TALLO ZEA MAYS L. ENTRE C3-T3-B3**

PARAMETRO	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	51.607	2	25.803	0.9071	0.452685
ERROR	170.673	6	28.446		



**ANEXO 16: ANALISIS DE FERTILIDAD DE TIERRA DE CULTIVO.**

Instituto Nacional de Innovación Agraria

**LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, AGUAS Y SEMILLAS  
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA AREQUIPA - INIA**

NOMBRE O RAZON SOCIAL DEL SOLICITANTE	ALONSO SIMON HUANQUI
PROCEDENCIA	CERRO COLORADO
MUESTRA	SUELO

CODIGO DE LABORATORIO	FECHA DE INGRESO	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	LOTE	TIPO DE ANALISIS	Nº DE INFORME
7982	07/05/2018		1	CARACTERIZACION	7939

**ANALISIS FISICO**

ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA(%)	TEXTURA	POROSIDAD (%)	CAPACIDAD DE CAMPO(%)	AGUA DISPONIBLE (%)	PUNTO MARCHITEZ PERMANENTE (%)
61.6	25.2	13.2	FRANCO ARENOSO	38.0	11.3	7.9	3.4

**ANALISIS QUIMICO**

ELEMENTO	UNIDAD	VALOR	DEFICIENTE	BAJO	NORMAL	ALTO	EXCESIVO	
Materia Organica	%	1.87	[Barra de progreso]					
Nitrogeno - C/N	%	0.09	[Barra de progreso]					
Fosforo - P	ppm	37.55	[Barra de progreso]					
Potasio - K	ppm	199.98	[Barra de progreso]					
CO3Ca	%	0.00						
			NO SALINO	DEBILMENTE SALINO	MODERAD SALINO	SALINO	MUY SALINO	
C.E	dS/m extr. 1:2.5	0.23	[Barra de progreso]					
			ACIDO	MODERAD ACIDO	NEUTRO	MODERAD ALCALINO	ALCALINO	
pH	EXTR. 1:2.5	7.05	[Barra de progreso]					
BORO	mg/Kg							

**CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (meq/100gr de suelo)**

Calcio(Ca)	Magnesio(Mg)	Sodio(Na)	Potasio(k)	CIC	Suma de Bases	PSI	Interpretacion CIC
8.000	1.200	0.200	0.795	10.195	10.195	1.962	Medio

CULTIVO	TIPO DE SUELO REQUERIDO	INTERPRETACION
		Es un suelo de textura moderadamente gruesa, deficiente en retencion de humedad, buena capacidad de aireacion del suelo; para mejorar la calidad de suelo agricola incorporar materia organica de acuerdo al cultivo a instalar.

**ANALISIS QUIMICO : INTERPRETACIONES**

CULTIVO	VALORES OPTIMOS	INTERPRETACION
		Es una muestra con reaccion neutra pH, no salino en conductividad electrica, bajo en contenido de materia organica y nitrogeno, muy alto en concentracion de fosforo y alto en potasio respectivamente, para hacer la recomendacion de nutrientes considerar la incorporacion de materia organica y fertilizantes en base de calcio de acuerdo a los resultados de analisis; con respecto a la capacidad de intercambio cationico CIC la interpretacion Medio

MINISTERIO DE AGRICULTURA  
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION  
AREQUIPA  
ENC. LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS  
EE. AREQUIPA - INIA

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA  
Ing. Msc. VALERIANO GUANCO SACACHIPANA  
DIRECTOR  
EEA AREQUIPA

Calle Saco Olivares 402 Cerro Juli  
José Luis Bustamante y Rivero - Arequipa  
T: (054) 421338  
www.inia.gob.pe  
www.minagri.gob.pe

*Trabajando para todos los peruanos*



**ANEXO 18: COSTOS DE ELABORACIÓN DE HORNO PARA TRATAMIENTO DE LODOS.**

	ITEM	(S./)
ANALISIS	1 Metales EPA3051 (mg/Kg)	165
	2 Mercurio EPA7471B (mg/Kg)	
	3 Numeración de Escherichia coli / NMP/G	175.5
	4 Numeración Coliformes fecales (NMP/g)	89.1
	5 Determinación de Huevos de Helminto (Huevos/2GST): Ascaris, Cestodes y Huevos de helmintos	101.16
	6 Nitrógeno Total (mg/Kg)	82.88
	7 Sólidos Totales (mg/Kg)	82.88
	8 Sólidos Volátiles (mg/Kg)	82.88
	9 Sólidos Volátiles (mg/Kg)	83.88
	10 Sólidos Totales (mg/Kg)	84.88
	11 Numeración de Escherichia coli / NMP/G	175.5
	12 Fertilidad Biosólido	120
	13 Fertilidad Tierra cultivo	120
	14 Fertilidad Compost	120
MATERIALES	15 300 LADRILLOS KING KONG	381.612
	16 2 PLANCHAS METALICAS DE 3/8" 1.5m x 1.5m	1123.254
	17 4 BOLSAS DE CEMENTO	90.2
	18 3 BISAGRAS	50.98
	19 20 Kg MADERA	0
	20 1 PLANCHA DE MADERA 3/8" 1.5x1.5m	80.45
	21 200g CLAVOS 1/4"	5.2
	22 9 MACETAS	21.78
	23 300g SEMILLAS ZEA MAYS	3.795
	24 TUBERIA HDPE 3" 100m	820.8
HERRAMIENTAS	25 GUANTES DE NEOPRENO	60
	26 CARRETILLA BUGGIE	120
	27 PALA CON MANGO	60
	28 TARRAJA PARA PAREDES	40
	29 MEDIDOR DE NIVEL	50
	30 BALON DE GAS CON SOPLETE	90
	31 RASTRILLO	60
	32 PICO	60
	33 SACO DE POLIPROPILENOX100	100
	MANO DE OBRA	34 MAESTRO DE MEDIO AMBIENTE
35 AYUDANTE DE MEDIO AMBIENTE		41.5
36 MAESTRO DE MEDIO AMBIENTE		50
37 AYUDANTE DE MEDIO AMBIENTE		41.5
38 MAESTRO DE MAESTRANZA		88
39 AYUDANTE MAESTRANZA		68.8
<b>TOTAL</b>		<b>5041.531</b>