

Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACION

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y
ECOTURISMO**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO Y PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO
DE LOS LODOS RESIDUALES PROVENIENTES DE LAS PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SEDAPAL”**

**TESIS PARA OPTAR
TÍTULO PROFESIONAL INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR
CALDERÓN DE LA CRUZ MARCELITA DEL CARMEN**

**ASESOR
ZAMORA TALAVERANO NOÉ SABINO**

**JURADO
DR. GOMEZ LORA JHON WALTER
MAG GUILLEN LEÓN. ROGELIA
DR. GALARZA ZAPATA EDWIN JAIME
MAG. GÓMEZ ESCRIBA BENIGNO PAULO**

LIMA - PERU

2018

DEDICATORIA.

La presente tesis se la dedico en primer lugar a Dios por estar presente en mis pensamientos y hacerme sentir segura de mí misma, que con esfuerzo y dedicación todo se puede. En segundo lugar, a mis padres Carlos y Ruth, por depositar su confianza en mí, por su apoyo incondicional a pesar de la distancia; dejándome la valla alta y a mis hermanos por preocuparse en que esta meta se cumpla.

AGRADECIMIENTO

Escribo estas líneas agradeciendo a la empresa SEDAPAL por haberme abierto las puertas para realizar mis prácticas profesionales; en la cual pude conocer a las personas correctas en el momento preciso, es decir, cuando no tenía idea de la investigación a realizar; es por ello que agradezco infinitamente a una persona que conocí como jefe y se convirtió en un gran amigo, el Biólogo Álvaro Torres Enríquez, por su apoyo incondicional en la realización de la presente tesis; ya que siempre ha estado pendiente de mi crecimiento profesional.

Por su orientación y dedicar parte de su tiempo en la revisión de los avances de la investigación, mi agradecimiento a mi asesor, el Ing. Noé Zamora, de la Universidad Nacional Federico Villarreal y al Equipo Gestión Ambiental de Sedapal, especialmente a las Ingenieras Lizbeth Cortéz y Yessica Paz, por su amistad y su apoyo en la realización de la tesis.

Finalmente, termino estas líneas con un agradecimiento especial a Dios y a mi familia, porque a un a la distancia han estado monitoreando el desarrollo de la presente investigación, a Jeaffet Del Alamo, por su comprensión, motivación y preocupación en brindarme las herramientas necesarias para el desarrollo de la tesis.

RESUMEN

El objetivo principal, es determinar las características de los lodos residuales de cinco plantas de tratamiento de SEDAPAL (Santa Clara, San Antonio de Carapongo, Carapongo, Manchay y San Bartolo Sur), de los años 2013 y 2015; mediante un análisis comparativo de un marco normativo internacional, a fin de evaluar su aprovechamiento. Siendo los objetivos secundarios describir los procesos operativos, para conocer su proceso de tratamiento; determinar la composición fisicoquímica y biológica, y finalmente determinar la clase de lodo residual.

Primero se recopilaron y evaluaron los resultados de los monitoreos físicos, químicos y biológicos de los lodos residuales; lo cual implica conocer normativas extranjeras (Brasil, Europa y Chile), para luego poder comparar y realizar una evaluación de los resultados. Una vez de comparar los resultados, se evaluó las características de los lodos residuales; proponiendo la utilización de estos como mejoradores de suelo. También se planteó la propuesta de reaprovechamiento de los lodos residuales, mediante biodigestores; para así obtener un lodo residual de mejores condiciones, de forma que pueda ser aplicado al suelo sin restricciones.

El resultado más resaltante que se obtuvo del análisis de composición fisicoquímica y biológica, es el tipo de clase de los lodos (véase Tabla N°48); donde se aprecia que para el año 2015, cuatro PTARs clasifican como categoría A y B; siendo estas San Antonio de Carapongo, Carapongo, San Bartolo Sur y Manchay y para el año 2013 ninguna clasificaba como categoría A y B, por la presencia de metales pesados, salmonella y en algunas huevos de helminto.

Palabras Claves: Plantas de tratamiento de aguas residuales, lodo residual, biodigestores, mejorador de suelo, residuo, metales, huevos de helminto, salmonella y coliformes.

ABSTRACT

The main objective is to determine the characteristics of the residual sludge from five SEDAPAL's treatment plants (Santa Clara, San Antonio de Carapongo, Carapongo, Manchay and San Bartolo Sur), of the years 2013 and 2015 ; through a comparative analysis of an international regulatory framework, in order to evaluate its use. The secondary objectives are to describe the operational processes, to know their treatment process; to determine the physicochemical and biological composition, and finally, to determine the class of the residual sludge.

First, the results of the physical, chemical and biological monitoring of the residual sludge were collected and evaluated; this implies knowing foreign regulations (Brazil, Europa and Chile), to then be able to compare and perform an evaluation of the results.

Once the results were compared, the characteristics of the residual sludge were evaluated; proposing the use of these as soil improvers. The proposal for the reuse of residual sludge was also proposed, using biodigesters; in order to obtain a residual mud of better conditions, so that it can be applied to the soil without restrictions.

The most outstanding result was obtained from the analysis of the physicochemical and biological composition, is the class of the sludge (see table N ° 49); where it is appreciated that for 2015, four WWTPs classify as category A and B; being San Antonio de Carapongo, Carapongo, San Bartolo Sur and Manchay and for the year 2013 none classified as category A and B, due to the presence of heavy metals, salmonella and in some helminth eggs.

Key words: Wastewater treatment plants, waste sludge, biodigesters, soil improver, waste, metals, helminth eggs, salmonella and coliforms.

INDICE

AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	1
ASPECTOS METODOLÓGICOS	3
1. ANTECEDENTES.....	3
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
3. OBJETIVOS	7
3.1. OBJETIVO GENERAL	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
4. HIPOTESIS.....	8
5. VARIABLES	8
6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	9
6.1. JUSTIFICACIÓN.....	9
6.2. IMPORTANCIA	9
MARCO TEÓRICO	11
2.1. BASES TEÓRICAS.....	11
2.1.1. AGUAS RESIDUALES.....	11
2.1.2. CLASES DE AGUAS RESIDUALES.....	11
2.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	12
2.1.4. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	22
2.1.5. PROCESOS OPERACIONALES Y UNITARIOS EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	24
2.1.7. LODOS RESIDUALES	35
2.1.8. BIODIGESTORES.....	39
2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	49
2.3. MARCO LEGAL	53
2.3.1. NACIONAL.....	54
2.3.2. INTERNACIONAL	54
MATERIALES Y MÉTODOS	83
3.1. MATERIALES.....	83
3.1.1. EQUIPOS	83
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	84

3.2.1.	MÉTODO.....	84
3.2.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	84
3.2.3.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	85
3.3.	UNIDAD DE ANÁLISIS.....	85
3.4.	MARCO TEMPORAL.....	85
3.5.	MARCO ESPACIAL.....	85
3.6.	METODOLOGÍA.....	86
3.6.1.	FASES DE INVESTIGACIÓN.....	86
3.6.2.	UNIVERSO Y MUESTRA.....	87
	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	89
4.1.-	LOCALIZACION DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	89
	RESULTADOS.....	91
5.1.	DESCRIBIR LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LAS CINCO (05) PTARS DE LA EMPRESA SEDAPAL, QUE SON ÁMBITO DE ESTUDIO DE LA PRESENTA TESIS.....	92
5.1.1.	PTAR CARAPONGO:.....	92
5.1.2.	PTAR SANTA CLARA:.....	99
5.1.3.	PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO:.....	103
5.1.4.	PTAR MANCHAY:.....	108
5.1.5.	PTAR SAN BARTOLO SUR.....	112
5.2.	DETERMINAR LA COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LOS LODOS PROVENIENTES DE LAS CINCO (05) PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	118
5.2.1.	RESULTADOS DE ALGUNOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, TALES COMO:.....	118
5.2.2.	RESULTADOS DEL LODO RESIDUAL:.....	123
5.3.	DETERMINAR LA CLASE DE LODOS PROVENIENTE DE LAS CINCO (05) PTARS DE ESTUDIO.....	133
A.	METALES:	133
B.	COLIFORMES TERMOTOLERANTES.....	135
C.	SALMONELLA.....	136
D.	HELMINTOS.....	138
5.4.	PLANTEAR UNA PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES, GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	141
5.4.3.	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.....	143
5.4.3.	PTAR SAN JERÓNIMO DE SEDACUSCO.....	148
	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	151

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
7.1. CONCLUSIONES	155
7.2. RECOMENDACIONES	157
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	160
ANEXOS	164
9.1. CARTAS A SEDACUSCO	164
9.2. VALORIZACIÓN DEL TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PELIGROSOS Y NO PELIGROSOS.....	167
9.3. UBICACIÓN DE LAS PTARs DE ESTUDIO.....	168

LISTA DE TABLAS

N°	DESCRIPCIÓN	PAG
1	Variables dependientes e independientes	8
2	Bacterias presentes en el suelo y agua	19
3	Objetivos de los procesos de pretratamiento	26
4	Ventajas y Desventajas de las lagunas de estabilización	28
5	Eficacia del tratamiento biológico de lodos activados	34
6	Procedimientos y equipos en cada tratamiento	34
7	Caracterización de lodos generados en diferentes procesos de tratamiento de Aguas Residuales	36
8	Ventajas de un biodigestor	45
9	Concentraciones máximas de metales en lodos para aplicación al suelo	55
10	Clases de lodo de alcantarillado – agentes patogénicos (Normativa Chilena)	55
11	Requisitos mínimos de calidad del lodo de alcantarillado o producto derivado destinado a la agricultura	67
12	Clases de lodo de alcantarillado o producto derivado – agentes patogénicos	68
13	Límites de concentración de metales pesados	75
14	PTARs de estudio (05)	91
15	Caudal tratado 2013 (l/s)	119
16	Caudal tratado 2015 (l/s)	119
17	Resultados de DQO (mg/l) de entrada y salida del 2013 y 2015	121
18	Resultados de DBO (mg/l) de entrada y salida del 2013 y 2015	122
19	pH del lodo residual de los años 2013 y 2015	123
20	Valores límites de arsénico en lodo residual	124
21	Resultado del arsénico en el lodo residual (2013 y 2015)	124
22	Valores límites de Cadmio en lodo residual	125
23	Resultado del Cadmio en el lodo residual (2013 y 2015)	125
24	Valores límites de Plomo en lodo residual	125
25	Resultado del Plomo en el lodo residual (2013 y 2015)	126
26	Valores límites de Cobre en lodo residual	126
27	Resultado del Cobre en el lodo residual (2013 y 2015)	126
28	Valores límites de Mercurio en lodo residual	127
29	Resultado del Mercurio en el lodo residual (2013 y 2015)	127
30	Valores límites de Níquel en lodo residual	128
31	Resultado del Níquel en el lodo residual (2013 y 2015)	128
32	Valores límites de Cromo en lodo residual	128
33	Resultado del Cromo en el lodo residual (2013 y 2015)	129
34	Valores límites de Molibdeno en lodo residual	129
35	Resultado del Molibdeno en el lodo residual (2013 y 2015)	129
36	Valores límite de Coliformes termotolerantes en lodo residual	130
37	Resultados de los Coliformes termotolerantes presentes en el lodo residual (2013 y 2015)	130
38	Valores límites de salmonella en lodo residual	131
39	Resultado de Salmonella presente en el lodo residual (2013 y 2015)	131
40	Valores límites de huevos de helminto presente en el lodo residual (2013 y 2015)	132
41	Resultado de huevos de helminto presente en el lodo residual (2013 y 2015)	132
42	Valores límites de concentración de metales en lodo residual	133
43	Resultados de concentraciones del lodo residual en las PTARs de estudio	133
44	Resumen de análisis de metales	134

45	Resumen del análisis de Coliformes Termotolerantes	135
46	Resumen de análisis de Salmonella	137
47	Resumen de análisis helmintos	138
48	Clasificación de los lodos residuales (2013 y 2015)	140
49	Costos por disposición de residuos no peligrosos	143
50	Costos por transporte de residuos peligrosos	144
51	Cantidad de lodo residual generado (no peligroso y peligroso) generado en el 2015	144
52	Cantidad de lodo residual generado (no peligroso y peligroso) generado en el 2016	145
53	Cantidad de lodo residual generado en el 2015	145
54	Cantidad de lodo residual generado en el 2016	145
55	Costo por disposición final en el 2015	146
56	Costo por transporte en el 2015	146
57	Costo por disposición final en el 2016	146
58	Costo por transporte en el 2016	146
59	Costos totales 2015 y 2016 por disposición y transporte de lodos residuales	146
60	Costos de compost y abono	148
61	Supuesto costo de venta de compost	148

LISTA DE DIAGRAMAS

N°	DESCRIPCIÓN	PAG
1	Parámetros de las aguas residuales	13
2	Esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales	23
3	Procesos unitarios del tratamiento de agua residual	25
4	Tratamiento de lodos residuales	37
5	Esquema de un biodigestor	40
6	Metodología de Evaluación de lodos residuales	88
7	Flujo del proceso de tratamiento de la PTAR Carapongo	94
8	Flujo del proceso de tratamiento de la PTAR Santa Clara	101
9	Flujo del proceso de tratamiento de la PTAR San Antonio de Carapongo	105
10	Flujo del proceso de tratamiento de la PTAR Manchay	110
11	Flujo del proceso de tratamiento de la PTAR San Bartolo Sur	114
12	Flujo del proceso actual de las aguas residuales	142
13	Flujo de la propuesta de aprovechamiento del lodo residual, mediante la implementación de biodigestor	142
14	Proceso de la PTAR San Jerónimo	149

LISTA DE FIGURAS

N°	DESCRIPCIÓN	PAG
1	Rejas o tamices	26
2	Desarenadores	26
3	Esquema del desengrasador	27
4	Laguna facultativa típica	30
5	Aireador de superficie y difusor de aire	31
6	Etapas del tratamiento biológico de tipo lodos activados	32
7	Contaminantes tras el tratamiento biológico	33
8	Espesamiento por gravedad	38
9	Espesador de disco	38
10	Esquema general de un biodigestor de flujo continuo	41
11	Tipos de biodigestores	42
12	Esquema general de un biodigestor de flujo discontinuo	43
13	Esquema general de un biodigestor de dos etapas	43

LISTAS DE FOTOGRAFÍAS

N°	DESCRIPCIÓN	PAG
1	Compuerta (manual y automatizada)	95
2	Rejas automáticas	95
3	Compactadora	95
4	Desarenador	96
5	Caudalímetro	96
6	Laguna anaerobia	96
7	Lagunas aireadas de mezcla completa	97
8	Laguna secundaria de mezcla parcial	97
9	Desarenadores	97
10	Cámara de contacto de cloro	98
11	Lecho de secado	98
12	Pre tratamiento de la PTAR Santa Clara	102
13	Espesador de Lodos PTAR Santa Clara	102
14	Lodo deshidratado de la PTAR Santa Clara	102
15	Reactor de la PTAR S.A. Carapongo	106
16	Recolección de lodos PTAR S.A.Carapongo	106
17	Deshidratación de lodos PTAR S.A.Carapongo	106
18	Lecho de Secado de la PTAR S.A.Carapongo	107
19	Pre Tratamiento de Lodos PTAR Manchay	111
20	Tratamiento de Lodos PTAR Manchay	111
21	Tratamiento preliminar	115
22	Medidor de caudal	115
23	Desarenador	115
24	Tanques de aireación	116
25	Digestor de lodos	116
26	Formación de flóculos	116
27	Tanque de polímero	117
28	Lodo deshidratado	117

LISTA DE GRÁFICAS

N°	DESCRIPCIÓN	PAG
1	Caudal de diseño vs caudal tratado 2013 (l/s)	120
2	Caudal de diseño vs caudal tratado 2015 (l/s)	120
3	Resultados de DBO (mg/l) de entrada y salida (2013 y 2015)	122
4	pH del lodo residual de los años 2013 y 2015	123
5	Resultados de DQO de entrada y salida de la PTAR San Jerónimo	150

LISTA DE MAPAS

N°	DESCRIPCIÓN	PAG
1	Ubicación del área de estudio	90
2	Ubicación de la PTAR Carapongo	93
3	Ubicación de la PTAR Santa Clara	100
4	Ubicación de la PTAR San Antonio de Carapongo	104
5	Ubicación de la PTAR Manchay	109
6	Ubicación de la PTAR San Bartolo Sur	113

INTRODUCCIÓN

A nivel internacional ha considerado diversas alternativas de disposición de los lodos, tal como la incineración, el depósito en rellenos sanitarios, monorellenos y la aplicación directa al suelo (Epstein, 2003). Mosquera, M., et al., (2008), señalan que la producción de lodos municipales ha incrementado en años recientes en Europa, causando un problema en la disposición; por ella la Unión Europea promueve el uso de lodos en agricultura a través del reciclaje de nutrientes. En Australia, según Munn et al. (2000) el 80% de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas son utilizados para mejorar las condiciones de fertilidad de los suelos. Sin embargo, se sabe que existen restricciones de uso del lodo, las que se asocian a la presencia de elementos traza metálicos y a una alta carga de microorganismos patógenos (Alloway, 1995).

A nivel nacional, la mayoría de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento - EPS; por no decir todas, enfrentan problemas en la gestión de los residuos sólidos. Como es de conocimiento en el proceso de tratamiento de las aguas residuales (tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario) se generan subproductos; tales como agua residual tratada, lodos residuales y gases de efecto invernadero; siendo objeto de estudio los lodos residuales, en la presente investigación; pues como se indicó en el primer párrafo existe una problemática en la gestión de estos residuos (lodos residuales); lo cual se debe fundamentalmente a los pocos rellenos sanitarios y de seguridad que existen a nivel nacional, solo 9 rellenos sanitarios (4 en Lima – Callao, 2 en Junín, 1 en Loreto, 1 en Ancash y 1 en Cajamarca) y 2 de seguridad (1 Befesa en Lima, 1 Chíncha – Ica) (OEFA, 2014).

Por ello, una forma de aliviar el problema es la valorización del residuo como lo indica textualmente el inciso b del artículo 5, del Decreto Legislativo N°1278 (aprobación de la

Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos) *“Los residuos sólidos generados en las actividades productivas y de consumo constituyen un potencial recurso económico, por lo tanto, se priorizará su valorización, considerando su utilidad en actividades de: reciclaje de sustancias inorgánicas y metales, generación de energía, producción de compost, fertilizantes u otras transformaciones biológicas, recuperación de componentes, tratamiento o recuperación de suelos, entre otras opciones que eviten su disposición final.”*; no obstante, es necesario realizar un análisis previo a los lodos residuales; ya que su utilización está condicionada a la presencia de metales pesados, microorganismos patógenos.

Finalmente, el tratamiento de los lodos residuales como mejorador de suelo permitirá una valorización del residuo en cumplimiento de las normativas legales vigentes; ya que, debido a los nutrientes presentes, se mejorará las características del suelo, y así se evitará considerar como primera opción la disposición final de este residuo a relleno sanitario y/o de seguridad.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

1. ANTECEDENTES

- “Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicio de Saneamiento”. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) – Cooperación Alemana, Implementada por la GIZ, Programa de Modernización y Fortalecimiento del Sector Agua y Saneamiento (PROAGUA II), febrero 2016. SUNASS, la cooperación alemana GIZ y PROAGUA II, realizaron el referido diagnóstico, respecto a los sistemas de tratamiento de aguas residuales de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) a nivel nacional y a la vez presenta propuestas para mejorar el sistema de tratamiento, aportes en el marco normativo en lo referente a requerimientos de calidad ambiental, el establecimiento de una política que apoya el reúso de aguas residuales tratadas y de los lodos generados; entre otros aspectos.
- La Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos”. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA. 2014. El presente documento publicado por OEFA, expone las nociones básicas del manejo de los residuos sólidos, las cifras de la generación y manejo de los residuos sólidos en Lima y los principales problemas asociados a los residuos sólidos de gestión municipal en el país.
- Informe 072-2016-VIVIENDA/VMCS-DGAA-DGA, realizado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en el cual se elaboró un Informe Estadístico Anual Datos de Monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR durante el año 2015 conforme al cumplimiento del Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales Domésticas o Municipales. En dicho informe, se presentan las PTARs que

superan el LMP establecido para coliformes termotolerantes y las PTARs que presentan sobrecarga hidráulica y orgánica.

- Calla (2010) desarrolló un estudio de la Calidad del agua en la cuenca del río Rímac – Sector San Mateo, afectado por las actividades mineras. Identificó la presencia de las empresas mineras cercanas a las estaciones de muestreo de calidad de agua.
- Trejos M.& Agudelo N; 2012, quien, en su proyecto de grado del análisis del lodo analizado, muestra la clasificación y el uso de los lodos residuales en base a los resultados obtenidos para coliformes termotolerantes.
- Ficha Elika de Salmonella (2013), manifiesta las condiciones de supervivencia de la Salmonella (temperaturas elevadas superior a 30°C) y la investigación “microbiología, patogénesis, epidemiología, clínica y diagnóstico de las infecciones producidas por Salmonella” de Parra, M., Durango, J. & Mattar, S. (2002), el cual menciona la cantidad de bacterias de salmonella para el desarrollo de la enfermedad sintomática.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El tratamiento de las aguas residuales es de mucha importancia hoy en día a nivel mundial, pues la preocupación por el recurso hídrico, escasez de agua, se ha intensificado, dándole así un mejor uso y disposición final.

En Perú, el marco normativo presenta deficiencias ya que, si bien la Ley General de Recursos Hídricos señala que todo vertimiento a un cuerpo receptor (ríos, lagos, océano) debe tener tratamiento previo, no considera la disposición de los lodos que se generan en el proceso de descomposición de la materia orgánica, existente en las aguas residuales. Por otra parte, la Ley de Residuos Sólidos considera

a estos lodos como peligrosos, lo que ponen una limitación en el posible reúso (con un indicativo “*salvo el generados demuestre lo contrario*”), sumándose al problema el hecho que son pocos los lugares autorizados para disponer los lodos, la falta regulación respecto al manejo de lodos para reúso agrícola. Así también respecto al diseño y construcción de las PTAR, pues existen fallas en la construcción y el equipamiento es insuficiente en las unidades de tratamiento.

Respecto a la operación de las PTARs, un estudio efectuado por SUNASS en el año 2016 indica que a nivel nacional más del 50% de las PTAR, operan en sobrecarga, vale decir, presentan deficiencias respecto del diseño con el volumen de aguas que se tratan generando una sobrecarga orgánica e hidráulica, lo que se transforma en una mayor generación de lodos con alta carga de materia orgánica y presencia de organismos patógenos contaminantes. A este problema se suma el hecho de que, a nivel nacional, la mayoría de PTARs reciben descargas industriales que aportan cargas orgánicas adicionales a lo que aporta la población, a pesar de existir una normativa aplicable a las descargas no domesticas – Decreto Supremo N°021-2009-VIVIENDA, aún no se cuenta con un registro de las descargas industriales vertidas a la red de alcantarillado que permita medir el aporte de carga orgánica.

SEDAPAL, producto del tratamiento que se le da a las aguas servidas y en cumplimiento de sus objetivos empresariales, que es brindar un servicio de calidad, genera en los procesos de tratamiento de las aguas residuales el subproducto denominado lodo residual, que en cumplimiento del Reglamento de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos – Decreto Supremo N°057-2004-PCM, que considera a los lodos residuales como residuos peligrosos, *salvo que el generador demuestre lo contrario con estudios técnicos*. Esta excepción podría permitir que los lodos pudieran ser utilizados para el desarrollo de otras actividades económicas, pero

como se ha mencionado, los lodos de PTAR podrían tener problemas en el reúso, principalmente por el potencial peligro de almacenar patógenos.

Una dificultad adicional que existe para cumplir con la ley, en cuanto a la disposición final de los lodos de PTAR, está relacionada con que no se cuenta con lugares adecuados, porque a nivel nacional solo existen 2 rellenos de seguridad, uno en Lima (BEFESA) y el otro en Chincha (HUATIQUMER); provocando un problema ambiental ya que se hace imposible el cumplimiento de la normativa ambiental para la mayoría de las EPS. De igual modo sucede con los rellenos sanitarios, debido que en Perú solo hay 9 rellenos sanitarios (4 en Lima – Callao, 2 en Junín, 1 en Loreto, 1 en Ancash y 1 en Cajamarca) (OEFA, 2014).

SEDAPAL, hasta el 2016 depositaba los lodos de sus PTARs a rellenos de seguridad; lo cual generaba un problema económico ya que de las 19 PTARs que tiene, solo 09 tienen lechos de secado de lodos, las otras PTAR envían los lodos en ese estado, provocando que anualmente se genere un aproximado de 32 000 toneladas de lodo residual, lo cual significa un gasto muy elevado en disponer los lodos residuales en rellenos sanitarios seguros. En este sentido, el objetivo de la presente tesis tiene por intención, analizar las posibilidades de que en vez de gastar dinero en la disposición final, los lodos residuales de SEDAPAL puedan contar con una opción de aprovechamiento, logrando así una mejora ambiental y económica para la Empresa, como lo viene realizando México, Chile, Colombia, Brasil, Alemania, Australia, Estados Unidos, etc; países que cuentan con normativas legales aplicadas para este tipo de residuos en las cuales establecen ciertos parámetros para considerarlos como biosólidos, los cuales permiten darle un reúso y en algunos casos según sus características ser utilizados como mejoradores de suelo.

2.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1 PROBLEMA PRINCIPAL

¿Son aptos los lodos residuales de las cinco (05) plantas de tratamiento de aguas residuales de SEDAPAL (PTAR Carapongo, PTAR San Antonio de Carapongo, Manchay, PTAR Santa Clara y PTAR San Bartolo Sur) para aprovechamiento como mejorador de suelo?

2.2.2 PROBLEMA SECUNDARIO

¿Las cinco (05) Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de estudio, tienen los mismos procesos para el tratamiento de las aguas residuales?

¿Cuál es la composición física, química y biológica de los lodos residuales de las cinco (05) PTARs de estudio?

¿Cuál es la clasificación para cada uno de los lodos de las cinco (05) PTARs de estudio, considerando las normativas de estudio (Chile, Europa y Brasil)?

¿Cómo se pueden aprovechar los lodos residuales de las PTARs?

3. OBJETIVOS

3.1.OBJETIVO GENERAL

- Determinar las características físicas, químicas y biológicas de los lodos residuales provenientes de las cinco (05) plantas de tratamiento de aguas residuales de estudio y mediante un análisis comparativo con marco normativo internacional, evaluar su potencial aprovechamiento como mejorador de suelos.

3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los procesos de tratamiento de las cinco (05) PTARs de estudio, de la empresa SEDAPAL, que son ámbito de estudio.

- Determinar la composición fisicoquímica y biológica de los lodos provenientes de las cinco (05) PTARs de estudio.
- Determinar la clase de lodos proveniente de las cinco (05) PTARs de estudio, mediante análisis comparativo de un marco normativo internacional.
- Plantear una propuesta de aprovechamiento de lodos residuales, generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

4. HIPOTESIS

La hipótesis de la presente tesis sostiene que los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales de SEDAPAL, son aptos para ser utilizados como mejoradores de suelos para la producción de cultivos o para el sostenimiento de áreas verdes, ya que en ellos hay presencia de materia orgánica.

5. VARIABLES

Las variables que se definirán serán dependientes e independientes de acuerdo a los objetivos de la presente tesis. A continuación, en la Tabla N°01 se describen las variables:

Tabla N°01: Variables dependientes e independientes

Variable dependiente	Variable Independiente	Indicador	
Lodos residuales	Características: 1. Físicas	Ph	-
		Humedad	%
		Temperatura	°C
	2. Químicas (metales)	Miligramos por kilogramo	mg/kg.
		Demanda bioquímica de oxígeno - DQO	mg/kg
		Demanda Biológica de Oxígeno – DBO5	mg/kg
		Coliformes totales	NMP
	3. Biológicas	Coliformes termotolerantes	NMP

		Salmonella	Presencia / Ausencia o Sp/25
		Helmintos	Huevos de helmintos

Fuente: Elaboración Propia

6. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

6.1.JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a los principales desafíos encontrados en el diagnóstico de las PTARs a nivel nacional, realizado por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento – SUNASS; se detectó que no existe un marco normativo para la disposición final de los lodos residuales de las PTARs; es decir, no se cuenta con regulación para el manejo de lodos residuales para reúso agrícola.

Por ello, la necesidad de desarrollar la presente tesis como investigación; ya que la Empresas Prestadoras de Servicios – EPS generan una gran cantidad de lodos residuales como subproducto de sus procesos de tratamiento, y en este caso, la presente tesis brinda una propuesta de reúso, de tal forma que genere beneficios agrosistemicos; ya que puede utilizarse como un insumo para mejorar los suelos sin tener efectos adversos al ambiente y a la salud de la población, dándole a este subproducto un valor agrícola y ambiental.

6.2.IMPORTANCIA

Al tener como subproducto al lodo residual, considerado como residuo peligroso por normativa legal vigente, genera un alto riesgo sanitario; pues al agregar este subproducto directamente a parques y jardines, las personas que transitan y/o interactúan directamente con dichas áreas, son más vulnerables a adquirir enfermedades gastro intestinales (humanos).

Así mismo, se genera contaminación ambiental; debido que se va contaminar el suelo por la presencia de metales pesados y/o sustancias tóxicas, que lo convierten en un suelo improductivo.

Por efecto de lo antes mencionado, la disposición final de estos residuos debe realizarse bajo medidas de seguridad, formalmente (bajo tratamiento previo) como mejorador del suelo, reduciendo costos por disposición final, mejorando el paisaje; en otras palabras, contribuyendo con el ambiente.

MARCO TEÓRICO

2.1. BASES TEÓRICAS

2.1.1. AGUAS RESIDUALES

Se define a las aguas residuales como aquellas que provienen de las actividades del hombre y de los animales, tanto como de las precipitaciones, y que son recolectadas en los sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al ambiente (Lazcano, 2014, p. 348).

Otro problema que se origina con las aguas residuales es que el sistema de alcantarillado es uno solo, donde los desagües de todo tipo se mezclan, originándose mezclas de diferentes características y por ende un mayor grado de dificultad en el tratamiento. (Lazcano, 2014, p. 348).

2.1.2. CLASES DE AGUAS RESIDUALES

- **Aguas residuales domésticas**

Son flujos de agua conformadas por excretas (heces y orina) eliminadas por la población. Las aguas residuales domesticas contienen o pueden contener otros elementos molestos como bacterias patógenas, metales pesados, compuestos carbonosos difícilmente degradables. (Charpentier J; 2014).

- **Aguas residuales municipales**

Son las aguas provenientes de efluentes domésticos, pequeñas industrias y otras actividades realizadas en áreas urbanas tales como comercio, restaurantes, mercados, etc.; las cuales aumentan los contaminantes que pueden resultar indeseables para los tratamientos convencionales. (Lazcano, 2014, p. 348).

- **Aguas residuales industriales**

Son aquellas que provienen de las industrias que existen fuera de las áreas urbanas, las cuales deberían tratar sus desagües antes de ser vertidas a la red de alcantarillado, teniendo en cuenta la normativa vigente sobre vertidos de descarga industrial. (Lazcano, 2014, p. 348).

- **Aguas residuales agropecuarias o agroindustriales**

Se refieren a las escorrentías que provienen de la actividad agrícola y de los establos, mataderos, granjas, etc., que generan cantidad de materia orgánica carbonácea, constituida por estiércol y purines de animales, combinado con residuos tóxicos de los pesticidas y fertilizantes usados en la agricultura. (Lazcano Carreño, 2014).

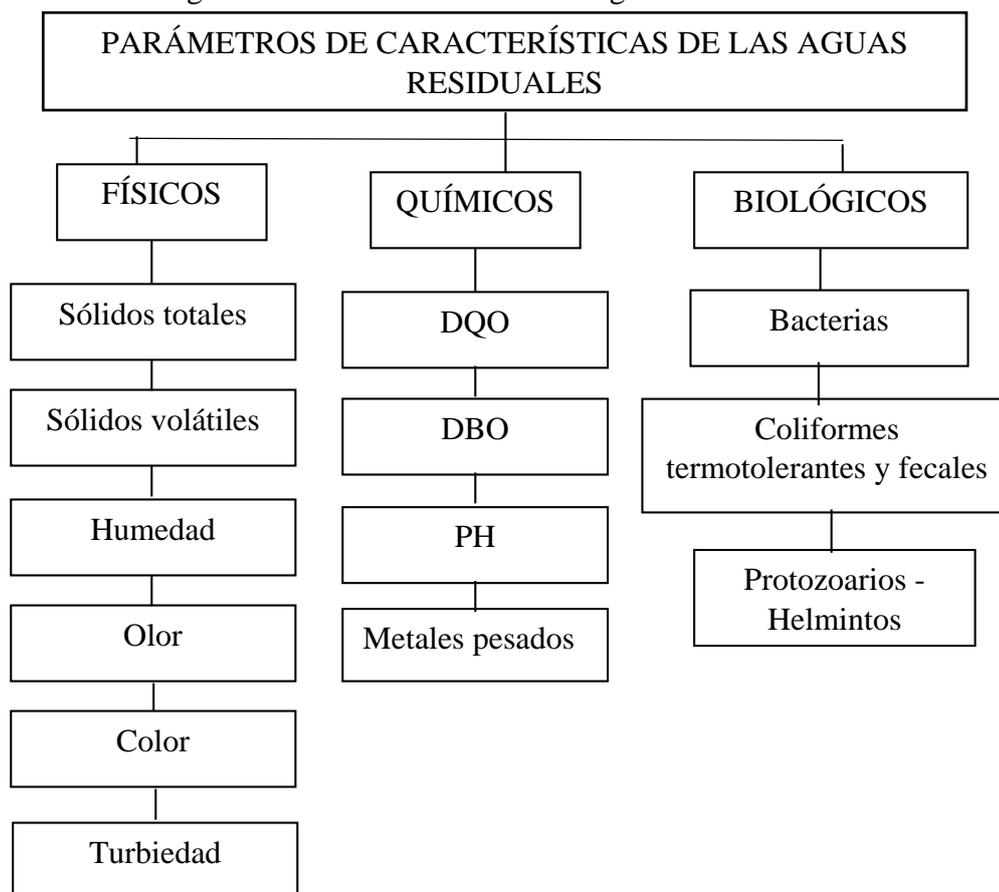
- **Aguas residuales de origen minero-metalúrgico**

Son los efluentes provenientes de las minas más contaminantes y de mayor riesgo tanto para su uso como para su disposición, ya que están constituidos mayormente por metales pesados como el mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Zinc (Zn), etc. y metaloides como el antimonio (Sb), azufre (As). Todos estos residuos son tóxicos para la biota acuática y el hombre si es el usuario final. (Lazcano Carreño, 2014).

2.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las características de las aguas residuales están clasificadas como físicas, químicas y biológicas. (Rojas, R; 2002). A continuación, se resume en el Diagrama N°01 los parámetros involucrados:

Diagrama N°01: Parámetros de las aguas residuales



Fuente: Elaboración propia

A. Características Físicas

- **Sólidos Totales**

Se definen como los residuos que se obtienen después de que la muestra ha sido evaporada y secada a 105 °C. (Lazcano Carreño, 2014).

Son sólidos sedimentables, aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente cónico (cono Imhoff) después de dejar reposar 1L de agua en el transcurso de 1 hora (ml/L), por ello su expresión en ml/L; constituyen una medida aproximada de la cantidad de lodos que se obtendrá en la sedimentación primaria del agua residual. (Lazcano Carreño, 2014).

Sólidos volátiles: Son sólidos orgánicos que se encuentran presentes en los sólidos totales, se volatizan después de incinerar a 550 °C una muestra de sólido, por un tiempo determinado. Están constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, representados por material orgánico (Lazcano Carreño, 2014).

La concentración de los sólidos volátiles se suele considerar como una medida aproximada del contenido de materia orgánica, y en ciertos casos, de las concentraciones de sólidos biológicos, tales como bacterias o protozoos. (DOP –CEA Jalisco, 2013)

- **Olores**

Los olores percibidos son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Cuando las aguas se vuelven sépticas, la liberación de gases da como resultado olores fuertes que son difíciles de soportar por las personas. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia de sulfuro de hidrogeno (olor a huevo podrido) que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. (Metcalf & Eddy, INC, 1995).

- **Humedad**

Es el contenido de agua que se evapora en el proceso de deshidratación, se expresa como porcentaje en relación al peso total o como relación del peso seco en relación al peso total. (Orson W., Vaughn E.,2003).

- **Temperatura**

Suele ser más elevada la temperatura del agua residual que la de agua potable, debido a la incorporación de líquidos calientes sea de las casas y/o diferentes usos industriales. También debido a que el calor específico del agua es mayor que la del aire, las aguas

residuales registran temperaturas más altas que la del aire durante la mayor parte del año (Lazcano Carreño, 2014).

La temperatura influye en la biodegradabilidad de la materia orgánica, ya que contribuye con los procesos cinéticos químicos y biológicos. Temperaturas altas favorece a la disminución de oxígeno disuelto, disminuyendo a su vez la tasa de crecimiento bacterial y el crecimiento de especies como protozoarios, crustáceos, peces, etc. (Lazcano, 2014).

En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21 °C, pudiéndose tomar como valor representativo 15,6 °C. Mientras que la temperatura óptima para el crecimiento microbiano se sitúa entre los 25-35 °C. (Metcalf & Eddy, INC, 1995).

- **Color**

El color de las aguas residuales se debe a las partículas que contiene, a las sustancias que son arrojadas a los desagües, entre ellas encontramos los ácidos húmicos y fúlvicos, taninos, colorantes de las industrias, etc. (Lazcano Carreño, 2014).

El color del agua puede ser determinada de forma cualitativa en función de su olor y color, por ejemplo, el agua residual reciente con no más de 6 horas de su descarga suele presentar un color café claro; un agua residual con más de 6 horas de descarga presenta un color gris claro, debido a la descomposición de la materia orgánica; mientras que un color gris oscuro o negro son típicas de las aguas residuales sépticas debido que han sufrido descomposición microbiana bajo condiciones anaerobias. Mayormente el color gris, gris oscuro o negro se debe a la formación de ácido sulfhídrico (H₂S) y sulfuro ferroso (FeS). (Lazcano, 2014).

- **Turbidez**

Se debe a la cantidad de materias en suspensión que hay en las aguas residuales (limo, materia orgánica y microorganismos). Esta turbidez, en las masas de aguas receptoras, afecta a la penetración de la luz, lo que redundaría en una menor productividad primaria. La presencia de materias en suspensión, arcilla, limos, coloides orgánicos, plancton y organismos microscópicos da lugar a la turbidez en un agua. Estas partículas (de dimensiones variables desde 10 nm hasta 0,1 mm) se pueden asociarse a tres categorías: minerales, partículas orgánicas húmicas y partículas filamentosas. (Rafael Marin Galvín)

B. Características químicas

Generalmente están dadas por los desechos que ingresan al agua servida, a continuación, se detallan las principales características químicas:

- **pH**

Es una medida de concentración de ión hidrógeno en agua, se expresa como el logaritmo negativo de la concentración molar de hidrógeno. (Lazcano Carreño, 2014).

Aguas residuales con pH menor a 6, en un tratamiento biológico, favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias; a pH bajo, el poder bactericida del cloro es mayor porque predomina el HOCL; a pH alto, la forma predominante de nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa no iónica (NH₃), la cual es tóxica. El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede ser muy restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6,5 a 8,5. (Vásquez, G., 2013).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

Parámetro empleado para medir la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable en una muestra de agua, por ello si hay gran cantidad de desechos orgánicos en agua, también existirá mayor cantidad de bacterias presentes descomponiendo el desecho orgánico. En ese caso, la demanda de oxígeno será elevada. (Ramalho, 2003). Al valor calculado de la DBO se le conoce como Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días 20°C y es representada de la siguiente forma DBO₅, ya que según McKinney (1962), «El test de la DBO, propuesto por que en Inglaterra ningún curso de agua demora más de cinco días en desaguar (desde nacimiento a desembocadura). Valores por encima de 30 miligramos de oxígeno disuelto por litro (mg O₂/l) pueden ser un indicador de contaminación de agua. (DOP –CEA Jalisco, 2013).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Parámetro que se encarga de medir la cantidad de sustancias capaces a ser oxidadas por medios químicos en una muestra líquida. Con dicho parámetro se mide el grado de contaminación y es expresado en miligramos por litro (mg/l) (Lazcano Carreño, 2014).

- **Metales pesados**

El análisis de metales pesados como plomo, cromo, cadmio, mercurio, arsénico, cobre, zinc, níquel, molibdeno y selenio es de gran importancia ya que se convierte en una preocupación para la salud pública por su toxicidad aguda y crónica. Su presencia en lodos residuales se da por la descarga de efluentes industriales en la red de alcantarillado, los cuales según normativa vigente son regulados por los valores máximos admisibles mediante D.S N°021-2009-VIVIENDA (Metcalf & Eddy, 1995).

Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales. (Metcalf & Eddy, 1995).

C. Características biológicas

Las características biológicas de las aguas residuales son de suma importancia, ya que en ellas existen una gran variedad de organismos vivos, entre ellos organismos patógenos al hombre (virus, bacterias, formas parasitarias, etc.); que pueden ser causantes de enfermedades. Las bacterias y microorganismos influyen en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, sea en el medio natural o en las plantas de tratamiento de aguas residuales (Lazcano Carreño, 2014).

Cuando los lodos son tratados inadecuadamente y/o ilegalmente con fines agrícolas u otros, las personas y animales están expuestos a los patógenos presentes en los lodos; sea por contacto físico (contacto directo) o a través del consumo de aguas o alimentos contaminados (contacto indirecto). Pájaros, insectos, roedores o agricultores pueden contribuir en la transmisión de enfermedades, por el transporte de lodos contaminados de un lugar a otro. (Rodríguez., 2010).

Las principales clases de organismos patógenos que se encuentran presentes en aguas residuales son (Lazcano Carreño, 2014):

- **Bacterias**

Las bacterias son organismos de forma muy variada (cocos, diplococos, estafilococos, espirilos, etc.), muchas son móviles, poseen flagelos para trasladarse, otras no y solo son transportadas por el medio donde habitan (Lazcano Carreño, 2014).

Existen muchas bacterias en el universo, bacterias que no producen enfermedades y otro grupo causantes de enfermedades en el hombre, animales y plantas (Lazcano Carreño, 2014).

Algunos microorganismos producen enfermedades, que son transmitidas por los animales al hombre, y aquellas que producen enfermedades al hombre por consumo, manejo o

cualquier uso del agua, mayormente enfermedades gastrointestinales. La mayoría de los patógenos bacterianos en los lodos y en mayor frecuencia en el agua son entéricas (Lazcano Carreño, 2014).

La EPA ha clasificado las bacterias patógenas en dos categorías: las de mayor preocupación y las de menor preocupación. Las bacterias de menor importancia son patógenos oportunistas que causan enfermedades sólo en personas debilitadas o inmunológicamente comprometidas (EPA/600/R-08/035F, 2011). Las bacterias de las principales preocupaciones se enumeran en la Tabla N°02.

Tabla N°02: Bacterias presentes en el suelo y agua

Bacterias	Suelo	Escherichia coli Salmonella Shigella
	Agua	Campylobacter fetus E.Coli Salmonella Shigella Vibrio cholera Yersinia enterocolitica

Fuente: Adaptado de la EPA/600/R-08/035F

- **Salmonella**

Todos los serotipos de este género son patógenos para los humanos. En estados unidos, la salmonelosis se debe por el consumo de alimentos infectados, es decir bacterias que se encuentran en vacuno y aves son capaces de crecer en los alimentos (Pepper et al., 2006).

La Organización Mundial de la Salud - OMS publicó en 2006 las directrices para la reutilización segura de aguas residuales y excretas en la agricultura¹. Allí se indican los principales enfoques para higienizar los productos de saneamiento, la cual considera para

¹ OMS, Guías para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises, 2006

la reutilización de material fecal (lodos sanitarios y heces), como indicadores, Huevos de Helmintos viables < 1 / g ST y *Escherichia coli* < 1,000/ g ST.

- **Coliformes termotolerantes y coliformes totales**

Los coliformes termotolerantes son un subproducto de los coliformes totales y se les denomina así por su capacidad de resistir elevadas temperaturas. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes, se encuentran presentes en heces, y están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *klebsiella*. Los coliformes termotolerantes, se encuentran presentes casi exclusivamente en las heces de los animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. (Lazcano Carreño, 2014)

El grupo de las bacterias de coliformes totales, comprende todos los bacilos gram negativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 horas, a $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Este grupo está conformado por 4 géneros principalmente: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Citrobacter* y *Klebsiella*. (DOP –CEA Jalisco, 2013).

- **Huevos de Helminto**

Son los de mayor riesgo de transmisión, esto se debe a su gran resistencia a los procesos de tratamiento convencionales y a sus largos periodos de supervivencia en el ambiente. Los huevos de helminto, son un grupo de organismos que incluye a los nematodos, trematodos y cestodos. (DOP –CEA Jalisco, 2013).

Los huevos de los nematodos intestinales constituyen la fase infectante en la mayoría de los casos, tal como son los huevos embrionarios de *Áscaris lumbricoides*, huevos de *Trichuris trichura*, etc., estos huevos se encuentran en el suelo y aguas contaminada. Las personas se infectan al ingerir hortalizas contaminadas, que fueron regadas con aguas

servidas sin tratar o con tratamientos deficientes. En otros nematodos, la forma infectante puede ser por la larva filariforme, por ejemplo, *Necator americanus* y *Strongyloides stercoralis*; las larvas presentes en suelos húmedos o aguas ingresan a través de la epidermis del hombre y llegan a nivel intestinal vía sanguínea, donde se desarrolla el parásito adulto. (Lazcano Carreño, 2014).

Por lo tanto, los helmintos representan un elevado riesgo para la salud humana, debido a sus diversos estadios infecciosos (huevos o larvas), que son altamente persistentes en el agua contaminada, aun cuando se encuentren en bajas concentraciones, dando lugar a enfermedades gastrointestinales. (DOP –CEA Jalisco, 2013).

- **Nutrientes:**

El nitrógeno, carbono y fosforo son nutrientes esenciales para el crecimiento de vida acuática no deseada. Cuando se vierten al suelo en grandes cantidades, pueden contaminar el agua subterránea. (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Nitrógeno:** al igual que el fosforo, son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, por tal razón reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. (Metcalf & Eddy, 1995).

Está presente como nitrógeno molecular (N_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), nitrato (NO_3^-), amoníaco (NH_4) y diversas formas orgánicas.

- **Fósforo:** tiene una importante función en el metabolismo de las plantas, ya que interviene en el desarrollo de las plantas, ya que se acumula en los tejidos. (Guerrero J., 2012).

Un contenido adecuado de fósforo en el suelo es de gran importancia para el desarrollo de las plantas, por intervenir en funciones fundamentales, como son: (Andrades, M., y Martinez, M.; 2014).

- Favorecer el desarrollo de las raíces
- Estimular el crecimiento y desarrollo vigoroso de las plantas.
- Favorecer la floración y fructificación y con ello la cantidad y calidad de los frutos y semillas.
- Adelantar la maduración de los frutos, entre otras funciones.
- **Potasio:**

El mantenimiento de determinados niveles de potasio en el suelo es decisivo para que éste pueda desempeñar sus distintas funciones en las plantas, entre las que se pueden señalar: (Andrades, M., y Martinez, M.; 2014).

- Favorecer la formación de hidratos de carbono.
- Incrementar la consistencia y dureza de los tejidos de las plantas dando una mayor resistencia a ciertas enfermedades.
- Aumentar la resistencia de las plantas a heladas
- Aumentar la resistencia de las plantas a la sequía.

2.1.4. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

En el desarrollo de este ítem se describen los procesos de tratamientos de aguas residuales con las diferentes tecnologías existentes más comunes a nivel nacional y mundial.

La actividad que realiza SEDAPAL, está normada por el Decreto Legislativo N° 1280 Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento, norma mediante la cual se rige la prestación de los servicios de saneamiento a nivel nacional.

Las aguas que son usadas por la población de Lima y Callao para aseo personal, lavado de ropa, alimentos, etc. son recolectadas por un sistema de alcantarillado y trasladadas a las PTAR con el propósito de eliminar las sustancias contaminantes orgánicas e inorgánicas presentes en el agua, para luego ser dispuestas a un cuerpo receptor sea este

rio, mar, laguna, etc.; evitando así que el ecosistema se contamine y conservando la flora y fauna presentes en el cuerpo receptor.

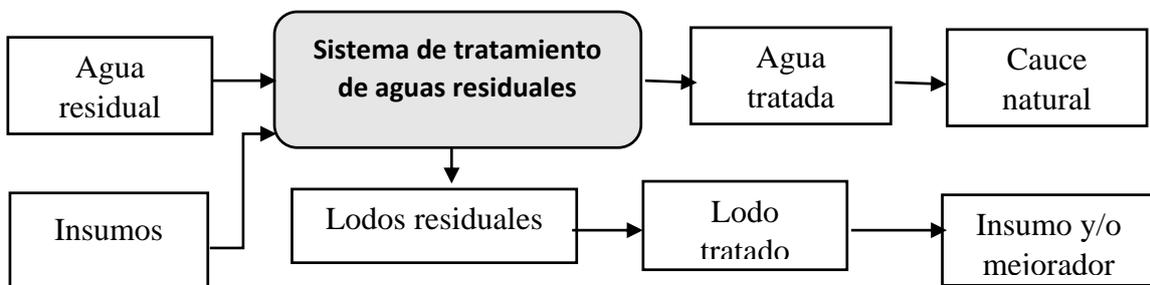
Así mismo, SEDAPAL cuenta con 19 PTARs ubicadas en los sectores norte, centro y sur; cada uno con un proceso de tratamiento seleccionado según las características del agua residual a tratar y la calidad deseada del agua tratada. Dependiendo del proceso como producto final se genera un residuo sólido en forma de lodo, la imagen muestra un esquema conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales; sin embargo, para el desarrollo de la presente investigación solo se han tomado una muestra de cinco (05) PTARs de lodos activados.

2.1.4.1. TECNOLOGÍAS EXISTENTES MÁS COMUNES EN LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales consta de procesos diferentes, que ayudan a un nivel de purificación del recurso hídrico. La finalidad principal de los procesos de tratamiento del agua residual es remover la materia contaminante sea orgánica e inorgánica, la cual puede encontrarse en forma de partículas en suspensión y/o disueltas.

En el Diagrama N°02 se muestra un esquema conceptual del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Diagrama N°02: Flujo conceptual de un sistema de tratamiento de aguas residuales



Fuente: elaboración propia

Para lograr un nivel de purificación del agua residual se emplean operaciones físicas y procesos unitarios (biológicos y químicos), los cuales se seleccionan en función de las características del agua residual a tratar y de la calidad deseada del agua tratada. Todos los procesos se realizarán en una PTAR, que viene a ser un área destinada a la recuperación del agua.

Para que el diseño de una PTAR sea eficiente es necesario un estudio técnico-económico basado en aspectos como el hidrológicos del cuerpo receptor, zona de descarga, uso final del agua tratada, área disponible para la instalación, datos climáticos, entre otros. (Norma OS.090, 2009).

Dependiendo del proceso se generarán subproductos tales como emisiones gaseosas, residuos sólidos que son retenidos en las rejillas o tamices, o semisólidos en forma de lodos.

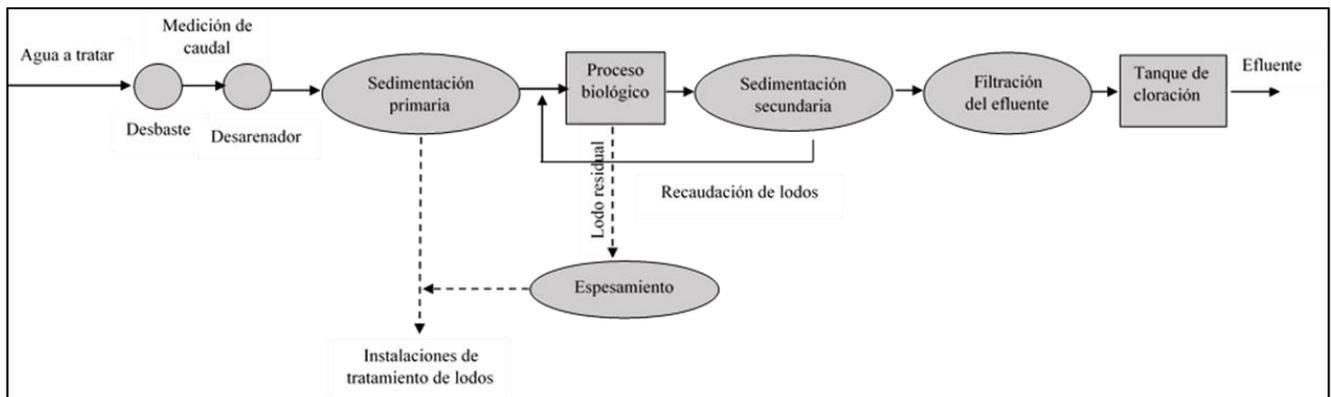
A continuación, se describen los niveles de tratamiento que se dan dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales (Noyola Adalberto, et al., 2013):

2.1.5. PROCESOS OPERACIONALES Y UNITARIOS EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Se llaman procesos operacionales a los métodos de tratamiento originados por fuerzas físicas, incluyen la captación, desarenación, homogenización, sedimentación, filtración y flotación; mientras que los procesos unitarios comprenden a los métodos basados en procesos químicos y biológicos que incluye la coagulación, floculación, floculación, desinfección, estabilización de la materia orgánica, lodos activados, etc. (Lazcano Carreño, 2014).

En el Diagrama N°03 se aprecia los procesos unitarios que suelen utilizarse en un diagrama de flujo de los procesos típicos del tratamiento de agua residual.

Diagrama N°03: Procesos unitarios del tratamiento de agua residual



Fuente: adaptado de Metcalf & Eddy, INC

Para el tratamiento de las aguas residuales es necesario que se realicen las siguientes fases:

- Tratamiento preliminar o pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

A. TRATAMIENTO PRELIMINAR O PRETRATAMIENTO

Tratamiento que tiene como finalidad retener los componentes de gran y mediano tamaño que obstaculizan los procesos. Dentro de los componentes que se retienen son ramas, piedras, animales muertos, plástico, arenas, aceites y grasas; para su descarga en los receptores o para pasar a un posterior tratamiento. (Rojas, R; 2002).

Para el desarrollo del tratamiento se utilizan cribas, desarenadores, flotadores, a continuación, se muestra en la Tabla N°03 los objetivos de tratamiento de las unidades preliminares. De igual forma se presentan las Figuras N°01, 02 y 03.

Tabla N°03: Objetivos de los procesos de pretratamiento

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasas

Fuente: Sistemas de tratamiento de Aguas Residuales, Ricardo Rojas – CEPIS/OMS

Figura N°01: Rejas o tamices



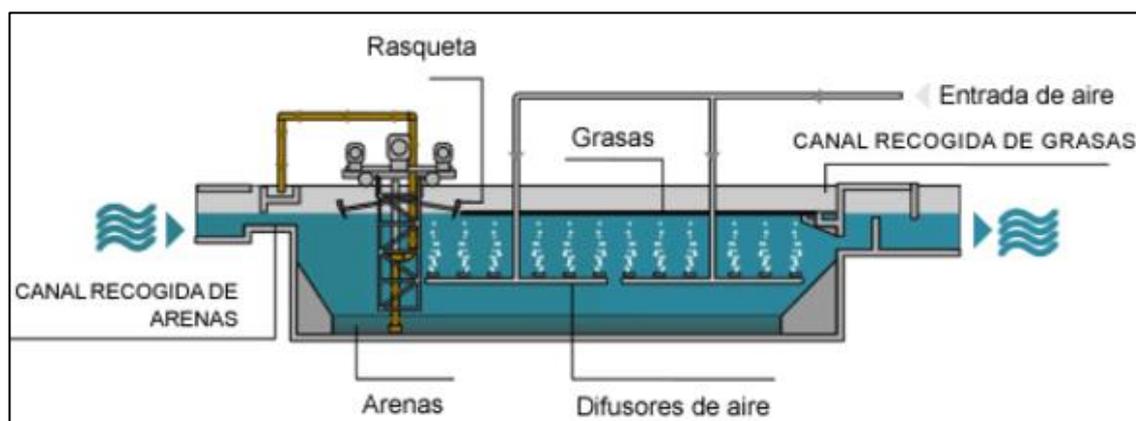
Fuente: https://es.slideshare.net/Sergio_Blanco/unidad-modular-2-sistemas-de-tratamiento

Figura N°02: Desarenadores



Fuente: <http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales.php>

Figura N°03: Esquema del desengrasador



Fuente: <http://www.consorcioaa.com/cmscaa/opencms/CAA/saneamiento/sistema-generico-de-saneamiento/depuracion-edar/desarenado-desengrasado.htm>

B. TRATAMIENTO PRIMARIO

Aquel tratamiento que tiene como objetivo remover los sólidos y la materia orgánica suspendida, utilizando la fuerza de gravedad. En este tratamiento se lleva a cabo los procesos de sedimentación y filtración (Rojas, R; 2002).

C. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Promueve la eliminación de sólidos en suspensión, compuestos orgánicos biodegradables, los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo; a menudo se incluye a la desinfección como parte del tratamiento secundario (Rojas, R; 2002).

Según la normativa peruana OS.090, considera como tratamiento secundario los procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor a 80%.

En el libro “Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales” de Lazcano Carreño, Cesar (2024), menciona como procesos biológicos al proceso de lodos activados, laguna anaerobia, filtros percoladores, lagunas aireadas, biodiscos, lagunas de oxidación, etc.

C.1. TRATAMIENTO EN LAGUNAS

- **Lagunas de Estabilización**

Son estanques diseñados para el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos naturales de interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.) y la materia orgánica contenida en el agua residual. (OS.090, 2006).

El tratamiento por lagunas de estabilización se aplica cuando la biomasa de las algas y los nutrientes que se descargan con el efluente pueden ser asimilados por el cuerpo receptor. El uso de este tipo de tratamiento se recomienda especialmente cuando se requiere de un alto grado de remoción de patógenos (OS.090, 2006).

Se debe tener en cuenta que no se considera como alternativa de tratamiento las lagunas de alta producción de biomasa (lagunas aerobias o fotosintéticas), ya que estas tienen como finalidad maximizar la producción de algas y no el tratamiento de desecho líquido.

A continuación, se presenta la Tabla N°04 comparativa de ventajas y desventajas de las lagunas de estabilización (Lazcano, C. 2014).

Tabla N°04: Ventajas y Desventajas de las lagunas de estabilización

Ventajas	Desventajas
Bajo costo	Grandes extensiones de terreno
Fácil manejo y operación	Clima tropicales o semitropicales
Gran eficiencia	

Fuente: Elaboración propia

Se consideran los siguientes sistemas de lagunas que tengan unidades anaerobias, aerobias, facultativas y de maduración (OS.090, 2006).

- **Lagunas anaerobias:** se emplea cuando existe poca disponibilidad de terreno para el tratamiento de aguas residuales con altas concentraciones y desechos industriales. La normativa peruana OS.090, no recomienda para temperaturas

menores de 15°C y presencia de alto contenido de sulfatos en algas residuales (mayor a 250 mg/l).

- **Lagunas aerobias:** Son caracterizadas por poseer poca profundidad (0,15 a 1.5 m.), por ende, recibe poca carga; la acción biológica está dada por bacterias aerobias y algas, que descomponen los residuos y proveen de oxígeno al sistema, respectivamente (Lazcano, C. 2014). Las lagunas aerobias, se clasifican en:

- Lagunas aerobias: aquellas lagunas donde la aireación es natural, en el cual el oxígeno es suministrado por la actividad fotosintética de las algas.
- Lagunas aereadas: aquellas lagunas donde la aireación es suministrada por medios mecánicos.

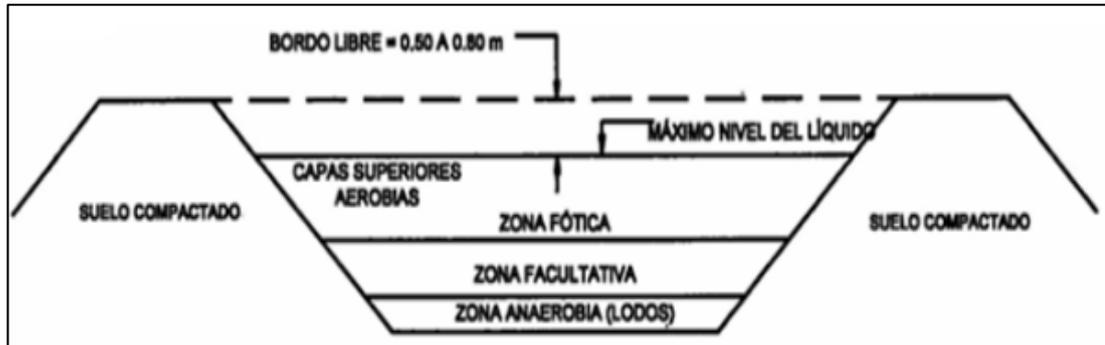
- **Lagunas Facultativas:** son las más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. También se les denomina lagunas de oxidación de agua residual doméstica o lagunas fotosintéticas. La profundidad de 1.5 a 2 m., dependiendo de su localización geográfica, clima y del volumen requerido para almacenar el lodo sedimentado. (Lazcano, C. 2014).

Se recomienda mantener un bordo libre de 0.5 a 0.8 m para minimizar los efectos del viento y el oleaje, así como absorber temporalmente sobrecargas hidráulicas. (Conagua, 2007).

Existen dos tipos de lagunas facultativas, las primarias que reciben el desagüe crudo y las secundarias, que reciben afluentes con tratamiento (generalmente anaeróbicas). Se diseñan para disminuir la carga superficial de la DBO en el rango de 100-400 kg/ha-d, permitiendo el desarrollo de micro algas; por ello el color del efluente es verdoso. Las lagunas facultativas presentan una zona aerobia en la superficie, mantenida con algas y bacterias aeróbicas, una zona facultativa donde existen bacterias facultativas que fermentan la materia orgánica con producción

de alcoholes, ácidos, etc. y una zona anaerobia en la profundidad, donde predominan los microorganismos anaerobios metanogénicos y acetogénicos, con producción de metano y otros gases (Lazcano, C. 2014). Véase la Figura N°04

Figura N°04: Laguna facultativa típica



Fuente: Conagua, 2007.

- **Lagunas de Maduración o de Pulimento:** Lagunas de maduración o de pulimento: lagunas cuya profundidad típicamente es de 1,0 m. (Lazcano, C., 2014). Tiene como finalidad remover los patógenos, tales como virus, larvas de helmintos y quistes de protozoarios. E. Coli se reduce hasta 6 log (99,9999%) (Mara, D., 2004), lo cual da la seguridad de lograr eliminar el 100% de bacterias patógenas tales como Salmonella, Vibrio cholerae, E. Coli, etc.

C.2. Lodos Activados

El proceso de lodos activados fue desarrollado en 1914 por Arden y Lockett llevaron a cabo experimentos a escala de laboratorio en la PTAR Manchester- Davyhulme, se usaron botellas de vidrio como reactores-cuencas de aireación; no obstante, para evitar el crecimiento de algas, se cubrieron a las botellas con papel marrón, para proteger su contenido de la luz del día (IWA conference; 2014).

En el experimento se evaluaron los sedimentos después de dejar la decantación en la botella y se añadió una nueva dosis de aguas residuales al sedimento para el siguiente

lote. Lockett y Arden descubrieron que la cantidad de sedimento aumentaba al aumentar el número de lotes. El sedimento formado durante la aireación de las aguas residuales se llamó lodo activado por su apariencia y actividad. (IWA conference; 2014).

Este proceso se caracteriza por consumir grandes cantidades de energía y generar grandes cantidades de efluente de calidad. Los costos operacionales son mayores que otros tipos de tratamiento secundario debido a la necesidad de suministrar oxígeno molecular mediante aireadores mecánicos o difusores. Véase Figura N°05. (Bustamante, 1999).

Figura N°05: Aireador de superficie y difusor de aire

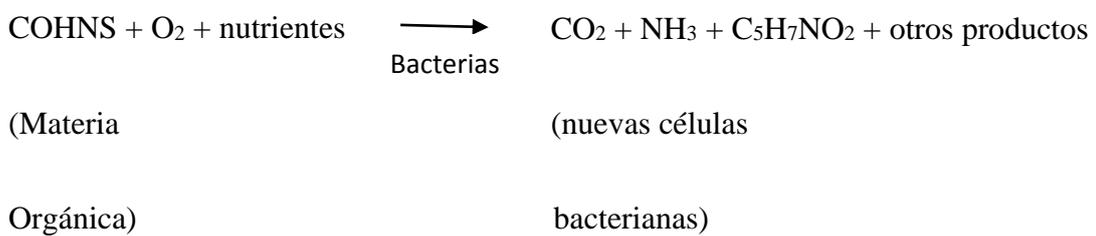


Aireador de superficie

Difusor de aire

Fuente: Tratamiento de aguas residuales con lodos activados - <http://www.inti.gob.ar>

En el proceso de lodos activados la materia orgánica se oxida a CO_2 , H_2O , NH_4^+ y biomasa celular nueva (Lazcano, 2014).



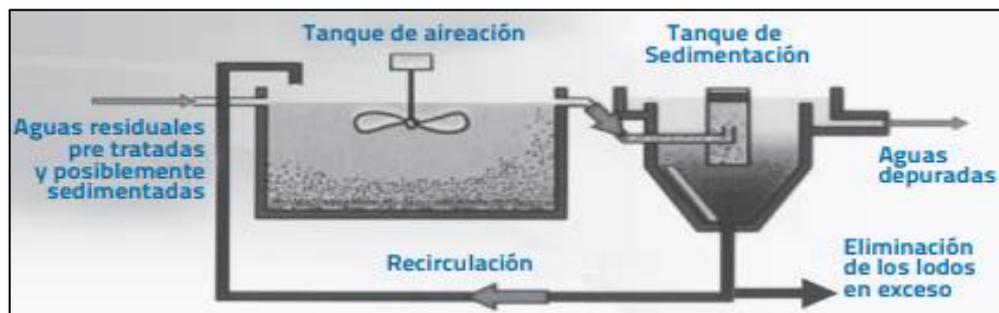
Respiración endógena



Estas ecuaciones representan la materia orgánica del agua residual (Metcalf & Eddy, INC, 1995).

En el ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o de aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga. La fracción purgada corresponde al crecimiento de tejido celular, asociado a un agua residual determinada. Véase la Figura N°06. (Metcalf & Eddy, INC, 1995).

Figura N°06: Etapas del tratamiento biológico de tipo lodos activados

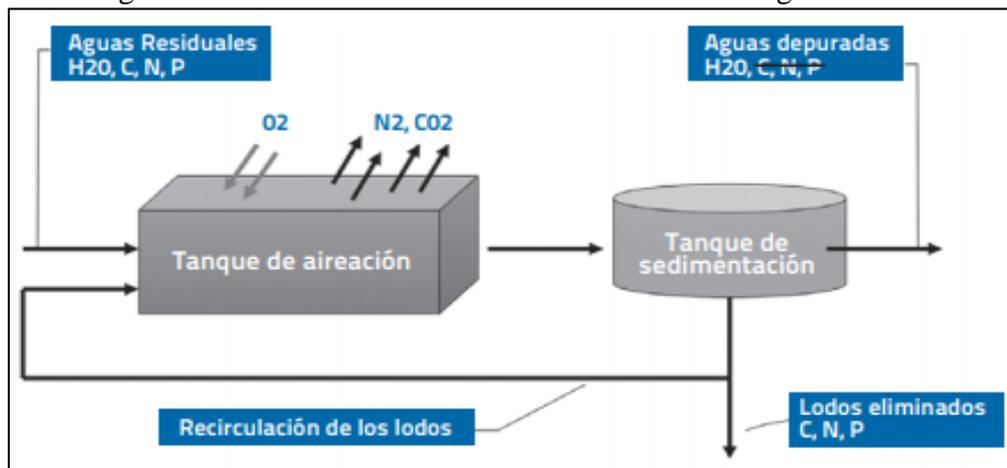


Fuente: Tratamiento de aguas residuales con lodos activados - <http://www.inti.gob.ar>

En la etapa de aireación se suministra el oxígeno a las bacterias que colonizan la biomasa. La aireación de las aguas residuales genera la formación de flóculos (conglomerado de partículas sólidas que se genera a través de los procesos de coagulación y floculación). (Charpentier J; 2014).

La etapa de decantación, funciona en forma continua que consiste en la separación de los lodos activados (biomasa), la cual se realiza por gravitación en un tanque de decantación, donde los lodos son concentrados en la parte inferior. Los contaminantes contenidos en el afluente (C, N, P) son descargados a la atmosfera en forma de gas o en forma de fertilizantes si existe una valoración agrícola. Véase la figura N°07. (Charpentier J; 2014).

Figura N°07: Contaminantes tras el tratamiento biológico



Fuente: Tratamiento de aguas residuales con lodos activados - <http://www.inti.gob.ar>

Aspectos biológicos en los lodos activados

Para un sistema de lodos activados es necesario entender la importancia de los microorganismos en el proceso en mención, pues las bacterias juegan un papel importante que es el de descomponer la materia orgánica. En el reactor, o tanque de aireación, las bacterias utilizan parte de la materia orgánica del agua residual con el fin de obtener energía para la síntesis de sustancias nuevas. (Metcalf & Eddy, INC, 1995).

Interviene una amplia variedad de bacterias en el proceso de lodos activados, de los géneros *Pseudomonas*, *Zoogloea*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Bdellovibrio*, *Mycobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Citromonas* y *Zoogloea*. (Metcalf & Eddy, INC, 1995; Lazcano, 2014).

A continuación, se muestra la Tabla N°05 en la cual se muestra la eficacia del tratamiento biológico tipo lodos activados con las aguas residuales domésticas.

Tabla N°05: Eficacia del tratamiento biológico de lodos activados

Parámetros	Afluente	Efluente	% de Eliminación
DQO (mg O₂/l)	800	120 a 30	85 a 95
DBO₅ (mg O₂/l)	360	30 a 5	90 a 98
SS (mg SS/l)	300	30 a 5	90 a 98

Fuente: Tratamiento de aguas residuales con lodos activados - <http://www.inti.gob.ar>

D. TRATAMIENTO Terciario o Avanzado

Tiene como finalidad mejorar los procesos anteriores para lograr obtener un efluente con menor carga contaminante. Muchas veces el agua residual de un tratamiento secundario pasa con patógenos, parásitos, sustancias tóxicas, mal olor, mal color; características que no permiten una adecuada reutilización; por ello es mejor tener un tratamiento terciario o avanzado. (Rojas, R; 2002}.

Un tratamiento terciario involucra unidades operacionales, procesos químicos y biológicos que remueven la DBO, nutrientes, patógenos, parásitos y algunas sustancias tóxicas; ello implica una diversidad de posibles combinaciones de operaciones y procesos unitarios, tal como se visualiza en la Tabla N°06. (Rojas, R; 2002}.

Tabla N°06: Procedimientos y equipos en cada tratamiento

Fases	Objetivo	Unidades representativas	Eficiencia de remoción
Pretratamiento	Remover los sólidos gruesos para evitar atascos y/o daños a las tuberías, bombas, equipos y otros elementos.	<ul style="list-style-type: none"> • Rejillas • Desarenador • Desengrasador • Homogenización, etc. 	No se considera que se logre remociones significativas en DBO y SST.
Tratamiento Primario	Remover la mayor parte de la materia orgánica suspendida.	-Decantadores primarios (por gravedad o asistidos químicamente). -Unidades de flotación por aire disuelto - Tamices	DBO: hasta 50% (hasta 80% asistido químicamente) SST: hasta 70% (hasta 85% con

			decantación asistida)
Tratamiento Secundario	Remover materia orgánica soluble y suspendida. Eliminar patógenos y otros elementos contaminantes	Reactores biológicos aerobios (lodos activados, filtros percoladores, biodiscos, humedales, lagunas) Reactores biológicos anaerobios (UASB, RAP, otros).	DBO: hasta un 92% SST: hasta un 90%.
Tratamiento Terciario	Pulimento en la reducción de la materia orgánica. Eliminación de contaminantes específicos (nitratos, patógenos, metales, pesticidas, entre otros)	-Coagulación– floculación - Adsorción -Intercambio iónico -Filtración -Lagunas -Desinfección	Eficiencias variables de remoción, dependiendo del tipo de contaminantes

Fuente: adaptada de la tesis de grado de Gonzales, M. (2015)

2.1.7. LODOS RESIDUALES

Son un subproducto generado durante los procesos de tratamiento de aguas residuales. Representa un residuo acuoso, con una amplia variedad de coloides y partículas de diferentes formas. A la vez puede contener varios contaminantes peligrosos tales como sales, compuestos orgánicos y metales pesados. La cantidad de lodo producido depende de la eficiencia y el tipo de tratamiento y de la carga de contaminante presente en el agua residual (Colomer et al., 2010).

2.1.7.1. CLASIFICACIÓN DE LODOS RESIDUALES

Los lodos residuales que se producen en los procesos de tratamiento de aguas residuales, son principalmente los siguientes: (Gonzales M. 2015).

- Lodo primario, proveniente de la sedimentación

- Lodo secundario, proveniente del tratamiento biológico, por ejemplo, de lagunas anaerobias, RAFA (reactor anaerobio de flujo ascendente), lagunas facultativas o aireadas, lodos activados y filtros percoladores.
- Lodos digeridos, provenientes de los dos procesos anteriores, separados o mezclados
- Lodos provenientes de la coagulación y sedimentación

Los residuos sólidos generados en las diferentes etapas del proceso de tratamiento, varían según el tipo de tecnología aplicada en las plantas de tratamiento de aguas residuales. (Gonzales M. 2015).

2.1.7.2. PARÁMETROS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES

Los lodos residuales, tienen generalmente contenido orgánico e inorgánico, tal como se puede observar en la Tabla N°07.

Tabla N°07: Caracterización de lodos generados en diferentes procesos de tratamiento de Aguas Residuales

CONCEPTO	UNIDADES	LODO PRIMARIO	LODO SECUNDARIO	LODO DIGERIDO
Sólidos Volátiles	% de ST	70-80	80-90	55-65
Proteínas	% de SS	4-14	20-30	10-20
Nitrógeno (N)	% de SS	2-5	1-6	3-7
Fósforo	% de SS	0.5-1.5	1.5-2.5	0.5-1.5
Bacterias patógenas	(NMP/100ml)	10 ³ -10 ⁵	100-1000	10-100
Contenido de Agua	%	92-96	97.5-98	94-97
pH	Adimensional	5.5 – 6.5	6.5-7.5	6.8-7.6
Metales pesados (Zn, Cu, Pb)	%SS	0.2-2	0.2-2	0.2-2

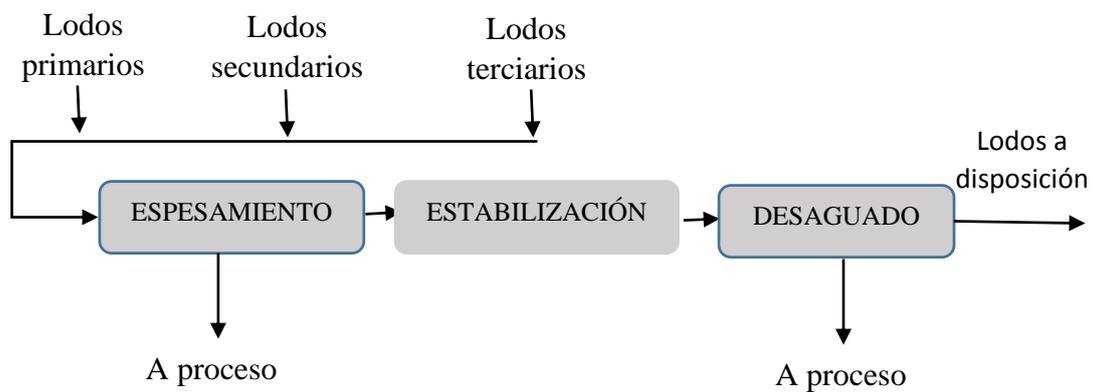
Fuente: García, 2009

Como se puede apreciar en la Tabla N°07 los lodos son caracterizados en base a componentes físicos, químicos y microbiológicos, que indican su calidad de acuerdo al tratamiento.

2.1.7.3. MÉTODO DE TRATAMIENTO PARA LODOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Teniendo en cuenta los tipos de lodos, podemos diferenciar 3 etapas de tratamiento, en las que se encuentran distintos procesos asociados. Véase el Diagrama N°04. (DOP – CEA Jalisco, 2013).

Diagrama N°04: Tratamiento de lodos residuales



Fuente: Cap. 3: Procesos de tratamiento de Aguas Residuales – DOP – CEA Jalisco

ESPESAMIENTO

Este proceso consiste en reducir el volumen del lodo para hacerlo más denso y manejable, acondicionándolo para un posterior tratamiento. (DOP – CEA Jalisco, 2013).

Un espesador por gravedad consiste en un pequeño sedimentador circular con mayor pendiente en la superficie del fondo. El lodo entra por la parte central de la estructura y se sedimenta, las rastras del fondo lo remueven suavemente para desalojar burbujas de aire y llevarlo lentamente hacia el drenaje colocado en el centro. El líquido sobrenadante es recogido en un canal perimetral y retomado al sistema de tratamiento. El objetivo del espesamiento es concentrar el contenido de sólidos en la corriente de lodos retirando parte del agua. Véase la figura N°08. (DOP – CEA Jalisco, 2013).

También se tiene el espesador de disco, cuyo corazón es un disco inclinado, que gira lentamente separando el lodo floculado, del líquido filtrado. Los espesadores de disco son apoyados, dividen y mueven la capa del lodo en el disco y abren los surcos de modo que el agua pueda drenar fácilmente a través de la tela filtrante, así realizando el efecto de la filtración. Véase las figuras N° 08 y 09. (DOP – CEA Jalisco, 2013).

Generalmente, algunas tecnologías requieren adición de polímero para aglomerar los sólidos.

Figura N°08: Espesamiento por gravedad



Fuente: Cap. 3: Procesos de tratamiento de
Aguas Residuales – DOP – CEA Jalisco

Figura N°09: Espesador de disco



Fuente: Cap. 3: Procesos de tratamiento de
Aguas Residuales – DOP – CEA Jalisco

ESTABILIZACIÓN

Este proceso tiene como finalidad, evitar la descomposición de la materia orgánica que está presente en los lodos residuales, también tiene como finalidad disminuir el contenido de organismos patógenos, evitando también la presencia de vectores como moscas, que trae consigo enfermedades. Las técnicas de estabilización más frecuentes son la digestión aerobia, digestión anaerobia, estabilización con cal y el **compostaje**. (DOP – CEA Jalisco, 2013).

La estabilización o reducción del contenido de las sustancias contaminantes de lodos, se realiza en una manera aerobia o anaerobia, donde se reduce el contenido de sólidos suspendidos volátiles hasta en un 50%. Los lodos una vez estabilizados o digeridos, son posteriormente deshidratados para su disposición final. (DOP – CEA Jalisco, 2013).

DESHIDRATADO

Consiste en extraer el agua, para formar una masa manejable de sólidos. Se puede lograr mediante lechos de secado, o utilización de filtros de prensa, filtros de banda o decantadores centrífugos. (DOP – CEA Jalisco, 2013).

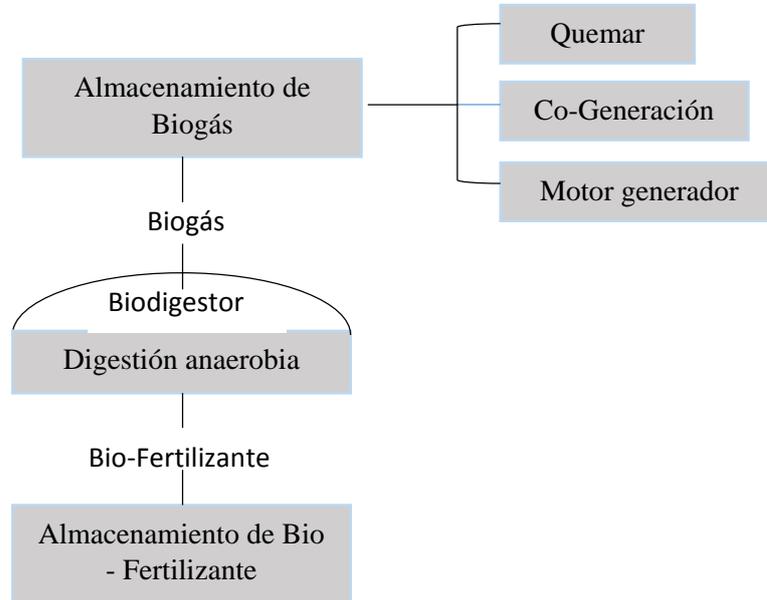
2.1.8. BIODIGESTORES

Es un contenedor (llamado también reactor) cerrado, hermético, en el cual se deposita la materia orgánica, en forma de desechos vegetales o excrementos de animales y humanos, etc. Los materiales orgánicos se fermentan con cierta cantidad de agua, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante.² Véase el Diagrama N°05.

² Biodigestores: aprovechar residuos para generar energía. 2011. Energía a debate

Sus componentes básicos son el área de premezclado, digestor, sistema de captación de biogás y de distribución del efluente. Hossain & Islam (De la merced, 2012).

Diagrama N°05: Esquema de un biodigestor



Fuente: Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador, 2015

Obteniéndose producto de la digestión, gas y fertilizante orgánico, este último contiene nitrógeno, fósforo, potasio y 85% de materia orgánica con un pH de 7,5.³ Y el gas contiene ⁴dióxido molecular (35-40%), nitrógeno molecular (0.5 a 5%) y ácido sulfhídrico (0.1 a 1%), siendo el metano el más abundante (55 a70%).

Sistemas de biodigestión

De acuerdo a la Guía de Implementación de Sistemas de Biodigestión en ecoempresas de Samayoa et. Al 2012, la clasificación de los sistemas de biodigestión anaeróbica, depende del tipo de materia, el tiempo en que se degrada la materia y el proceso de carga de la materia (agua residual, excretas, otros). Cada sistema tiene distintas características de

³ Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador. 2015. Quito, Ecuador.

⁴ Guía Implementación de Sistemas de Biodigestión en ecoempresas Samayoa et. Al. 2012

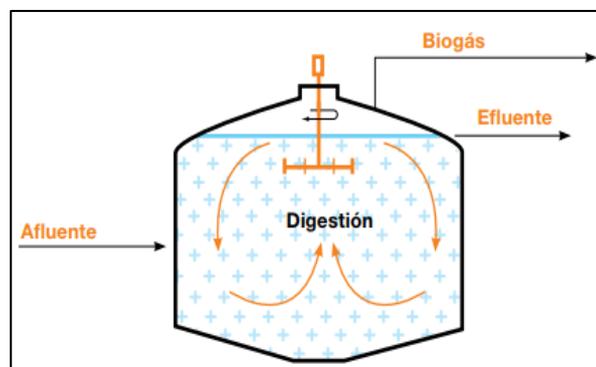
funcionamiento y también de diseño. A continuación, se describen los sistemas de biodigestión:

- **Sistemas Continuos**

Es caracterizado por el afluente o flujo de materia que ingresa, la cual es constante. La disposición de biomasa para alimentar estos sistemas es prácticamente diaria y los tiempos de retención son menores que en los sistemas discontinuos. Los tiempos de retención de la materia orgánica y del agua residual dentro del biodigestor dependen del diseño de este (Samayoa et. al. 2012). Véase Figura N°10.

En esta clasificación se tienen diferentes sistemas de biodigestión, como por ejemplo los biodigestores de mezcla completa, filtro anaerobio, biodigestores tubulares, biodigestores de cúpula fija y móvil, entre otros (Samayoa et. al. 2012).

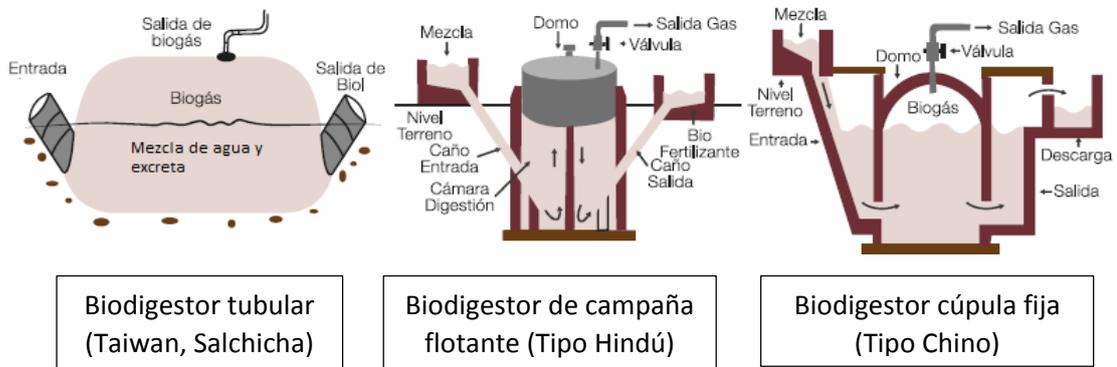
Figura N°10: Esquema general de un biodigestor de flujo continuo



Fuente: Samayoa et. al. 2012

A continuación, en la Figura N°11 se presentan los 3 tipos de biodigestores continuos de bajo costo más conocidos en Latinoamérica

Figura N°11: Tipos de biodigestores



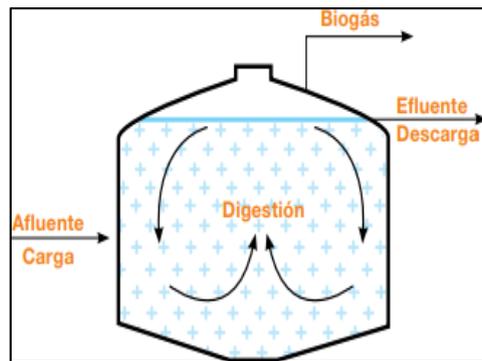
Fuente: Introducción de Biodigestores en Sistemas Agropecuarios en el Ecuador, 2015 http://beegroup-cimne.com/kt-content/uploads/2017/02/2015_Manual_Biodigestores_Ecuador.pdf

- **Sistemas Discontinuos**

Tiene como característica que el afluente o materia orgánica se mantiene por tiempos prolongados dentro de la cámara de biodigestión. Se cargan una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible. Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás (Samayoa et. al. 2012). Véase la Figura N°12.

En este tipo de sistema se pueden instalar varios biodigestores en serie que se llenan en diferentes tiempos, esto permite que la producción de biogás sea constante, ya que cada biodigestor estará operando en distinta etapa (Samayoa et. al. 2012).

Figura N°12: Esquema general de un biodigestor de flujo discontinuo

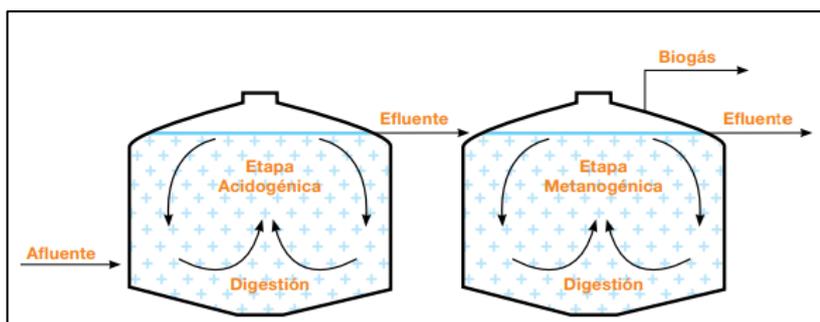


Fuente: Samayoa et. al. 2012

- **Sistemas de dos etapas**

Este sistema consta de dos biodigestores en serie, en cada uno de ellos se realizan diferentes etapas de degradación. En el primer biodigestor se aplican elevados tiempos de retención y resultado de esto se desarrolla la hidrólisis y la etapa acidogénica de la materia orgánica. Una vez terminado este proceso, el efluente es trasladado a un segundo biodigestor con tiempos de retención bajos, este último se encarga de terminar el proceso de descomposición (etapa metano génica) y producir el biogás (Samayoa et. al. 2012). Véase a continuación la Figura N°13.

Figura N°13: Esquema general de un biodigestor de dos etapas



Fuente: Samayoa et. al. 2012

Principales Factores que influyen en el funcionamiento de un biodigestor

- **pH:** Determina la inhibición o la toxicidad de las bacterias metanogénicas. Un adecuado funcionamiento se presentará con un pH en el biodigestor entre 6.5 y 7.5 (Vargas P., 2006).
- **Temperatura:** de acuerdo a lo mencionado por Hibert, J. 2003 la temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación; existiendo una relación inversa entre la temperatura y el tiempo de retención, esto quiere decir que a medida que aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa.
- **Relación C/N:** esta relación se da, ya que la mayor parte de los materiales de fermentación están compuestos por carbono y nitrógeno.

El carbono y nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas, constituyendo el carbono la fuente de energía y el nitrógeno para la formación de nuevas células (FAO, 2011).

Para Guevara V., 1996, las excretas de humanos y de animales son ricos en nitrógeno, con una relación de C/N inferior a 25:1, durante la fermentación tienen una mejor velocidad de biodegradación y de generación de gas; en cambio los residuos agrícolas son ricos en carbono, con una relación de C/N superior a 30:1, pero con una generación más lenta de gas en el proceso de digestión.

En términos generales, se considera que una relación C/N óptima que debe tener el material “fresco o crudo” que se utilice para iniciar la digestión anaeróbica, es de 30 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir, $C/N = 30/1$. (FAO, 2011).

Ventajas de un biodigestor

A continuación, en la Tabla N°08 se presentan las ventajas de un biodigestor

Tabla N°08: Ventajas de un biodigestor

VENTAJAS	
1 M3 de biogás	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede mantener en funcionamiento un termotanque de 110 litros durante 3 horas. • Se puede cocinar 3 comidas para una familia de 4 personas. • Puede funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas. • Puede generar 6.25 Kw de electricidad
Económica	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro de energía, comercialización del producto generado (fertilizante), ahorro monetario para la empresa; en otras palabras, una disminución de los costos de producción.
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Logra reducir los parámetros físico-químicos y biológicos de las aguas servidas, domésticas o agropecuarias, después de un periodo de tiempo en los digestores; permitiendo obtener un efluente de buenas características de modo que asegure una baja o nula contaminación, medida en valores de DBO, DQO. (Guevara V., 1996) • El uso de un biofertilizante en cultivos, promueve la agricultura orgánica y el no uso de agroquímicos. • El uso de biogás, reduce las emisiones GEI responsables del calentamiento global.
Social	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la transmisión de enfermedades (reducción de patógenos), evitando la presencia de enfermedades gastrointestinales.

Fuente: Samayoa et. al. 2012

2.1.8.1 OTRAS PROPUESTAS DE APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES

De acuerdo a la investigación de Campos M. Educaro, et. al; quienes toman en cuenta la definición, para lodos residuales, descrita en la Norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, la cual define a los lodos residuales como sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras o de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización. Así mismo mencionan varias opciones de reúso de los lodos residuales; las cuales son:

- Relleno sanitario: Considerado en las décadas de los 80 como el principal destino; sin embargo, el volumen fue aumentado, lo que generó la necesidad de dispersar los lodos en el ambiente, donde el suelo actuaba como compartimiento final de la disposición. Para evitar esta situación se utilizó la incineración o fueron usados en la agricultura, resultando una buena alternativa, por ejemplo, para Chile, en donde el tratamiento de aguas servidas aún no llegaba a su capacidad máxima, ni de producción de lodos. (Cuevas et. al. 2006).
- Incineración: En este proceso la temperatura de los lodos es elevada por encima de los 800°C en un ambiente rico en oxígeno para conseguir la degradación de los compuestos orgánicos y obtener como producto final dióxido de carbono, agua y ceniza estable, lográndose una reducción del 90% del volumen total de los lodos alimentados (Cuevas et. al. 2006).
- Depósitos marinos: Esta última incluye el vertimiento de lodos en el mar, lo que a su vez trae consigo impactos negativos al mismo, entre los que destacan la disminución del O₂ disuelto en la columna de agua por mineralización de la materia orgánica, proceso que genera eutrofización debido a una sobre

fertilización del sistema acuático por el contenido de nutrientes, afectaciones a los corales y otras especies por la concentración de la fracción inerte, producción de olores desagradables y problemas estéticos, afectaciones por el contenido de metales pesados (Cuevas et. al. 2006).

- Agricultura: El reúso agrícola, dentro de criterios seguros, es una de las posibilidades de menor impacto ambiental y costos de operación. (Cuevas et. al. 2006).
- Valorización energética, en todas sus variantes.

2.1.8.2. PASOS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR

A continuación, se describen los pasos a considerar para el diseño de un biodigestor:

Martínez G. & Cruz M.; 2015).

Primero: realizar una caracterización preliminar; considerando lo siguiente:

- Clase de residuo basado en su análisis físico, químico, biológico
- Cantidad de residuo generado
- Frecuencia de generación y recolección de residuo

Segundo: Considerar los siguientes parámetros, para el diseño de un biodigestor anaerobio: (Martínez G. & Cruz M.; 2015).

A. Cálculo del volumen del digestor (V_d): Calculado a partir de la siguiente

fórmula:
$$V_d = (K_g \text{ residuos} + K_g \text{ agua}) * T_r \dots \dots (1)$$

Dónde: T_r es el tiempo de retención (tiempo que requieren las bacterias para degradar la materia orgánica).

B. Cálculo del volumen de la cámara de fermentación (V_{cf})

El volumen de la cámara de fermentación V_{cf} constituye entre un 75% - 80% del volumen del digestor:

$$V_{cf} = V_d * (0.75 \sim 0.80) \text{ m}^3 \dots\dots (2)$$

$$V_{cf} = \frac{\pi d_{cf}^2 h}{4} \dots\dots\dots (3)$$

Nota: Se asume que la relación d/h es un valor conocido: $x = \frac{d_{cf}}{h_{cf}} \dots\dots(4)$

Despejando d_{cf} en la expresión (4) se tendrá $d_{cf} = x * h_{cf}$

Sustituyendo en la ecuación (3) y despejando h el resultado es la ecuación de la altura cámara de fermentación

C. Altura de la cámara de fermentación (h_{cf}):

$$h_{cf} = \sqrt[4]{\frac{4 V_{cf}}{\pi x^2}} \dots\dots\dots (5)$$

D. Diámetro de la cámara de fermentación (d_{cf})

$$d_{cf} = \sqrt[4]{\frac{4 V_{cf}}{\pi h_{cf}}} \dots\dots\dots (6)$$

E. Radio de la cámara de fermentación (r_{cf}):

$$r_{cf} = \frac{d_{cf}}{2} \dots\dots\dots (7)$$

F. Radio de la cúpula (r_c):

$$r_c = \sqrt{h_{cf}^2 + r_{cf}^2} \dots\dots\dots (8)$$

G. Volumen de la cúpula (V_c):

$$V_c = V_d * (0.2 \sim 0.25) * m^3 \dots (9)$$

$$V_c = \pi h_c * \left(\frac{d_{cf}^2}{8} + \frac{h_c^2}{6} \right) \dots\dots (10)$$

H. Volumen total del digestor:

$$V_d = V_{cf} + V_c \dots \dots \dots (11)$$

Teniendo en cuenta estas expresiones, se le dan valores a X y así se determinan los parámetros constructivos del digestor. Para determinar cuáles son los valores óptimos de los parámetros para la construcción del digestor se busca la interrelación entre el digestor, la cámara de fermentación y la cúpula según las condiciones establecidas, para que haya una eficiente remoción de la materia orgánica.

2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Agentes patógenos:** Son aquellos que se encuentran en las aguas residuales, pueden resultar de los desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de alguna enfermedad. Los organismos patógenos presentes en aguas residuales son las bacterias, virus, protozoos y helmintos (EPA/600/R-08/035F, 2011).
- **Agua residual:** Se define a las aguas residuales como aquellas que provienen de las actividades del hombre y de los animales, tanto como de las precipitaciones, y que son recolectadas en los sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al ambiente (Lazcano, 2014).
- **Agua residual doméstica:** Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana. (Norma OS.090 – Plantas de tratamiento de aguas residuales).
- **Agua residual municipal:** Son aquellas, donde se puede incluir para esta definición la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o aguas residuales de origen industrial. (Norma OS.090 – Plantas de tratamiento de aguas residuales).

- **Aprovechamiento:** Volver a obtener un beneficio del bien, artículo, elemento o parte del mismo que constituye residuo sólido. Se reconoce como técnica de aprovechamiento el reciclaje, recuperación o reutilización (Reglamento de la Ley Gestión Integral de Residuos Sólidos – D.S. N°014-2017-MINAM).
- **Biosólido:** son un producto sólido principalmente orgánico producido por procesos de tratamiento de aguas residuales que se pueden reciclar beneficiosamente (EPA, 1994), de acuerdo a la normativa de cada país. Son considerados los lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, pueden ser aprovechados⁵.

Lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que, por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento. (NOM-004-SEMARNAT-2002).

Producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso. (Decreto N°1287, Colombia).

Los biosólidos son los sólidos orgánicos estabilizados producidos por el tratamiento de aguas residuales procesos, que en la mayoría de los casos pueden ser reciclados beneficiosamente. El término biosólidos no incluye lodos de aguas residuales sin tratar, lodos industriales o el producto producido a partir de la incineración a alta temperatura de los lodos cloacales. (Guidelines for Sewerage System Biosolid Management, Australia).

⁵ NOM-004-SEMARNAT-2002, Norma Mexicana

- **Disposición final:** Procesos u operaciones para tratar o disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura. (Ley Gestión Integral de Residuos Sólidos – D.L. N°1278).
- **Empresa prestadora de servicios de residuos sólidos – EPS-RS:** Es aquella persona jurídica que brinda servicios tales como limpieza de vías y espacios públicos, recolección y transporte, transferencia, tratamiento o disposición final de los residuos sólidos. La EPS-RS, debe estar registrada ante DIGESA. (Ley N°27314, Ley de Residuos Sólidos).
- **Generador:** Persona natural o jurídica que en razón de sus actividades genera residuos, sea como fabricante, importador, distribuidor, comerciante o usuario. También se considera generador al poseedor de residuos peligrosos, cuando no se pueda identificar al generador real y a los gobiernos municipales a partir de las actividades de recolección. (D.L. N°1278)⁶
- **Lodos Residuales:** Son residuos sólidos s proveniente del tratamiento de las aguas residuales, que cuentan con alta concentración de materia orgánica, características que se aplica principalmente a los lodos obtenidos en el tratamiento primario y secundario, así como a las excretas de las instalaciones sanitarias in situ. (D.S. N° 015-2017-VIVIENDA)⁷
- **Operadores de residuos sólidos:** Son las personas jurídicas que realizan operaciones y procesos con residuos sólidos. Son considerados operadores las municipalidades y las empresas autorizadas para tal fin. (D.S N°014-2017-

⁶ D.L N°1278, Decreto que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

⁷ D.S N° 015-2017-VIVIENDA, Decreto Supremo que aprueba el reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

MINAM). Cabe indicar que el término Operadores de residuos sólidos, es nuevo; ya que deroga el término EPS-RS. (D.S N°014-2017-MINAM)

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales- PTAR:** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales (Norma OS.090 – Plantas de tratamiento de aguas residuales), en la cual el agua residual es recolectada por un sistema de alcantarillado y es seguidamente sometida a procesos de tratamientos físicos, químicos y biológicos para remover y/o eliminar los contaminantes presentes, obteniéndose productos como el agua tratada, lodos.
- **Relleno sanitario:** Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos en los residuos municipales a superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental. (D.L. N°1278).
- **Residuos sólidos:** Son sustancias, productos o subproductos en estado sólidos o semisólido dispuestos por el generador, en cumplimiento de la normatividad nacional, considerando los riesgos que causan a la salud y al ambiente. (Ley N°27314, Ley de Residuos Sólidos).
- **Residuo peligroso:** Son residuos sólidos peligrosos aquéllos que, por sus características o el manejo al que son o van a ser sometidos, representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente. Se consideran residuos peligrosos los que presenten por lo menos una de las siguientes características: autocombustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radioactividad o patogenicidad. También son residuos peligrosos aquellos que sin serlo en su forma original se transforman por procesos naturales en residuos peligrosos. Así mismo, se consideran residuos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos (D.L. N°1278).

- **Tratamiento:** Cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente, con el objetivo de prepararlo para su posterior valorización o disposición final. (D.L. N°1278).
- **Valorización:** Cualquier operación cuyo objetivo sea que el residuo, uno o varios de los materiales que lo componen, sea reaprovechado y sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales o recursos en los procesos productivos. La valorización puede ser material o energética. (D.L. N°1278).

2.3. MARCO LEGAL

Con la finalidad de comparar las normas regulatorias de los lodos residuales tanto a escala nacional e internacional. Se tendrá en cuenta para la normativa legal nacional el Decreto Supremo N°057-2004, aprueban el Reglamento de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos; ya que dentro del contexto en que se empezó a desarrollar la presente tesis 2016, sólo se contaba con dicha normativa, en otras palabras, no existía normativa legal respecto al reúso de los lodos residuales.

Por tal motivo se utilizó normatividad internacional, que consideran el reúso de lodos residuales, tales como la Resolución de Brasil (2006), el Reglamento de Chile (2009) y Directiva del Consejo de 1986, 86/278/CEE; ya que dichas normativas regulan el manejo de lodos residuales (generados en plantas de tratamiento de aguas residuales), tal como lo indican los títulos de las normativas y las definiciones de lodos residuales en los artículos 2, 4 y 2 respectivamente.

2.3.1. NACIONAL

“Decreto Supremo N°057-2004, Aprueban el Reglamento de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos”

La mencionada ley, servirá de base fundamental para el desarrollo de la presente tesis ya que en ella se menciona textualmente en el artículo 27: Calificación de residuo peligroso *“Se consideran también, como residuos peligrosos; los lodos de los sistemas de tratamiento de agua para consumo humano o de aguas residuales; u otros que tengan las condiciones establecidas en el artículo anterior, salvo que el generador demuestre lo contrario con los respectivos estudios técnicos que lo sustenten”*.

2.3.2. INTERNACIONAL

“Decreto 4, Reglamento para el Manejo de Lodos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas”, Chile 2009.

Este reglamento, en el artículo 1, menciona textualmente su objetivo *“regular el manejo de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas.*

Para dicho efecto, establece la clasificación sanitaria de los lodos y las exigencias sanitarias mínimas para su manejo, además de las restricciones, requisitos y condiciones técnicas para la aplicación de lodos en determinados suelos”.

Así mismo menciona una serie de requisitos de tratamiento para la reducción de atracción de vectores, la presencia de patógenos para definir la clasificación sanitaria de los lodos. Considerando en el artículo 24.- *“Sólo se podrán aplicar al suelo lodos de las clases A y B provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas que cuentan con un proyecto aprobado por la Autoridad Sanitaria.*

Estos lodos deberán cumplir con la concentración máxima de metales señalados en la Tabla N°09, que a continuación se muestra.

Tabla N°09: Concentraciones máximas de metales en lodos para aplicación al suelo

METAL	Concentración máxima en mg/kg de sólidos totales (base materia seca) ⁸	
	Suelos que cumplen los requisitos establecidos – Clase A	Suelos degradados que cumplen los requisitos Clase B
Arsénico (As)	20	40
Cadmio (Cd)*	8	40
Cobre (Cu)	1000	1200
Mercurio (Hg)*	10	20
Níquel (Ni)	80	420
Plomo (Pb)*	300	400
Selenio (Se)*	50	100
Zinc (Zn)	2000	2800

Fuente: adaptado de la normativa chilena, 2009.

*Cuando las concentraciones totales de cadmio, mercurio, plomo y selenio superen los valores de 20, 4, 100 y 20 mg/kg respectivamente, se deberá demostrar que estos lodos no son peligrosos de acuerdo al DS 148/2003 del Ministerio de Salud.

De acuerdo a la concentración de agentes patógenos, los lodos residuales pueden ser clasificados como clase A o B. Véase la Tabla N°10.

Tabla N°10: Clases de lodo de alcantarillado – agentes patogénicos (Normativa Chilena)

Tipo de lodo de alcantarillado o producto derivado	Concentración de patógenos
A	Coliformes termotolerantes < 10 ³ NMP/g de ST
	Salmonella <3 NMP/4g de ST
	Huevos de helmintos < 1 N/4g ST
B	Coliformes Termotolerantes < 2*10 ⁶ NMP/g de ST
	Salmonella: - NMP/4 g de ST
	Huevos de helmintos: - N/4g de ST

Fuente: adaptado de la normativa chilena, 2009.

Donde:

- Clase A: Es un lodo sin restricciones sanitarias para aplicación al suelo.

⁸ Concentraciones expresadas como contenidos totales

- Clase B: Lodo apto para aplicación al suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos.

Por otra parte, dicho reglamento indica que, en suelos destinados a cultivos hortícolas o frutícolas menores, que están en contacto directo con el suelo, cuyo consumo no amerita cocción; los lodos de clase B deberán ser aplicados con 12 meses de anticipación a la siembra. Así mismo, prohíbe la aplicación de lodos en el ciclo vegetativo de estos cultivos. Para praderas y cultivos forrajeros, se procederá al pastoreo o a la cosecha después de 30 días de la última aplicación de lodos clase B. En suelos de uso forestal, se aplicarán los lodos de clase B solo si hay un control de acceso (restricción de uso) al área durante los 30 días posteriores a la aplicación.

A fin de corroborar lo mencionado, se adjunta algunos capítulos de dicho documento.

Santiago, 30 ENE. 2009

DECRETO SUPREMO N° 004

MINISTERIO DE HACIENDA
OFICINA DE PARTES

RECIBIDO

CONTRALORIA GENERAL
TOMA DE RAZON
04 MAYO 2009

RECEPCION

DEPART. JURISDICCION	ACEL
DEPART. REGISTRO	POSLOS
DEPART. CONTRIB.	
SUB DEPT. C. CENTRAL	
SUB DEPT. E. CUENTAS	
SUB DEPT. C.F. Y BIENES NAC.	
DEPART. AUDITORIA	
DEPART. VOLUNT.	
SUB DEPT. MUNICI.	

REFRENDACION

REP. POR \$ _____
IMPUTAC. _____
ANOT. POR \$ _____
IMPUTAC. _____
DEDUC. DTD. _____

VISTOS: Los artículos 19 N° 8 y 32 N° 6 de la Constitución Política de la República; las disposiciones de la ley N° 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente, especialmente su artículo 74 ter letra g); los artículos 2°, 67, 68 y 78 a 81 del Código Sanitario; los artículos 9 y 11 del decreto ley N° 3.557 de 1980, que establece disposiciones sobre Protección Agrícola; el artículo 3 letras j), k) y l) de la ley N° 18.755, del Servicio Agrícola y Ganadero, la opinión de fecha de 17 de agosto de 2000, del Consejo Consultivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente; el Acuerdo N° 268 de 17 de marzo de 2005, del Consejo Directivo de CONAMA, que aprueba el proyecto definitivo de reglamento; los demás antecedentes que obran en el expediente; la Resolución N° 1.600, de 2008, de la Contraloría General de la República, que Fija Normas sobre exención del trámite de toma de razón, y la demás normativa aplicable a la materia.

CONSIDERANDO:

- 1) Que la operación de plantas de tratamiento de aguas servidas genera gran cantidad de lodos, que requieren de un manejo adecuado para prevenir eventuales impactos negativos para la salud humana y para el medio ambiente.
- 2) Que el lodo, por su alto contenido en materia orgánica, puede contribuir a mejorar las condiciones físicas de los suelos, es decir, constituir un aporte en aquellos que requieren incrementar su porosidad, la estabilidad de agregados, la retención de humedad, la aireación, como es el caso de los suelos delgados y/o degradados.
- 3) Que el lodo, por su contenido en metales pesados y otros contaminantes puede contribuir a la contaminación del suelo y de productos agrícolas.

RETIRO
SIN TRAMITE
E F I C I A
16/09 1722

SECRETARIA GENERAL DE LA PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA
TOMADO RAZON
2 OCT. 2009
Contraloría General
de la República

TITULO I
DISPOSICIONES GENERALES Y DEFINICIONES

Artículo 1°.- El presente reglamento tiene por objeto regular el manejo de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas.

Para dicho efecto, establece la clasificación sanitaria de los lodos y las exigencias sanitarias mínimas para su manejo, además de las restricciones, requisitos y condiciones técnicas para la aplicación de lodos en determinados suelos.

Artículo 2°.- El uso, disposición final, tratamiento, aplicación al suelo o vertimiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas debe efectuarse en forma y condiciones que cumplan con lo establecido en el presente reglamento.

Los lodos peligrosos deberán someterse a lo establecido en el Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos (DS. N° 148, de 2003, del Ministerio de Salud).

Artículo 3°.- La disposición final de lodos en excavaciones de minas a tajo abierto, de áridos o de canteras, y en depósitos de relave o de estériles, no se considerará como aplicación al suelo.

Artículo 4°.- Para los efectos de este reglamento se entenderá por:

a) Almacenamiento: El acopio de lodos en un sitio por un lapso determinado. No se considerará almacenamiento el tratamiento de los lodos en canchas de secado.

b) Aplicación de lodos al suelo: Procedimiento de eliminación mediante la incorporación de lodos al suelo, o mezcla del lodo con suelo, mediante el uso de equipos adecuados, de conformidad con el presente reglamento.

c) Disposición final: Procedimiento de eliminación mediante el depósito definitivo de lodos, con tratamiento previo, en rellenos sanitarios o en mono-rellenos, conforme con el presente reglamento. La aplicación de lodos al suelo no se considerará disposición final.

d) Eliminación: Última etapa del manejo de los lodos mediante su aplicación al suelo, tratamiento o disposición final.

e) Generador de lodos: Propietario u operador de planta de tratamiento de aguas servidas que genere lodos.

f) Horizonte superficial de suelo: Capa superficial de 0 a 20 cm de profundidad, que puede coincidir con la capa arable del suelo.

g) Lodo: Residuos semisólidos que hayan sido generados en plantas de tratamiento de aguas servidas.

h) Lodo Clase A: Lodo sin restricciones sanitarias para aplicación al suelo.

i) Lodo Clase B: Lodo apto para aplicación al suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos.

j) Lodo crudo: Lodo proveniente de la etapa de decantación primaria.

k) Lodo estabilizado: Lodo con reducción del potencial de atracción de vectores sanitarios de acuerdo con lo establecido en el presente reglamento.

l) Macrozona Norte: Regiones XV de Arica Parinacota, I de Tarapacá, II de Antofagasta, III de Atacama, IV de Coquimbo, V de Valparaíso, VI del Libertador General Bernardo O'Higgins y Región Metropolitana de Santiago.

m) Macrozona Sur: Regiones VII del Maule, VIII del Bío Bío, IX de la Araucanía, XIV de los Ríos, X de Los Lagos, XI de Aysén y XII de Magallanes y la Antártica Chilena.

n) Manejo Sanitario de lodos: Conjunto de operaciones a las que se somete a los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas luego de su generación, con el objeto de evitar riesgos para la salud de la población y el medio ambiente, incluyendo entre otras su almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final.

ñ) Mono-relleno para lodos: Instalación para la disposición final de lodos, de acuerdo a lo establecido en el presente reglamento.

o) Relleno Sanitario: Instalación para la disposición final de residuos sólidos domiciliarios y asimilables, diseñada, construida y operada para minimizar molestias y riesgos para la salud de la población y daño para el medio ambiente, en el cual los residuos son compactados en capas al mínimo volumen practicable.

p) Suelo: Cuerpo natural tridimensional que forma parte de la corteza terrestre y cuyo segmento superior está en contacto con la atmósfera. Constituye el hábitat natural de las raíces de los vegetales y de complejas comunidades bióticas. La productividad del suelo se mide por su capacidad periódica de sintetizar biomasa vegetal.

q) Suelo degradado: Aquel suelo que por exceso de acidez, niveles de erosión, deterioro de la cubierta vegetal o que por presentar otras limitaciones físicas, químicas o estructurales, no pueden ser utilizados de modo sustentable en la producción agropecuaria.

r) Tratamiento: Todo proceso destinado a cambiar las características físicas, químicas y/o biológicas de los lodos, tales como la estabilización, higienización e incineración.

s) Vectores: Organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos, tales como roedores, moscas y mosquitos.

c.- Identificación y definición de un Programa de Control de Parámetros Críticos de la Operación del Sistema de Manejo de Lodos, que deberá prevenir la emanación de malos olores y en general la ocurrencia de eventos que pongan en riesgo la salud de las personas o al medio ambiente. Este programa incluirá el control de la eliminación de los lodos, incluso en los casos en que esta etapa sea ejecutada a través de terceros.

d.- Plan de Contingencia que deberá considerar todas las medidas necesarias para dar cuenta del resultado del Programa de Control de Parámetros Críticos de la Operación del Sistema de Manejo de Lodos y de cualquier falla o desperfecto de las unidades, equipos o componentes de dicho Sistema que pueda tener como resultado riesgos para la salud, el medio ambiente o el bienestar de la población.

Cualquier modificación de proyecto requiere de la aprobación de la Autoridad Sanitaria.

Artículo 11°.- El almacenamiento de lodos crudos en una planta de tratamiento de aguas servidas por períodos superiores a los necesarios para la alimentación del proceso de estabilización, de acuerdo a lo definido en el proyecto, sólo se podrá realizar en casos de problemas operativos en el tratamiento de lodos. El proyecto deberá contemplar para este tipo de emergencias las medidas necesarias para que el almacenamiento se realice en condiciones que garanticen un adecuado control de la emanación de gases y olores, la infiltración de líquidos y la proliferación de vectores. En el caso de ocurrir una de estas emergencias, el operador deberá dar aviso a la Autoridad Sanitaria competente en un plazo no superior a 24 horas, la que conforme a sus facultades establecerá el plazo en que este almacenamiento excepcional podrá ser llevado a cabo.

Artículo 12°.- Sólo se permitirá el almacenamiento en la planta de tratamiento de aguas servidas de lodos estabilizados en cantidades inferiores a 40 toneladas y por un plazo máximo de siete días. Los lodos deberán ser eliminados de acuerdo a lo aprobado por la Autoridad Sanitaria en el proyecto.

El diseño y operación del sitio de almacenamiento de lodos estabilizados deberá garantizar que no existirán riesgos para la salud, el bienestar de la población y el medio ambiente, debiendo considerar un sistema de impermeabilización y de control de gases y olores.

El sistema de impermeabilización a que se hace referencia en el párrafo precedente debe impedir el escape o migración de líquidos, lateral y de fondo, y deberá consistir en una lamina sintética de polietileno de baja densidad de al menos 0,76 mm de espesor instalada sobre una capa de arcilla de espesor no inferior a 30 cm y una conductividad hidráulica no superior a 10^{-7} cm/s u otro sistema aprobado por la Autoridad Sanitaria que asegure igual o superior impermeabilidad.

Artículo 13°.- Los lodos clase B podrán ser almacenados en cantidades hasta 35 toneladas y por un plazo máximo de 7 días sin restricciones adicionales.

El almacenamiento de lodos clase B en cantidades y plazos superiores a los señalados en el párrafo anterior se debe realizar cumpliendo las exigencias para un mono-relleno, señaladas en el artículo 17, o a través de un sistema de confinamiento que asegure que se controlan la generación de olores, la atracción de vectores y la migración de líquidos al suelo.

El plazo máximo de permanencia de lodos clase B en el predio previo a su incorporación al suelo es de 15 días.

Artículo 14°.- Las unidades de almacenamiento, tratamiento y disposición final de lodos deberán diseñarse de manera que controlen la infiltración de líquidos hacia aguas subterráneas y su escurrimiento hacia cursos o masas de aguas superficiales. Así mismo, dichas unidades deberán ser diseñadas de forma tal que se controle el ingreso de escombrías superficiales a dichas unidades.

Artículo 15°.- El transporte de lodos deberá realizarse en vehículos completamente estancos y cerrados que impidan escurrimientos, derrames y la emanación de olores durante su traslado.

El transporte de lodos que cumplan con los requisitos para lodos clase A o B, de acuerdo a lo señalado en los artículos 7 y 8 del presente Reglamento, y que presenten una humedad igual o inferior a 85%, podrá realizarse en recipientes cubiertos en condiciones que impidan el escurrimiento, el derrame o la emisión del material particulado durante el mismo.

Artículo 16°.- En rellenos sanitarios sólo se podrá disponer lodos de las clases A y B, para lo cual se requerirá de una autorización sanitaria que permita disponer dichos lodos conjuntamente con los residuos domiciliarios.

La aprobación del respectivo proyecto estará sujeta a que el diseño y la operación del relleno sanitario garanticen que la disposición de lodos no afectará su estabilidad, todo ello sin perjuicio del cumplimiento de la reglamentación sanitaria vigente sobre rellenos sanitarios.

La cantidad de lodos a disponer diariamente en un relleno sanitario no deberá ser superior a un 6% del total de los residuos dispuestos diariamente, pudiendo autorizarse, en condiciones técnicas justificadas, hasta un 8%.

La humedad media diaria del lodo a disponer no deberá superar el 70%, con un máximo de 75% por muestra. En caso de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas con una capacidad de hasta 30.000 habitantes, la humedad media diaria del lodo no debe superar el 75%, con un máximo de 80% por muestra.

Artículo 17°.- En mono-rellenos para lodos sólo se podrán disponer lodos que cumplan con los criterios de estabilización señalados en el artículo 6 del presente Reglamento.

Los mono-rellenos para lodos podrán ser proyectados como instalaciones anexas a las plantas de tratamiento de aguas servidas o rellenos sanitarios, o independientes de estos.

Sin perjuicio de la reglamentación sanitaria vigente aplicable a la disposición final de residuos sólidos, los proyectos de mono-rellenos para lodos deberán considerar un sistema de impermeabilización y de control de gases y olores.

Durante la operación del mono-relleno se requerirá del recubrimiento diario de los lodos, pudiendo la Autoridad Sanitaria exigir una mayor frecuencia si se generan problemas de olores durante la operación del sitio.

Asimismo, en aquellos mono-rellenos que se encuentren en operación según lo prescrito en el párrafo precedente, la Autoridad Sanitaria podrá autorizar una frecuencia menor de recubrimiento de los lodos. Para estos efectos, el titular del mono-relleno deberá presentar una solicitud a dicha Autoridad en la que se adjunte una justificación técnica que se base, entre otros, en antecedentes operacionales de la instalación. En todo caso, la Autoridad Sanitaria, en la respectiva autorización, deberá establecer los requerimientos que deberá cumplir el mono-relleno, incluida la disponibilidad de material de cobertura y de maquinaria, para asegurar el recubrimiento inmediato de los lodos en caso de detectarse problemas de emanación de olores molestos, de proliferación de vectores o ante condiciones climáticas o ambientales no consideradas en los antecedentes de la solicitud presentada a la Autoridad Sanitaria.

Artículo 18°.- La Autoridad Sanitaria podrá liberar de las obligaciones señaladas en este título a los operadores de plantas de tratamiento de aguas servidas con una capacidad inferior a 2.500 habitantes equivalente o que generen hasta 100 kg. de lodos base materia seca al día.

TITULO IV DE LA APLICACION DE LODOS AL SUELO

Artículo 19°.- Previo a la aplicación de lodos al suelo, el generador deberá elaborar un Plan de Aplicación de lodos al suelo, en adelante Plan de Aplicación. El generador deberá definir la duración de su Plan de Aplicación, que en ningún caso será superior a un año. El generador deberá presentar el Plan de Aplicación, así como sus modificaciones, al menos un mes antes del inicio de su aplicación, a la Dirección Regional del Servicio Agrícola Ganadero y a la Secretaría Regional Ministerial de Salud en formato papel o a través del sistema de información en línea que al efecto dichas Autoridades Competentes pondrán a disposición de los generadores. El generador será el responsable del cumplimiento de los requisitos y condiciones técnicas que contemple dicho Plan, el cual deberá contener, además de los datos que identifiquen al generador, para cada predio o potrero donde se efectuará la aplicación, en forma individual, la siguiente información:

1.- Antecedentes del área de aplicación y su representación en un plano georeferenciado a escala de detalle que incluya las distancias a áreas residenciales, viviendas individuales y fuentes de agua potable, así como:

- a) Mapa básico de suelos caracterizados por unidades homogéneas.
- b) Superficie del área de aplicación.
- c) Pendiente (expresada como porcentaje).
- d) Profundidad efectiva del suelo.

2.- Caracterización físico-química del suelo receptor de lodo:

- a) pH
- b) Conductividad eléctrica
- c) Clase textural del suelo
- d) Porcentaje de arena en suelos de textura gruesa
- e) Materia orgánica (expresados como porcentaje)

f) Contenido total de los metales pesados en el suelo receptor de lodo, señalados en la Tabla 1 (expresados como mg/kg en base materia seca)

3.- Cantidades de los lodos a aplicar anualmente

4.- Caracterización de los lodos:

- a) Clasificación sanitaria de los lodos (A o B)
- b) Contenido total de los metales pesados señalados en la Tabla 2 (expresados como mg/kg. en base materia seca)

- c) Materia Orgánica (expresados como porcentaje)
- d) Contenido de humedad (expresados como porcentaje)
- e) Conductividad eléctrica
- f) pH

5.- Manejo agronómico:

- a) Técnica de incorporación del lodo al suelo
- b) Frecuencia de aplicación.
- c) Época de aplicación
- d) Tasa de aplicación
- e) Especie a sembrar o plantar
- f) Fecha de siembra o plantación
- g) Fecha de cosecha o aprovechamiento.

h) Medidas técnicas especiales: En suelos degradados se deberán establecer las medidas técnicas especiales que permitan controlar la erosión hídrica del suelo.

i) En caso de lodos con una humedad superior a 70%, además de lo señalado anteriormente, se deberá presentar las técnicas, maquinaria y/o medidas especiales de aplicación.

Artículo 20º.- El área de aplicación deberá cumplir con los siguientes requisitos sanitarios:

a.- Estar ubicada a más de 300 metros de conjuntos de viviendas, como villorrios, pueblos y ciudades, y de hospitales, locales de expendio de alimentos, escuelas y otros establecimientos similares. Sin perjuicio de lo anterior, la distancia a viviendas aisladas deberá ser superior a 100 metros.

b.- Estar ubicada a más de 300 metros de una captación de agua subterránea para agua potable. En caso de acuíferos vulnerables (por ejemplo, napas ubicadas a bajas profundidades, altas permeabilidades, etc.) la Autoridad Sanitaria podrá determinar radios mayores.

c.- Estar ubicada fuera de una franja contigua al punto de captación de aguas superficiales para agua potable, de una longitud de 1000 metros aguas arriba del punto de captación y 200 metros aguas abajo, y un ancho de 500 metros.

d.- Disponer de una restricción al acceso de animales y personas para evitar riesgos sanitarios (cercos, señalética, etc.).

Artículo 21º.- Solo se podrá aplicar lodos a sitios que no presenten algunas de las siguientes condiciones y características:

a.- Suelo con contenido de arena igual o superior a un 70% que se encuentre en zonas de precipitaciones media anual superiores a 100 mm.

b.- pH inferior a 5.

c.- Pendiente superior a 15%. En los casos de suelos con pendiente superior a 15%, y con presencia de cobertura vegetal arbustiva o arbórea, se podrá realizar aplicación localizada, sistema que deberá ser descrito en el Plan de Aplicación.

d.- Suelos saturados con agua la mayor parte del tiempo, por ejemplo, vegas, bofedales y suelos "ñadis".

e.- Suelos cuya napa freática se encuentre a menos de 1 metro de profundidad, sitios en los cuales se genere un efecto de napa colgante.

f.- Suelos cubiertos con nieve.

g.- Suelos ubicados a menos de 15 metros de las riberas de ríos y lagos.

h.- Suelos ubicados a menos de 15 metros de un área que cuente con recursos para bebida animal.

i.- Suelos con riesgo de inundación.

Artículo 22°.- Las concentraciones máximas de metales pesados que pueden contener los suelos receptores previo a la aplicación de lodos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones máximas de metales en suelo receptor

Metal	Concentración máxima en mg/kg suelo (en base materia seca) ¹		
	Macrozona norte		Macrozona Sur
	pH >6,5	pH ≤6,5	pH>5
Arsénico	20	12,5	10
Cadmio	2	1,25	2
Cobre	150	100	75
Mercurio	1,5	1	1
Níquel	112	50	30
Plomo	75	50	50
Selenio	4	3	4
Zinc	175	130	175

¹ Concentraciones expresadas como contenidos totales

Artículo 23°.- En aquellos suelos que cumplan los requisitos establecidos en la tabla 1, la tasa máxima de aplicación de lodos al suelo es 90 Ton/ha por año (base materia seca).

En aquellos suelos que posean una mayor concentración de metales pesados a las señaladas en la tabla 1 sin haber sido receptores de lodo, se permitirá sólo una aplicación de una tasa máxima de 30 ton/ha.

Artículo 24°.- Sólo se podrán aplicar al suelo lodos de las clases A y B provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas que cuentan con un proyecto aprobado por la Autoridad Sanitaria. Estos lodos deberán cumplir con la concentración máxima de metales señalados en la Tabla 2.

Tabla 2. Concentraciones máximas de metales en lodos para aplicación al suelo

Metal	Concentración máxima en mg/kg. de sólidos totales (base materia seca) ¹	
	Suelos que cumplen los requisitos establecidos en este título	Suelos degradados que cumplen los requisitos establecidos en este título
Arsénico	20	40
Cadmio*	8	40
Cobre	1000	1200
Mercurio*	10	20
Níquel	80	420
Plomo*	300	400
Selenio*	90	100
Zinc	2000	2800

¹ Concentraciones expresadas como contenidos totales.

* Cuando las concentraciones totales de cadmio, mercurio, plomo y selenio superen los valores de 20, 4, 100 y 20 mg/kg. respectivamente, se deberá demostrar que estos lodos no son peligrosos de acuerdo a lo establecido en el DS 148/2003 del Ministerio de Salud.

El compost producido con lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas deberá cumplir las exigencias establecidas en el presente Título.

Artículo 25.- En suelos destinados a cultivos hortícolas o frutícolas menores, que estén en contacto directo con el suelo y que se consuman normalmente sin proceso de cocción, los lodos clase B deberán aplicarse con a lo menos 12 meses de antelación a la siembra. Prohíbese la aplicación de lodos durante el ciclo vegetativo de estos cultivos.

En praderas y cultivos forrajeros, podrá procederse al pastoreo o a la cosecha sólo transcurrido 30 días desde la última aplicación de lodos clase B.

En suelos de uso forestal la aplicación de lodos clase B podrá efectuarse solo si se cuenta con un control de acceso al área durante los 30 días posteriores a la aplicación.

Artículo 26°.- Para su aplicación, los lodos deberán ir acompañados de una ficha técnica que deberá contener a lo menos la siguiente información:

a.- Una advertencia de que el lodo en caso de no ser aplicado en forma apropiada, puede afectar en forma negativa las características físicas del suelo, la calidad de las aguas y del aire o los cultivos;

b.- La tasa máxima de aplicación del lodo de acuerdo a lo establecido el artículo 23;

c.- Clasificación del lodo (clase A o B);

d.- Concentración en el lodo de los metales pesados señalados en la Tabla 2;

e.- Técnica aplicada respecto de la reducción de atracción de vectores y forma de aplicación de los lodos al suelo.

“Resolución N° 375, Ministerio de Medio Ambiente, Consejo Nacional de Medio Ambiente” agosto 2006, Brasil.

La resolución en mención, clasifica a los lodos de alcantarilla o derivados en función a su higienización en clase A y B, a la vez establecen los LMP para coliformes termotolerantes, salmonella, huevos de helmintos y virus. A su vez los biosolidos deben ser analizados en solidos totales, solidos volátiles, humedad, pH, carbono, nitrógeno y los 10 metales pesados presentado en la Tabla N°11

En la sección III: Requisitos mínimos de calidad del lodo de Alcantarillado o Producto derivado destinado a la agricultura, se muestra los cuadros mencionados líneas arriba: lodo de Alcantarillado o Producto derivado – sustancias inorgánicas y la Tabla: Clases de lodo de Alcantarillado o producto derivado – agentes patógenos. Véase la Tabla 11.

Tabla N°11: Requisitos mínimos de calidad del lodo de alcantarillado o producto derivado destinado a la agricultura

Sustancias Inorgánicas	Concentración máxima permitida de lodo de alcantarillado o producto derivado (mg/kg base seca)
Arsénico (As)	41
Bario (Ba)	1 300
Cadmio (Cd)	39
Plomo (Pb)	300
Cobre (Cu)	1 500
Cromo (Cr)	1 000
Mercurio (Hg)	17
Molibdeno (Mb)	50
Níquel (Ni)	420
Selenio (Se)	100
Zinc (Zn)	2 800

Fuente: adaptado de la normativa brasilera, 2006.

Tabla N°12: Clases de lodo de alcantarillado o producto derivado – agentes patogénicos

Tipo de lodo de alcantarillado o producto derivado	Concentración de patógenos
A	Coliformes termotolerantes < 10 ³ NMP/g de ST
	Huevos viables de helmintos < 0.25 huevo/g de ST
	Ausencia de Salmonella en 10 g de ST
	Virus < 0.25 UFP o UFF/g de ST
B	Coliformes Termotolerantes < 10 ⁶ NMP/g de ST
	Huevos viables de helmintos < 10 huevos /g de ST

Fuente: adaptado de la normativa brasilera, 2006.

ST: Sólidos Totales

NMP: Número Más Probable

- Clase A: Lodo permitido para ser aplicado al suelo.
- Clase B: Lodo que tiene que ser evaluado sus riesgos epidemiológicos nacionales, que demuestren la seguridad de su uso.

Por otro lado, la resolución prohíbe el uso de los lodos en áreas protegidas, cerca de aguas superficiales y pozos de agua por el impacto en el suelo; para los cultivos se prohíbe el uso menos de 2 años antes de la siembra de hortalizas, tubérculos cultivos inundados y otros con parte comestible que estén en contacto con el suelo.

A fin de corroborar lo mencionado, se adjunta algunos capítulos de dicho documento.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

RESOLUÇÃO Nº 375, DE 29 DE AGOSTO DE 2006

Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pelos arts. 6º, inciso II e 8º, inciso VII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e

Considerando que a produção de lodos de esgoto é uma característica intrínseca dos processos de tratamento de esgotos e tende a um crescimento no mínimo proporcional ao crescimento da população humana e a solução para sua disposição é medida que se impõe com urgência;

Considerando que os lodos de esgoto correspondem a uma fonte potencial de riscos à saúde pública e ao ambiente e potencializam a proliferação de vetores de moléstias e organismos nocivos;

Considerando que devido a fatores naturais e acidentais os lodos de esgotos são resíduos que podem conter metais pesados, compostos orgânicos persistentes e patógenos em concentrações nocivas à saúde e ao meio ambiente;

Considerando a necessidade de dispor os lodos de esgoto provenientes das estações de tratamento de esgoto sanitário de forma adequada à proteção do meio ambiente e da saúde da população;

Considerando que o lodo de esgoto sanitário constitui fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas e que sua aplicação no solo pode trazer benefícios à agricultura;

Considerando que o lodo de esgoto é um resíduo que pode conter elementos químicos e patógenos danosos à saúde e ao meio ambiente;

Considerando que o uso agrícola do lodo de esgoto é uma alternativa que apresenta vantagens ambientais quando comparado a outras práticas de destinação final; e

Considerando que a aplicação do lodo de esgoto na agricultura se enquadra nos princípios de reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada, resolve:

Seção I

Das Disposições Preliminares

Art. 1º Esta Resolução estabelece critérios e procedimentos para o uso, em áreas agrícolas, de lodo de esgoto gerado em estação de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente.

Parágrafo único. Para a produção, compra, venda, cessão, empréstimo ou permuta do lodo de esgoto e seus produtos derivados, além do previsto nesta Resolução, deverá ser observado o disposto no Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que regulamenta a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura.

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - agentes patogênicos: bactérias, protozoários, fungos, vírus, helmintos, capazes de provocar doenças ao hospedeiro;



II - aplicação no solo: ação de aplicar o lodo de esgoto sanitário ou produto derivado uniformemente:

- a) sobre a superfície do terreno (seguida ou não de incorporação);
- b) em sulcos;
- c) em covas;
- d) por injeção subsuperficial;

III - áreas agrícolas: áreas destinadas à produção agrícola e silvicultura;

IV - áreas de aplicação do lodo de esgoto: áreas agrícolas em que o lodo de esgoto ou produto derivado é aplicado;

V - atratividade de vetores: característica do lodo de esgoto ou produto derivado, não tratado ou tratado inadequadamente, de atrair roedores, insetos ou outros vetores de agentes patogênicos;

VI - carga acumulada teórica de uma substância inorgânica:

- a) somatório das cargas aplicadas;
- b) somatório (taxa de aplicação X concentração da substância inorgânica no lodo de esgoto ou produto derivado aplicado);

VII - concentração de microrganismos: número de microrganismos presentes no lodo de esgoto ou produto derivado por unidade de massa dos sólidos totais (base seca);

VIII - esgoto sanitário: despejo líquido constituído de esgotos predominantemente domésticos, água de infiltração e contribuição pluvial parasitária;

IX - estabilização: processo que leva os lodos de esgoto destinados para o uso agrícola a não apresentarem potencial de geração de odores e de atratividade de vetores, mesmo quando reumidificados;

X - Estação de Tratamento de Esgotos-ETE: estrutura de propriedade pública ou privada utilizada para o tratamento de esgoto sanitário;

XI - fração de mineralização do nitrogênio do lodo de esgoto ou produto derivado: fração do nitrogênio total nos lodos de esgoto ou produto derivado, que, por meio do processo de mineralização, será transformada em nitrogênio inorgânico disponível para as plantas;

XII - lodo de esgoto: resíduo gerado nos processos de tratamento de esgoto sanitário;

XIII - lodo de esgoto ou produto derivado estabilizado: lodo de esgoto ou produto derivado que não apresenta potencial de geração de odores e atração de vetores de acordo com os níveis estabelecidos nesta norma;

XIV - lodo de esgoto ou produto derivado higienizado: lodo de esgoto ou produto derivado submetido a processo de tratamento de redução de patógenos de acordo com os níveis estabelecidos nesta norma;

XV - lote de lodo de esgoto ou produto derivado: quantidade de lodo de esgoto ou produto derivado destinado para uso agrícola, gerada por uma Estação de Tratamento de Esgoto-ETE ou Unidade de Gerenciamento de Lodo-UGL no período compreendido entre duas amostragens subsequentes, caracterizada físico-química e microbiologicamente;

XVI - manipulador: pessoa física ou jurídica que se dedique à atividade de aplicação, manipulação ou armazenagem de lodo de esgoto ou produto derivado;

XVII - parcela: área homogênea, definida para fins de monitoramento, com base nos critérios definidos no Anexo IV desta Resolução;

XVIII - produto derivado: produto destinado a uso agrícola que contenha lodo de esgoto em sua composição;



XIX - projeto agrônômico: projeto elaborado por profissional habilitado visando a aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em determinada área agrícola, observando os critérios e procedimentos estabelecidos nesta Resolução;

XX - taxa de aplicação: quantidade de lodo de esgoto ou produto derivado aplicada em toneladas (base seca) por hectare, calculada com base nos critérios definidos nesta Resolução;

XXI - transportador de lodo de esgoto: pessoa física ou jurídica que se dedique à movimentação de lodo de esgoto ou produto derivado, da ETE à UGL e desta às áreas de aplicação agrícola, mediante veículo apropriado ou tubulação; e

XXII - Unidade de Gerenciamento de Lodo-UGL: unidade responsável pelo recebimento, processamento, caracterização, transporte, destinação do lodo de esgoto produzido por uma ou mais estações de tratamento de esgoto sanitário e monitoramento dos efeitos ambientais, agrônômicos e sanitários de sua aplicação em área agrícola.

Art 3º Os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto, para terem aplicação agrícola, deverão ser submetidos a processo de redução de patógenos e da atratividade de vetores, de acordo com o Anexo I desta Resolução.

§ 1º Esta Resolução não se aplica a lodo de estação de tratamento de efluentes de processos industriais.

§ 2º Esta Resolução veta a utilização agrícola de:

I - lodo de estação de tratamento de efluentes de instalações hospitalares;

II - lodo de estação de tratamento de efluentes de portos e aeroportos;

III - resíduos de gradeamento;

IV - resíduos de desarenador;

V - material lipídico sobrenadante de decantadores primários, das caixas de gordura e dos reatores anaeróbicos;

VI - lodos provenientes de sistema de tratamento individual, coletados por veículos, antes de seu tratamento por uma estação de tratamento de esgoto;

VII - lodo de esgoto não estabilizado; e

VIII - lodos classificados como perigosos de acordo com as normas brasileiras vigentes.

Art. 4º Os lotes de lodo de esgoto e de produtos derivados, para o uso agrícola, devem respeitar os limites estabelecidos no art. 11, Tabelas 2 e 3, desta Resolução.

Parágrafo único. Não poderão ser misturados lodos de esgoto que não atendam as características definidas no art. 11, Tabelas 2 e 3, desta Resolução.

Art. 5º Para o uso de lodo de esgoto como componente de produtos derivados destinados para uso agrícola, o lote deverá atender aos limites para as substâncias potencialmente tóxicas, definidos no art. 11, Tabela 2, desta Resolução.

Art. 6º É proibida a importação de lodo de esgoto ou produto derivado.

Art. 7º A caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado a ser aplicado deve incluir os seguintes aspectos:

I - potencial agrônômico;

II - substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas;

III - indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; e

IV - estabilidade.



I - coliformes termotolerantes;

II - ovos viáveis de helmintos;

III - *Salmonella*; e

IV - vírus entéricos.

§ 6º Para fins de utilização agrícola, o lodo de esgoto ou produto derivado será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70.

Art. 8º O órgão ambiental competente poderá solicitar, mediante motivação, outros ensaios e análises não listados nesta Resolução.

Parágrafo único. Em função das características específicas da bacia de esgotamento sanitário e dos efluentes recebidos, as UGLs poderão requerer, junto ao órgão ambiental competente, dispensa ou alteração da lista de substâncias a serem analisadas nos lotes de lodo de esgoto ou produto derivado.

Art. 9º A aplicação de lodo de esgoto e produtos derivados no solo agrícola somente poderá ocorrer mediante a existência de uma UGL devidamente licenciada pelo órgão ambiental competente.

§ 1º O licenciamento ambiental da UGL deve obedecer aos mesmos procedimentos adotados para as atividades potencialmente poluidoras e/ou modificadoras do meio ambiente, exigidos pelos órgãos ambientais competentes.

§ 2º O licenciamento ambiental da UGL contemplará obrigatoriamente as áreas de aplicação.

§ 3º O processo de licenciamento deve prever mecanismos de prestação de informações à população da localidade em que será utilizado o lodo de esgoto ou produto derivado sobre:

I - os benefícios;

II - riscos;

III - tipo e classe de lodo de esgoto ou produto derivado empregado;

IV - critérios de aplicação;

V - procedimentos para evitar a contaminação do meio ambiente e do homem por organismos patogênicos; e

IV - o controle de proliferação de animais vetores.

Seção II

Da Frequência de Monitoramento do Lodo de Esgoto ou Produto Derivado

Art. 10. O monitoramento das características do lodo de esgoto ou produto derivado deverá ser implementado de acordo com os critérios de frequência definidos na Tabela 1.

Tabela 1. Frequência de monitoramento

Quantidade de lodo de esgoto ou produto derivado destinado para aplicação na agricultura em toneladas/ano (base seca)	Frequência de monitoramento
até 60	anual, preferencialmente anterior ao período de maior demanda pelo lodo de esgoto ou produto derivado
de 60 a 240	semestral, preferencialmente anterior aos períodos de maior demanda pelo lodo de esgoto ou produto derivado



de 240 a 1.500	trimestral
de 1.500 a 15.000	bimestral
acima de 15.000	mensal

§ 1º A caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado, representada por amostragem, é válida exclusivamente para o lote gerado no período compreendido entre esta amostragem e a subsequente.

§ 2º Caso os valores para substâncias potencialmente tóxicas alcancem 80% dos limites estabelecidos por esta Resolução, a frequência de monitoramento deverá ser aumentada, segundo parâmetros definidos pelo órgão ambiental competente, e a UGL deverá implementar as medidas adequadas para reduzir estes valores.

§ 3º A critério do órgão ambiental licenciador, em conjunto com os órgãos de saúde e de agricultura competentes, as frequências de amostragem podem ser aumentadas, devidamente justificadas.

§ 4º As análises químicas e biológicas previstas nesta Resolução devem ser realizadas em laboratórios que adotem os procedimentos de controle de qualidade analítica necessários ao atendimento das condições exigíveis.

§ 5º Os lotes de lodo de esgoto ou produto derivado, para uso agrícola que não se enquadrarem nos limites e critérios definidos nesta resolução deverão receber outra forma de destinação final, devidamente detalhada no processo de licenciamento ambiental e aprovada pelo órgão ambiental licenciador.

Seção III

Requisitos Mínimos de Qualidade do Lodo de Esgoto ou Produto Derivado Destinado a Agricultura

Art. 11. Os lotes de lodo de esgoto e de produtos derivados, para o uso agrícola, devem respeitar os limites máximos de concentração das Tabelas 2 e 3, a seguir especificadas:

Tabela 2. Lodos de esgoto ou produto derivado - substâncias inorgânicas

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromio	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800



Tabela 3. Classes de lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes <math><10^3</math> NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos <math>< 0,25</math> ovo / g de ST <i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST Vírus <math>< 0,25</math> UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes <math><10^6</math> NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos <math>< 10</math> ovos / g de ST

ST: Sólidos Totais

NMP: Número Mais Provável

UFF: Unidade Formadora de Foco

UFP: Unidade Formadora de Placa

§ 1º Decorridos 5 anos a partir da data de publicação desta Resolução, somente será permitida a aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado classe A, exceto sejam propostos novos critérios ou limites baseados em estudos de avaliação de risco e dados epidemiológicos nacionais, que demonstrem a segurança do uso do lodo de esgoto Classe B.

§ 2º As UGLs terão, após a data de publicação desta Resolução, 18 meses para se adequarem a esta Resolução.

Seção IV

Das Culturas Aptas a Receberem Lodo de Esgoto ou Produto Derivado

Art. 12. É proibida a utilização de qualquer classe de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo.

§ 1º Em solos onde for aplicado lodo de esgoto ou produto derivado, as pastagens poderão ser implantadas após um período mínimo de 24 meses da última aplicação.

§ 2º Em solos onde for aplicado lodo de esgoto ou produto derivado, somente poderão ser cultivadas olerícolas, tubérculos, raízes e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo bem como cultivos inundáveis, após um período mínimo de 48 meses da última aplicação.

Art. 13. Lodos de esgoto ou produto derivado enquadrados como classe A poderão ser utilizados para quaisquer culturas, respeitadas as restrições previstas nos arts. 12 e 15 desta Resolução.

Art. 14. A utilização de lodo de esgoto ou produto derivado enquadrado como classe B é restrita ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, seguida de incorporação, respeitadas as restrições previstas no art. 15 e no inciso XI, do art. 18 desta Resolução.



“Directiva del Consejo de 1986, Protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de lodos de depuradora en agricultura – 86/278/CEE.

La normativa en mención fue publicada el 12 de junio de 1986 para proteger el ambiente, en la cual se regula el uso de los lodos tratados de PTAR en suelos, para evitar efectos nocivos en suelos, vegetación, animales y el ser humano; fomentando una correcta utilización de estos lodos. Tiene por objeto *“regular la utilización de los lodos de depuradora en agricultura de modo que se eviten efectos nocivos en los suelos, en la vegetación, en los animales y en el ser humano, al mismo tiempo que se estimula su utilización correcta”*.

De igual forma, la mencionada norma considera que los lodos deben tratarse antes de utilizarse en agricultura. Así como, prohíbe la utilización de los lodos cuando uno o varios elementos traza metálicos en suelos supere su valor límite establecido por normativa legal.

En el Anexo I A de la normativa en mención, se muestran los valores límite de concentración de metales pesados en los lodos destinados a su utilización en agricultura (mg/kg de materia seca). Véase la Tabla N°13.

Tabla N°13: Límites de concentración de metales pesados

Parámetros	Valores límite ⁽¹⁾
Cadmio (Cd)	20 a 40
Cobre (Cu)	1000 a 1750
Níquel (Ni)	300 a 400
Plomo (Pb)	750 a 1200
Zinc (Zn)	2500 a 4000
Mercurio (Hg)	16 a 25

Fuente: adaptado de la normativa europea, 1986.

Por otro lado, considera la prohibición en la utilización de lodos en pastos o cultivos; si se procede al pastoreo o a la cosecha de cultivos en esas tierras antes de un plazo determinado (mínimo de 03 semanas), para cultivos hortícolas y frutícolas durante el periodo de vegetación, suelos con cultivos hortícolas o frutícolas que están en contacto directo con el suelo y cuyo consumo sea crudo, durante un periodo de diez meses antes de la cosecha y durante la cosecha misma.

A fin de corroborar lo mencionado, se adjuntan algunos capítulos de dicho documento.

DIRECTIVA DEL CONSEJO

de 12 de junio de 1986

relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura

(86/278/CEE)

EL CONSEJO DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS,

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Económica Europea y, en particular, los artículos 100 y 235,

Vista la propuesta de la Comisión ⁽¹⁾,Visto el dictamen del Parlamento Europeo ⁽²⁾,Visto el dictamen del Comité Económico y Social ⁽³⁾,

Considerando que esta Directiva tiene por objeto regular la utilización de los lodos de depuradora en la agricultura para evitar efectos nocivos en los suelos, la vegetación, los animales y el ser humano, fomentando al mismo tiempo su correcta utilización;

Considerando que podrían incidir en el funcionamiento del mercado común disparidades entre las disposiciones en los diferentes Estados miembros en lo que se refiere a la utilización de los lodos de depuradora en agricultura; que resulta conveniente, pues, proceder en dicho campo a la aproximación de legislaciones prevista en el artículo 100 del Tratado;

Considerando que los lodos de depuradora utilizados en el marco de la explotación agrícola no están incluidos en la Directiva 75/422/CEE del Consejo, de 15 de julio de 1975 ⁽⁴⁾, relativa a los residuos;Considerando que las medidas previstas en la directiva 78/319/CEE del Consejo, de 20 de marzo de 1978, relativa a los residuos tóxicos y peligrosos ⁽⁵⁾ se aplican también a los lodos de depuradora en la medida en que éstos contienen o se encuentran contaminados por las sustancias o materias que figuran en el Anexo de dicha Directiva y que por su naturaleza o por la cantidad o concentración en que aparecen presentan un riesgo para la salud humana o para el medio ambiente;

Considerando que resulta necesario prever un régimen especial que ofrezca plenas garantías de que asegurará la protección del ser humano, de los animales, de los vegetales y del medio ambiente contra los efectos perjudiciales ocasionados por la utilización incontrolada de los lodos;

Considerando que con esta Directiva se pretende, además, establecer ciertas primeras medidas comunitarias en el marco de la protección de los suelos;

Considerando que los lodos pueden presentar propiedades agronómicas útiles y que, por consiguiente, resulta justificado fomentar su valorización en agricultura siempre que sean utilizados correctamente; que la utilización de los lodos de depuradora no debe perjudicar la calidad de los suelos y de la producción agrícola;

Considerando que determinados metales pesados pueden ser tóxicos para las plantas y para el ser humano por su presencia en las cosechas, y que conviene fijar valores límite imperativos para dichos elementos en el suelo;

Considerando que resulta necesario prohibir la utilización de los lodos cuando la concentración en los suelos de dichos metales supere dichos valores límite;

Considerando, además, que resulta conveniente evitar que dichos valores límite se superen a consecuencia de una utilización de lodos; que, para ello, resulta conveniente limitar la aportación de metales pesados en los suelos cultivados bien fijando las cantidades máximas de las aportaciones de lodos por año, cuidando de no superar los valores límite de concentración de metales pesados en los lodos utilizados, bien cuidando de no superar los valores límite aplicables a las cantidades de metales pesados que pueden aportarse al suelo basándose en una media de diez años;

Considerando que los lodos deben tratarse antes de utilizarse en agricultura; que los Estados pueden, sin embargo, autorizar bajo determinadas condiciones la utilización de lodos no tratados, sin riesgo para la salud del ser humano y de los animales, cuando se inyecten o entierren en el suelo;

Considerando que debe respetarse un plazo determinado entre la utilización de los lodos y el acondicionamiento de praderas para pastoreo, la cosecha de los cultivos forrajeros o de determinados cultivos que están normalmente en contacto directo con el suelo y que se consumen crudos; que debe prohibirse la utilización de los lodos en los

⁽¹⁾ DO n° C 264 de 8. 10. 1982, p. 3, y DO n° C 154 de 14. 6. 1984, p. 6.⁽²⁾ DO n° C 77 de 19. 3. 1984, p. 136.⁽³⁾ DO n° C 90 de 5. 4. 1983, p. 27.⁽⁴⁾ DO n° L 194 de 25. 7. 1975, p. 39.⁽⁵⁾ DO n° L 84 de 31. 3. 1978, p. 43.

cultivos hortícolas y frutícolas durante el período de vegetación, excepto para los cultivos de árboles frutales;

Considerando que, de conformidad con la Directiva 75/440/CEE ⁽¹⁾ y con la Directiva 80/68/CEE ⁽²⁾, la utilización de los lodos debe efectuarse en condiciones que garanticen la protección del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas;

Considerando que, para realizar esto, es necesario controlar las calidades de los lodos y de los suelos en los que se utilicen y, por consiguiente, realizar su análisis y comunicar determinados resultados de dichos análisis a los usuarios;

Considerando que resulta conveniente que se conserve un determinado número de informaciones esenciales para garantizar un mejor conocimiento de la utilización de los lodos en agricultura, que se transmitan dichas informaciones en forma de informes periódicos a la Comisión; que la Comisión, teniendo presentes dichos informes, formulará, si fuere necesario, propuestas dirigidas a garantizar una mejor protección de los suelos y del medio ambiente;

Considerando que los lodos procedentes de estaciones depuradoras de pequeño tamaño y que traten esencialmente aguas residuales de origen doméstico presentan pocos riesgos para la salud del ser humano, de los animales, de los vegetales y para el medio ambiente y que, por consiguiente, resulta conveniente permitir para dichos lodos la exención de algunas de las obligaciones previstas en materia de información y de análisis;

Considerando que los Estados miembros deben poder establecer disposiciones más severas que las previstas en la presente Directiva; que dichas disposiciones se comuniquen a la Comisión;

Considerando que el progreso técnico y científico puede hacer necesaria una adaptación rápida de algunas de las disposiciones que figuran en esta Directiva; que resulta conveniente, para facilitar la aplicación de las medidas necesarias para ello, prever un procedimiento que establezca una cooperación estrecha entre los Estados miembros y la Comisión; que dicha cooperación debe llevarse a cabo en un comité para la adaptación al progreso técnico y científico;

Considerando que el Tratado no ha previsto poderes de acción necesarios al respecto distintos de los del artículo 235,

HA ADOPTADO LA PRESENTE DIRECTIVA:

Artículo 1

La presente Directiva tiene por objeto regular la utilización de los lodos de depuradora en agricultura de modo que se

eviten efectos nocivos en los suelos, en la vegetación, en los animales y en el ser humano, al mismo tiempo que se estimula su utilización correcta.

Artículo 2

A los fines de la presente Directiva, se entenderá por:

- a) «lodos»
 - i) los lodos residuales salidos de estaciones de depuración que traten aguas residuales domésticas o urbanas y de otras estaciones de depuración que traten aguas residuales de composición similar a la de las aguas residuales domésticas y urbanas;
 - ii) los lodos residuales de fosas sépticas y de otras instalaciones similares para el tratamiento de aguas residuales;
 - iii) los lodos residuales salidos de estaciones de depuración distintas de las contempladas en i) y ii);
- b) «lodos tratados»
 - los lodos tratados por vía biológica, química o térmica, mediante almacenamiento a largo plazo o por cualquier otro procedimiento apropiado, de manera que se reduzcan, de manera significativa, su poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de su utilización;
- c) «agricultura»
 - todo tipo de cultivo de finalidad comercial y alimentaria, incluida en ella la ganadería;
- d) «utilización»
 - el esparcimiento de los lodos en el suelo o cualquier otra utilización de los lodos en y dentro del suelo.

Artículo 3

1. Los lodos contemplados en la letra a), punto i), del artículo 2 no podrán utilizarse en agricultura salvo con arreglo a la presente Directiva.
2. Sin perjuicio de las Directivas 75/442/CEE y 78/319/CEE:
 - los lodos contemplados en la letra a), punto ii), del artículo 2 podrán utilizarse en agricultura siempre y cuando se cumplan las condiciones que el Estado miembro afectado pueda estimar necesarias con el fin de garantizar la protección de la salud del ser humano y del medio ambiente,
 - los lodos contemplados en la letra a), punto iii) del artículo 2 no podrán utilizarse en agricultura más que con la condición de que su utilización esté reglamentada por el Estado miembro afectado.

Artículo 4

En los Anexos I A, I B y I C figuran valores relativos a las concentraciones de metales pesados en los suelos que reciban lodos, a las concentraciones de metales pesados en

⁽¹⁾ DO nº L 194 de 25. 7. 1975, p. 26.

⁽²⁾ DO nº L 20 de 26. 1. 1980, p. 43.

los lodos y a las cantidades máximas anuales de estos metales pesados que pueden ser introducidas en los suelos destinados a la agricultura.

Artículo 5

Sin perjuicio del artículo 12:

1. Los Estados miembros prohibirán la utilización de los lodos cuando la concentración de uno o varios metales pesados en los suelos supere los valores límite que fijen, conforme al Anexo I A y adopten las medidas necesarias para garantizar que estos valores límite no se superen por el hecho de la utilización de los lodos.
2. Los estados miembros reglamentarán la utilización de los lodos de tal suerte que la acumulación de metales pesados en los suelos no conduzca a una superación de los valores límite contemplados en el apartado 1. Para hacerlo así, aplicarán uno u otro de los procedimientos previstos en las letras a) y b) siguientes:
 - a) los Estados miembros fijarán las cantidades máximas de lodos expresadas en toneladas de materia seca que podrán aportarse al suelo por unidad de superficie y por año, respetando los valores límite de concentración de metales pesados en los lodos que determinen conforme al Anexo I B; o
 - b) los Estados miembros velarán por el respeto de los valores límite de cantidades de metales que se introduzcan en el suelo por unidad de superficie y por unidad de tiempo, que figuran en el Anexo I C.

Artículo 6

Sin perjuicio del artículo 7:

- a) los lodos se tratarán antes de utilizarse para la agricultura. Los Estados miembros podrán sin embargo autorizar, en las condiciones que determinen, la utilización de los lodos no tratados cuando se inyecten o se entieren en el suelo;
- b) los productores de lodos de depuradora suministrarán regularmente a los usuarios todas las informaciones que se contemplan en el Anexo II A.

Artículo 7

Los Estados miembros prohibirán la utilización de lodos o la entrega de lodos a los fines de su utilización:

- a) en pastos o en cultivos para pienso, si se procede al pastoreo o a la cosecha de los cultivos para pienso en esas tierras antes de la expiración de un determinado plazo. Dicho plazo, que los Estados miembros establecerán teniendo en cuenta especialmente su situación

geográfica y climática, no podrá en ningún caso ser inferior a tres semanas;

- b) en cultivos hortícolas y frutícolas durante el período de vegetación, con la excepción de los cultivos de árboles frutales;
- c) en suelos destinados a cultivos hortícolas o frutícolas que estén normalmente en contacto directo con el suelo y que se consuman normalmente en estado crudo, durante un período de diez meses antes de la cosecha y durante la cosecha misma.

Artículo 8

La utilización de lodos se realizará teniendo en cuenta las siguientes normas:

- la utilización deberá tener en cuenta las necesidades de nutrición de las plantas y no podrá perjudicar la calidad del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas,
- si se utilizaran lodos en suelos cuyo pH fuera inferior a 6, los Estados miembros tendrán en cuenta el aumento de la movilidad de los metales pesados y de su absorción por las plantas y disminuirán, llegado el caso, los valores límite que hayan fijado de conformidad con el Anexo I A.

Artículo 9

Los lodos y los suelos sobre los que se han utilizado éstos se analizarán siguiendo el esquema mencionado en los Anexos II A y II B.

Los métodos de referencia de muestreo y análisis se indicarán en el anexo II C.

Artículo 10

1. Los Estados miembros velarán para que se lleven al día unos registros donde se anoten:

- a) las cantidades de lodo producidas y las que se dedican a la agricultura;
- b) la composición y las características de los lodos con relación a los parámetros contemplados en el Anexo II A;
- c) el tipo de tratamiento realizado tal y como se define en la letra b) del artículo 2;
- d) los nombres y direcciones de los destinatarios de los lodos y los lugares de utilización de los lodos.

2. Estos registros estarán a la disposición de las autoridades competentes y servirán para establecer el informe de síntesis contemplado en el artículo 17.

3. Los métodos de tratamiento y los resultados de análisis se comunicarán a las autoridades competentes a instancia de éstas.

ANEXO I A

VALORES LÍMITE DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LOS SUELOS

(mg/kg de materia seca de una muestra representativa de los suelos cuyo pH sea de 6 a 7, tal como la define el Anexo II C)

Parámetros	Valores límite ⁽¹⁾
Cadmio	1 a 3
Cobre ⁽²⁾	50 a 140
Níquel ⁽²⁾	30 a 75
Plomo	50 a 300
Zinc ⁽²⁾	150 a 300
Mercurio	1 a 1,5
Cromo ⁽³⁾	—

⁽¹⁾ Los Estados miembros podrán autorizar que se sobrepasen los valores límite arriba citados en el caso de la utilización de los lodos en tierras que, en el momento de la notificación de la presente Directiva, estén dedicadas a la eliminación de los lodos, pero en las que se efectúen cultivos con fines comerciales destinados exclusivamente al consumo animal. Los estados miembros comunicarán a la Comisión el número y la naturaleza de los lugares afectados. Velarán, además, por que de ello no resulte ningún peligro para el ser humano ni para el medio ambiente.

⁽²⁾ Los Estados miembros podrán autorizar que se sobrepasen los valores límite para dichos parámetros en suelos cuyo pH sea constantemente superior a 7. En ningún caso las concentraciones máximas autorizadas de dichos metales pesados deberán sobrepasar en más de un 50 % los valores arriba citados. Los Estados miembros velarán, además, por que de ello no resulte peligro alguno para el hombre ni el medio ambiente ni, especialmente, para las capas de agua subterráneas.

⁽³⁾ No es posible en esta fase fijar los valores límite para el cromo. El Consejo fijará estos valores límite en una fase posterior sobre la base de propuestas que presentará la Comisión en un plazo de un año tras la notificación de la presente Directiva.

ANEXO I B

VALORES LÍMITE DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LOS LODOS DESTINADOS A SU UTILIZACIÓN EN AGRICULTURA

(mg/kg de materia seca)

Parámetros	Valores límite
Cadmio	20 a 40
Cobre	1 000 a 1 750
Níquel	300 a 400
Plomo	750 a 1 200
Zinc	2 500 a 4 000
Mercurio	16 a 25
Cromo ⁽¹⁾	—

⁽¹⁾ No es posible en esta fase fijar los valores límite para el cromo. El Consejo fijará estos valores límite en una fase posterior sobre la base de propuestas que presentará la Comisión en un plazo de un año tras la notificación de la presente Directiva.

ANEXO I C

VALORES LÍMITE PARA LAS CANTIDADES ANUALES DE METALES PESADOS QUE SE PODRÁN INTRODUCIR EN LAS TIERRAS CULTIVADAS BASÁNDOSE EN UNA MEDIA DE 10 AÑOS

(kg/Ha/año)

Parámetros	Valores límite (1)
Cadmio	0,15
Cobre	12
Níquel	3
Plomo	15
Zinc	30
Mercurio	0,1
Cromo (2)	—

(1) Los Estados miembros podrán autorizar que se sobrepasen los valores límite arriba citados en el caso de la utilización de los lodos en tierras que, en el momento de la notificación de la presente Directiva, estén consagradas a la eliminación de los lodos, pero sobre las cuales se efectúen cultivos con fines comerciales destinados exclusivamente al consumo animal. Los Estados miembros comunicarán a la Comisión el número y la naturaleza de los lugares afectados. Velarán, además, por que de ello no resulte peligro alguno para el ser humano y el medio ambiente.

(2) No es posible en esta fase fijar los valores límite para el cromo. El Consejo fijará estos valores límite en una fase posterior sobre la base de propuestas que presentará la Comisión en un plazo de un año tras la notificación de la presente Directiva.

ANEXO II A

ANÁLISIS DE LOS LODOS

- Por regla general, los lodos deberán analizarse al menos cada seis meses. Si surgen cambios en la calidad de las aguas tratadas, la frecuencia de tales análisis deberá aumentarse. Si los resultados de los análisis no varían de forma significativa a lo largo de un período de un año, los lodos deberán analizarse al menos cada doce meses.
- En el caso de lodos procedentes de las plantas depuradoras contempladas en el artículo 11, si en los doce meses anteriores a la aplicación de la presente Directiva no ha sido realizado ningún análisis de los lodos, deberá efectuarse un análisis de los mismos en un plazo de doce meses a contar de la aplicación de la presente Directiva en cada Estado miembro o, en su caso, en un plazo de seis meses a partir de la decisión de autorizar la utilización en la agricultura de los lodos procedentes de alguna de las susodichas plantas. Los Estados miembros decidirán sobre la frecuencia de ulteriores análisis en función de los resultados del primer análisis, de los posibles cambios surgidos en la naturaleza de las aguas residuales tratadas y de cualesquiera otros elementos pertinentes.
- Sin perjuicio de las disposiciones del apartado 4, deberán analizarse los parámetros siguientes:
 - materia seca, materia orgánica,
 - pH,
 - nitrógeno y fósforo,
 - cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc, mercurio, cromo.
- Respecto al cobre, al zinc y al cromo, cuando haya quedado demostrado satisfactoriamente para la autoridad competente del Estado miembro que tales metales no están presentes o solo están presentes en cantidad despreciable en las aguas residuales tratadas por la planta depuradora, los Estados miembros decidirán sobre los análisis que haya que efectuar.

ANEXO II B

ANÁLISIS DE LOS SUELOS

1. Antes de cualquier utilización de los lodos, dejando aparte los procedentes de las plantas depuradoras contempladas en el artículo 11, los Estados miembros deberán garantizar que los contenidos de metales pesados de los suelos no superen los valores límite fijados con arreglo al Anexo I A. Para ello, los Estados miembros decidirán los análisis que haya que efectuar teniendo en cuenta los datos científicos disponibles sobre las características de los suelos y su homogeneidad.
2. Los Estados miembros decidirán la frecuencia de los análisis ulteriores teniendo en cuenta el contenido de metales de los suelos antes de la utilización de lodos, la cantidad y la composición de los lodos utilizados y cualquier otro elemento pertinente.
3. Los parámetros que deberán analizarse serán:
 - pH,
 - cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc, mercurio, cromo.

ANEXO II C

MÉTODOS DE MUESTREO Y DE ANÁLISIS

1. Muestreo de los suelos

Las muestras representativas de suelos sometidos a análisis se constituirán normalmente mediante la mezcla de 25 muestras tomadas en una superficie inferior o igual a 5 hectáreas explotada de forma homogénea.

Las tomas se efectuarán a una profundidad de 25 cm, salvo si la profundidad de la capa arable es inferior a ese valor, pero sin que en ese caso la profundidad de la toma de muestras sea inferior a 10 cm.

2. Muestreo de los lodos

Los lodos serán objeto de un muestreo tras su tratamiento pero antes de la entrega al utilizador y deberán ser representativos de los lodos producidos.

3. Método de análisis

El análisis de los metales pesados se efectuará tras una descomposición mediante un ácido fuerte. El método de referencia de análisis será la espectrometría de absorción atómica. El límite de detección para cada metal no deberá superar el 10 % del valor límite correspondiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

Cartografía:

- **Mapa de los distritos de Lima**, que servirá para localizar y delimitar el área de estudio. (en formato digital, shape – shp.)
- **Imagen de google earth**, se utilizó para localizar las plantas de tratamiento de aguas residuales a trabajar de Sedapal.

3.1.1. EQUIPOS

- **Cámara digital, Sony DSC-W830/PC E33**

La cámara digital servirá para tomar fotos de las plantas de tratamiento de aguas residuales a trabajar

- **Laptop, ASUS, modelo X451CAP**

La computadora servirá para procesar los datos.

Software:

- **Microsoft Office 365**

El Microsoft Office 365 servirá para redactar los textos y cuadros estadísticos.

- **ARCGIS 10.4.1**

El ArcGIS es un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Para la presente tesis nos permitirá elaborar los mapas de ubicación.

Otros

- **Acceso a Internet**

El internet servirá para obtener información, que serán las fuentes de información.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. MÉTODO

De acuerdo a la metodología de la investigación de Hernandez-Sampieri; 2014, existen 3 enfoques: cuantitativo, o también conocido como método deductivo; cualitativo, conocido como método inductivo y el mixto, que es una mezcla de los enfoques cualitativos y cuantitativos (Hernández R., 2014). La presente tesis posee un enfoque mixto.

Enfoque Cuantitativo

El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar la hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar la hipótesis (Hernández R., 2014). En el presente trabajo de investigación se utilizará el proceso deductivo, ya que se partirá de conocimientos generales para llegar a situaciones específicas y a un proceso analítico, porque se comprobará la hipótesis, para ello se analizará el problema planteado descomponiéndolo en partes los elementos y así llegar al objetivo principal y secundario.

Enfoque Cualitativo

Enfoque cualitativo utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación (Hernández R., 2014). En la investigación se utilizará el proceso inductivo, porque se alcanzará a las conclusiones generales partiendo de la hipótesis y objetivos.

3.2.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a la investigación cuantitativa se tiene dos tipos de investigaciones: investigación experimental e investigación no experimental (Hernández R., 2014). El desarrollo de la presente tesis corresponde a la investigación no experimental, ya que no

se ha manipulado las variables, pues solo se han observado los fenómenos en el ambiente para analizarlos. Teniendo en cuenta que dentro de los alcances cuantitativos de una investigación son: exploratorios, descriptivos, correlacionales, y explicativos; la presente investigación se encuentra dentro del alcance correlacional; ya que se están relacionando dos años de estudio (2013 y 2015). (Hernández R., 2014)

3.2.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación de la presente tesis es descriptiva, ya que no hay manipulación de las variables, estas se observan y se describen tal como se presentan en el ambiente natural.

3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

Se realizará el análisis de los lodos residuales, provenientes de cinco (05) Plantas de Tratamiento de aguas residuales de Sedapal.

3.4. MARCO TEMPORAL

Con respecto al tiempo en que se analiza el objeto de estudio, la realización de la presente tesis se delimita al año 2016, estadía de prácticas profesionales realizada en la empresa SEDAPAL. En estos periodos se recolectó la información de los ensayos físicos, químicos y biológicos realizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, procedentes de los años 2013 y 2015; ya que no se cuenta con información del 2014.

3.5. MARCO ESPACIAL

La investigación se realizó en 05 plantas de tratamiento de la empresa SEDAPAL, las cuales son PTAR-Manchay, PTAR-Santa Clara, PTAR-San Antonio de Carapongo, PTAR-Carapongo y PTAR-San Bartolo Sur; ubicadas en los distritos de Pachacamac, Ate Vitarte, Ate Vitarte, Lurigancho-Chosica y Lurín respectivamente. Cabe indicar que las 05 PTARs presentan como tecnología de tratamiento –Lodos Activados.

3.6. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología empleada para determinar las características de los lodos residuales, provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de SEDAPAL; que es el objetivo de la presente tesis.

La presente tesis se realizará utilizando la metodología comparada, es decir, se evaluarán los resultados de los monitoreos físicos, químicos y biológicos de los lodos residuales; lo cual implica conocer normativas legales extranjeras (Brasil, Europa y Chile) aplicables a lodos residuales, para luego poner a comparar y realizar una evaluación de los resultados obtenidos y brindados por los laboratorios que realizaron el ensayo.

De la evaluación de los resultados se podrá determinar las características de los residuales y finalmente se podrá proponer una alternativa de aprovechamiento de dichos lodos residuales. Véase el Diagrama N°06.

3.6.1. FASES DE INVESTIGACIÓN

3.6.1.1. FASE PRE CAMPO

Esta etapa consiste en la revisión, recopilamiento y sistematización de la información teórica existente, tanto del área de estudio como de la metodología a aplicar. Con la información recopilada se identificó la unidad de análisis.

3.6.1.2. FASE DE CAMPO

En esta fase se realizó el reconocimiento del área de estudio; con la finalidad de conocer in situ los procesos de tratamiento y tecnología aplicada en las PTARS; es decir, se realizaron visitas técnicas a las PTARS.

3.6.1.3. FASE GABINETE

Una vez finalizadas las fases anteriores, se evaluó la información y se procesaron los resultados de los ensayos físicos, químicos y biológicos del monitoreo de los lodos

residuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales; proporcionados por los laboratorios.

Cabe indicar que los resultados se procesaron en una base de datos en formato Excel, en se realizó una integración de la información recopilada. Seguido de ello se compararon los resultados con normativas internacionales, clasificando los lodos residuales (Clase A, B, C), según sus características; con la finalidad de establecer relaciones que ayuden a responder la hipótesis planteada en la tesis.

Finalmente, se elaboró el informe y mapas de ubicación con sus correspondientes anexos y paneles fotográficos.

3.6.2. UNIVERSO Y MUESTRA

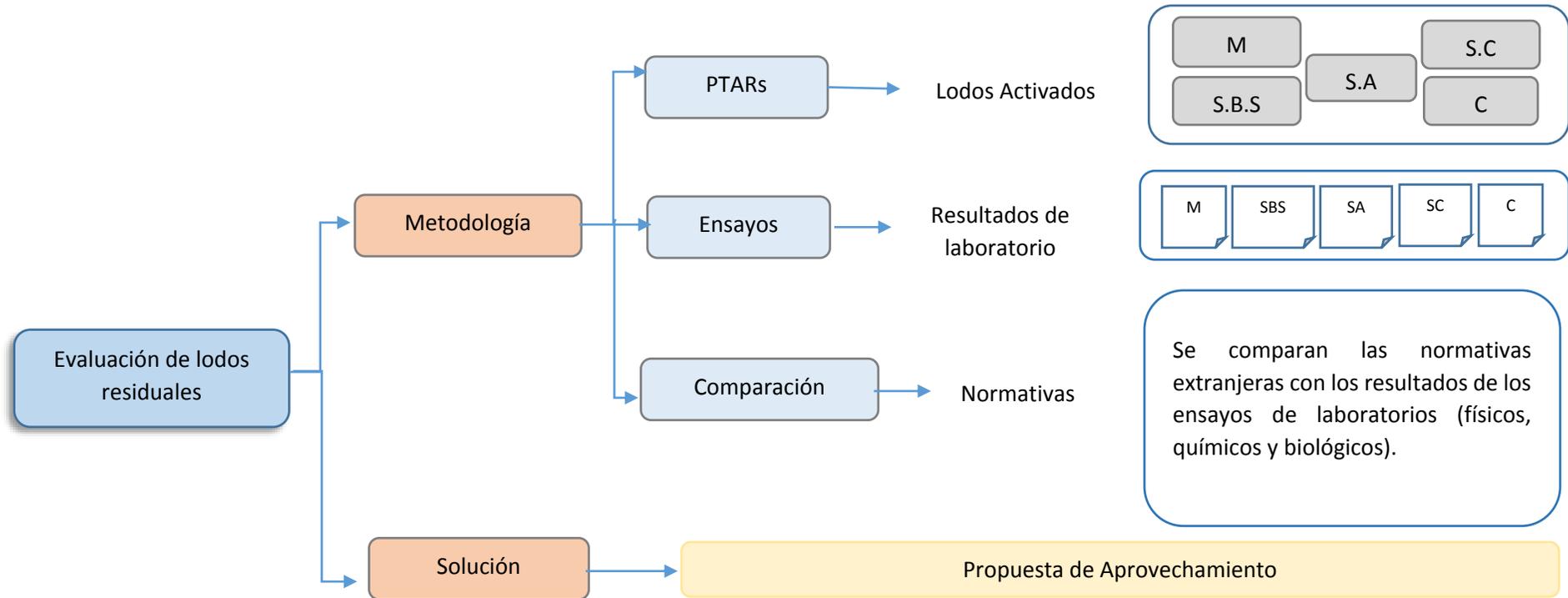
3.6.2.1. MUESTRA:

La presente investigación es realizada en base a un muestreo aleatorio, ya que el análisis es realizado en base a dos años (2013 y 2015); pues durante el desarrollo de la investigación sólo se contaba con dicha información. Es preciso indicar que la muestra corresponde a un total de 05 PTARs de estudio de la empresa Sedapal. (Hernández R., 2014).

3.6.2.2. UNIVERSO O POBLACIÓN:

El universo de la presente investigación está conformado por las 143 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), que existen en el país. (SUNASS et al., 2016).

Diagrama N°06: Metodología de Evaluación de lodos residuales



Fuente: Elaboración Propia

M: Manchay, S.A: San Antonio de Carapongo, S.B.S: San Bartolo Sur, S.C: Santa Clara, C: Carapongo, R.L: Resultados de Laboratorio

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

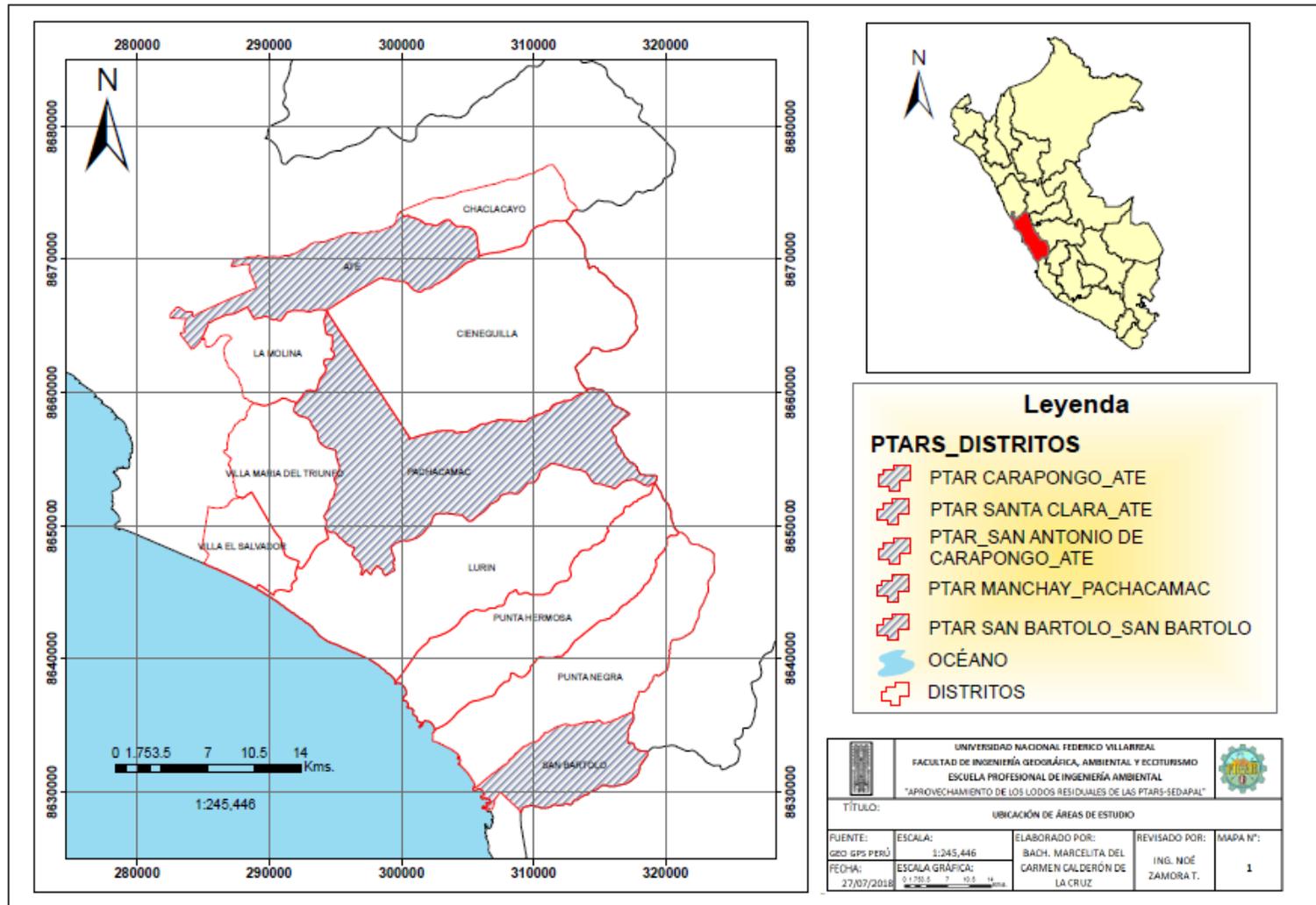
4.1.- LOCALIZACION DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las cinco (05) Plantas de tratamiento de aguas residuales, que son objeto de estudio de la presente investigación se encuentran localizadas entre las coordenadas $11^{\circ}52'28.34''$ y $12^{\circ}22'39.51''$ de Latitud Sur y $76^{\circ}5'5.92''$ y $76^{\circ}37'15.96''$ de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. El área de estudio limita por el norte con San Juan de Lurigancho y Carabaylo; por el sur con Santa María del Mar, Pucusana y la Provincia de Cañete; por el este con la Provincia de Huarochirí y por el oeste con el Océano Pacífico. Véase Mapa N°01.

SEDAPAL es una empresa estatal de derecho privado, íntegramente de propiedad del Estado, constituida como Sociedad Anónima, a cargo del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, con autonomía técnica, administrativa, económica y financiera, cuyo ámbito de atención comprende los distritos de Lima y del Callao. Ubicada en la Av. Ramiro Prialé N° 210 en el distrito de El Agustino, cuyo objetivo es brindar el servicio de agua potable, alcantarillado, tratamiento y reúso de aguas residuales con altos estándares de calidad para satisfacer las necesidades de la población atendida por Sedapal".

Cuenta con 19 plantas de tratamiento de aguas residuales dentro del ámbito de Lima y Callao con diferentes procesos de tratamiento tales como sistemas anaerobios –aerobios, lodos activados, lagunas aireadas, lagunas de oxidación, filtro percolador, lagunas facultativas y lagunas de pulimento; pero como se menciona en el primer párrafo el objeto de estudio de la presente tesis es cinco (05) plantas de tratamiento de aguas residuales, cuyo proceso de tratamiento es lodos activados.

Ubicación de las áreas de estudio



RESULTADOS

A continuación, se describen las PTARs de SEDAPAL que son objeto de estudio de la presente tesis. Véase la Tabla N°14:

- PTAR Carapongo
- PTAR Santa Clara
- PTAR San Antonio de Carapongo
- PTAR Manchay
- PTAR San Bartolo Sur

Tabla N°14: PTARs de estudio (05)

PTAR	Dirección	Tratamiento	Caudal de diseño (l/s)
Balneario San Bartolo Sur	Av. Cruz de Hueso en el Sector denominado Peñascal - Lurín	Lodos activados	24.3
San Antonio de Carapongo	Parcela 2ª Ex fundo Carapongo, Urbanización San Antonio de Carapongo- Lurigancho Chosica		134
Carapongo	Carretera Central S/N. Alt Km. 17.5 Carretera Central- Ate Vitarte		140
Santa Clara	Margen Izquierda del río Rímac, altura del Km. 10.5 de la Carretera Central- Ate Vitarte		437.81
Manchay	Av Victor Malasquez. Alt. Km 10.5 del sector Santa Rosa, en Manchay- Pachacamac		60

Fuente: Elaboración propia

5.1. DESCRIBIR LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LAS CINCO (05) PTARS DE LA EMPRESA SEDAPAL, QUE SON ÁMBITO DE ESTUDIO DE LA PRESENTA TESIS.

5.1.1. PTAR CARAPONGO:

UBICACIÓN

La Planta de tratamiento de aguas residuales – Carapongo, se ubica en la margen izquierda del río Rímac a la altura del km. 17 ½ de la Carretera Central, en el sector de Carapongo, distrito de Ate Vitarte, provincia y departamento de Lima. Ver Mapa N°02.

El área de estudio de la PTAR Carapongo, tiene la siguiente ubicación política:

- **Departamento:** Lima
- **Provincia:** Lima
- **Distrito:** Ate – Vitarte

LOCALIZACIÓN

Coordenadas UTM de la PTAR Carapongo:

- **Coordenadas UTM Norte:** 8673160.04
- **Coordenadas UTN Este:** 299960.32

A continuación, se presenta el diagrama y algunas fotografías del proceso de tratamiento de la PTAR Carapongo. Véase Diagrama N°07 y las Fotografías N°01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10 y 11.

Ubicación de la PTAR Carapongo

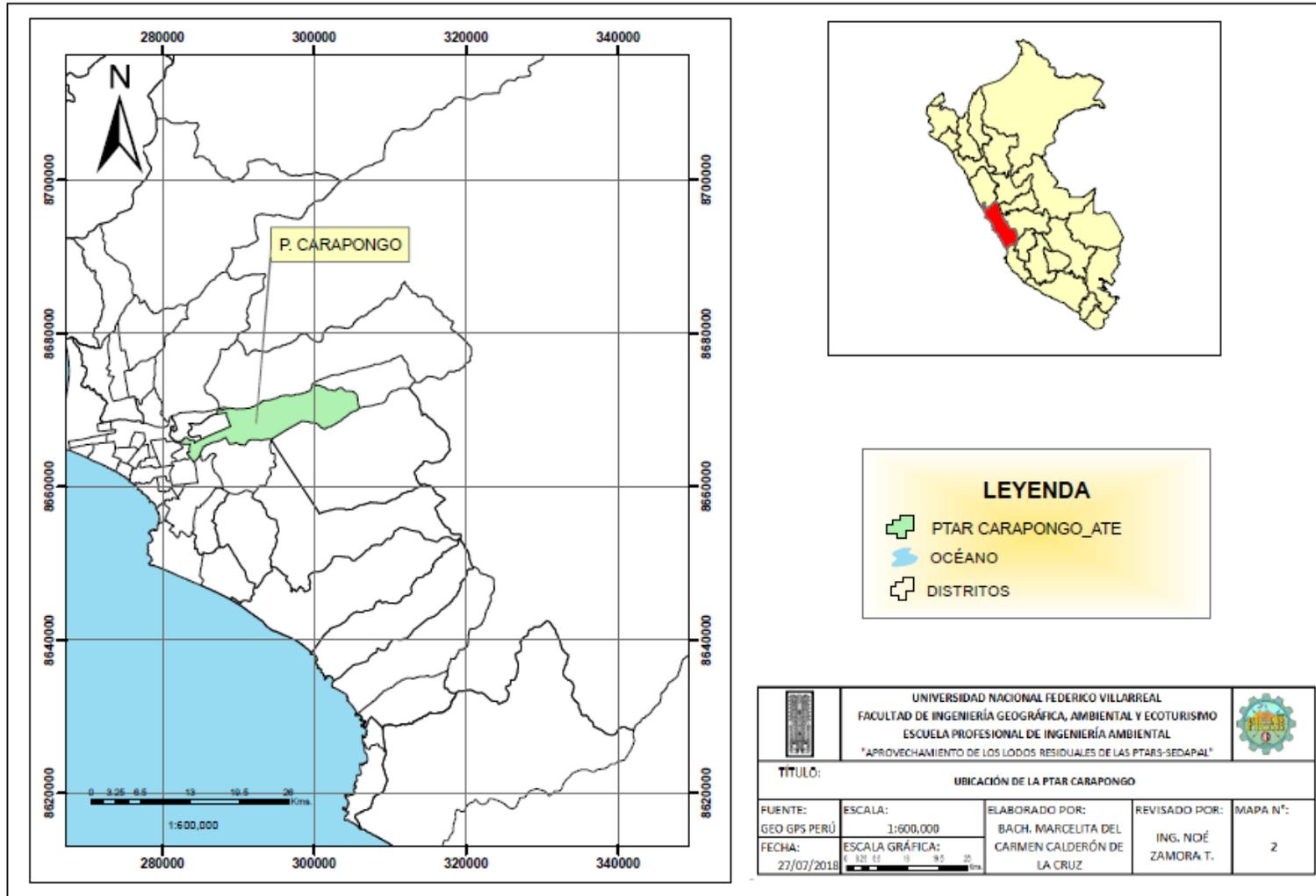
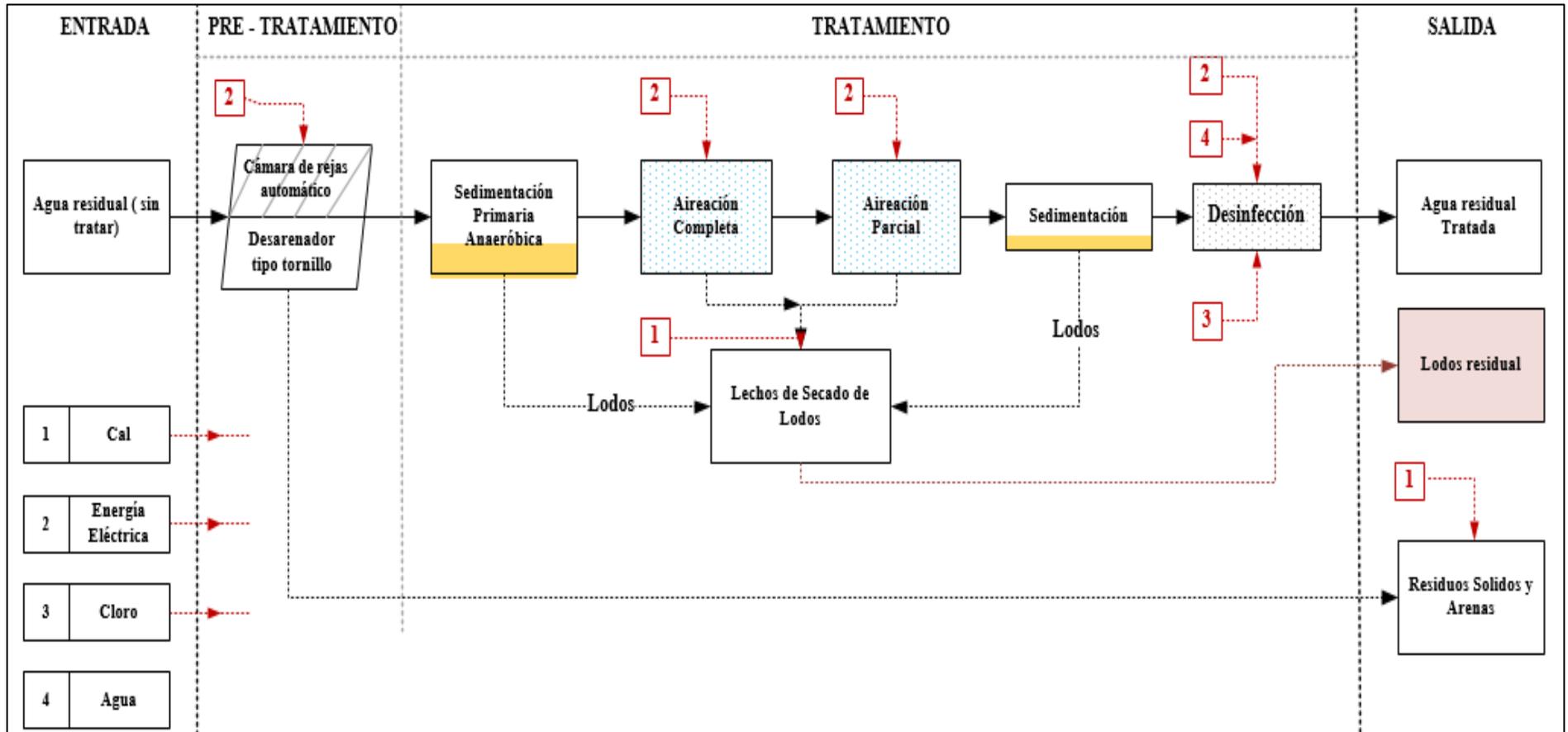


Diagrama N°07: Flujo del proceso de tratamiento de la PTAR Carapongo



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°01: Compuerta (manual y automatizada)



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°02: Rejas automáticas



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°03: Compactadora



Compactadora de abre y cierre: comprime los sólidos que vienen de la cámara de rejas. Cuenta con un tornillo sin fin en el cual caen los sólidos y los envía hacia la línea de descarga.

Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°04: Desarenador



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°05: Caudalímetro



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°06: Laguna anaerobia



Fuente: Elaboración propia

El agua desarenada es conducida por un canal abierto, el cual tiene una bifurcación con compuertas manuales que encauzan los desagües a la laguna anaerobia. En caso la unidad se encuentre en mantenimiento, con el movimiento de las compuertas se deriva el agua hacia las lagunas aireadas.

Fotografía N°07: Lagunas aireadas de mezcla completa



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°08: Laguna secundaria de mezcla parcial



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°09: Desarenadores



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°10: Cámara de contacto de cloro



Fuente: Elaboración propia

Se forma una espuma rojiza por el agua industrial que ingresa, para ello se ha colocado un dispersor de agua; y así minimizar el volumen de espuma.

Fotografía N°11: Lecho de secado



Los lodos son deshidratados durante 5-6 meses. Los volquetes descargan con una geomembrana para que no haya contacto con el suelo.

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. PTAR SANTA CLARA:

UBICACIÓN

La Planta de tratamiento de aguas residuales – Santa Clara, se ubica en la margen izquierda del río Rímac, altura del Km. 10.5 de la Carretera Central. Distrito de Ate Vitarte, provincia y departamento de Lima. Véase Mapa N°03.

El área de estudio de la PTAR Santa Clara tiene la siguiente ubicación política:

- **Departamento:** Lima
- **Provincia:** Lima
- **Distrito:** Ate – Vitarte

LOCALIZACIÓN

Coordenadas UTM de la PTAR Santa Clara:

- **Coordenadas UTM Norte:** 8671400
- **Coordenadas UTN Este:** 294200

A continuación, se presenta el diagrama y algunas fotografías del proceso de tratamiento de la PTAR Santa Clara. Véase Diagrama N°08 y las Fotografías N°12, 13 y 14.

Ubicación de la PTAR Santa Clara

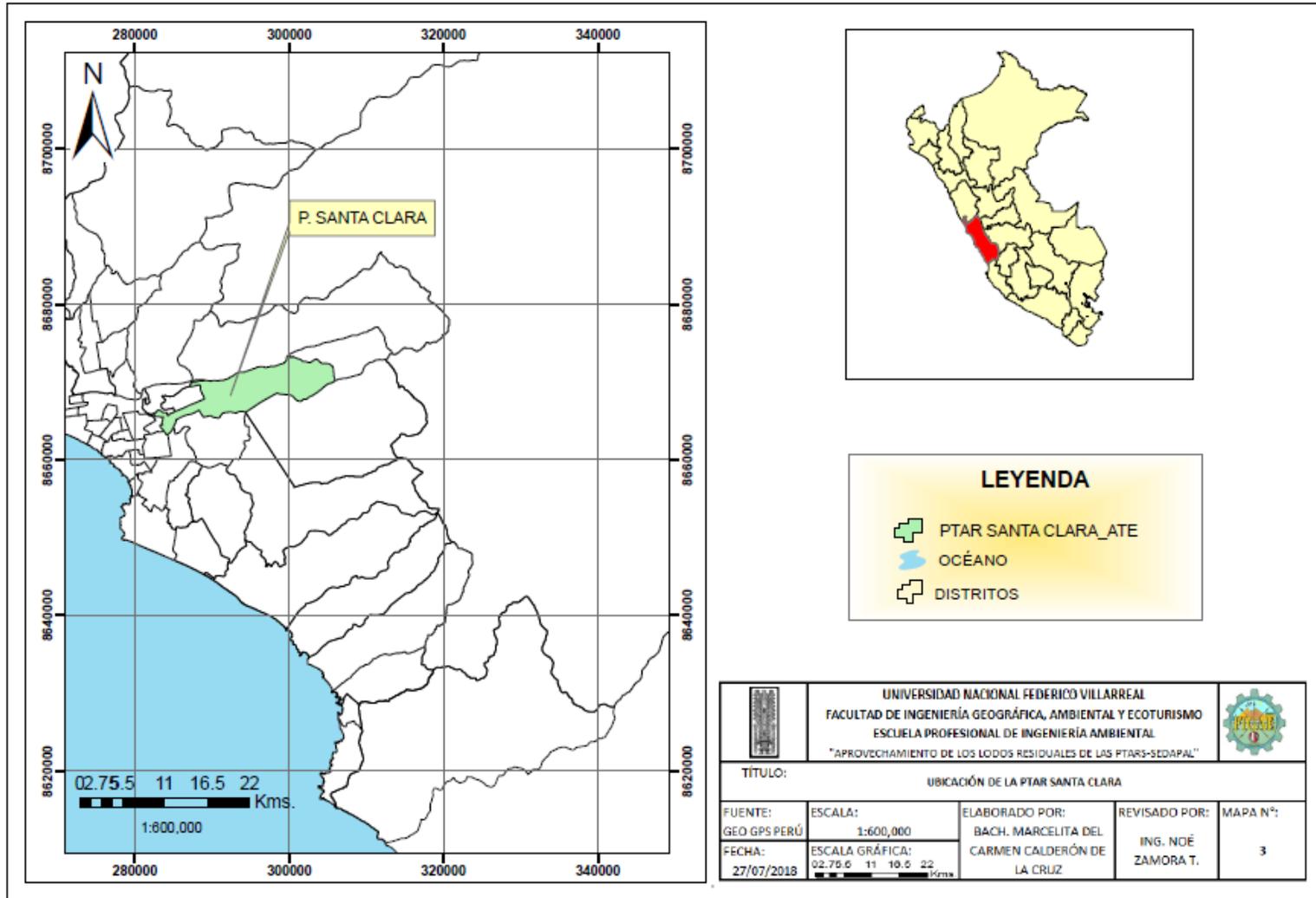
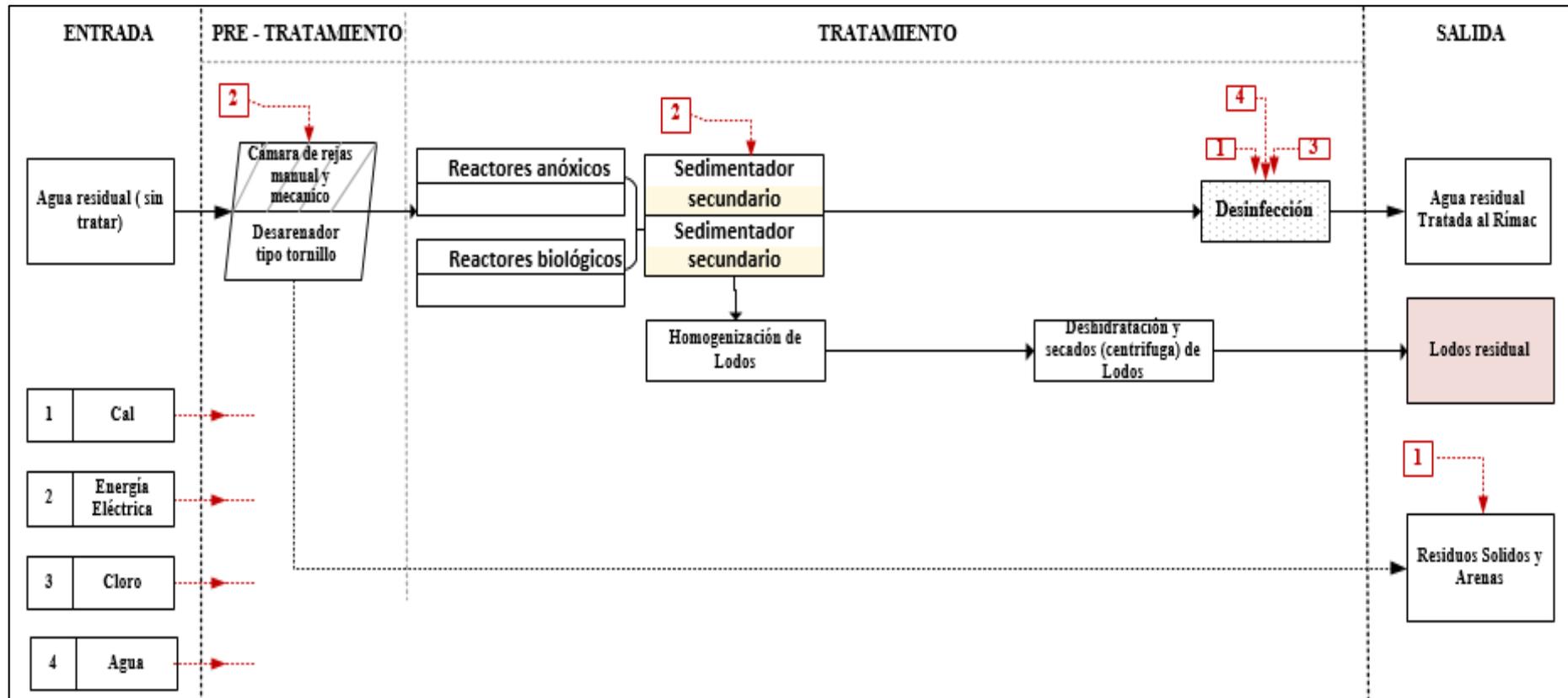


Diagrama N°08: Flujo del proceso de tratamiento de la PTAR Santa Clara



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°12: Pre tratamiento de la PTAR Santa Clara



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N°13: Espesador de Lodos PTAR Santa Clara



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N°14: Lodo deshidratado de la PTAR Santa Clara



Fuente: Elaboración Propia

5.1.3. PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO:

UBICACIÓN

La Planta de tratamiento de aguas residuales – San Antonio de Carapongo, se ubica a la altura de la Autopista Ricardo Palma, en la margen derecha del río Rímac; a 100 metros de la Urbanización San Antonio de Carapongo. Véase Mapa N°04.

El área de estudio de la PTAR San Antonio de Carapongo tiene la siguiente ubicación política:

- **Departamento:** Lima
- **Provincia:** Lima
- **Distrito:** Ate – Vitarte

LOCALIZACIÓN

Coordenadas UTM de la PTAR San Antonio de Carapongo:

- **Coordenadas UTM Norte:** 8671904.79
- **Coordenadas UTN Este:** 296163.92

A continuación, se presenta el diagrama y algunas fotografías del proceso de tratamiento de la PTAR San Antonio de Carapongo. Véase Diagrama N°09 y las Fotografías N°15, 16, 17 y 18.

Ubicación de la PTAR San Antonio de Carapongo

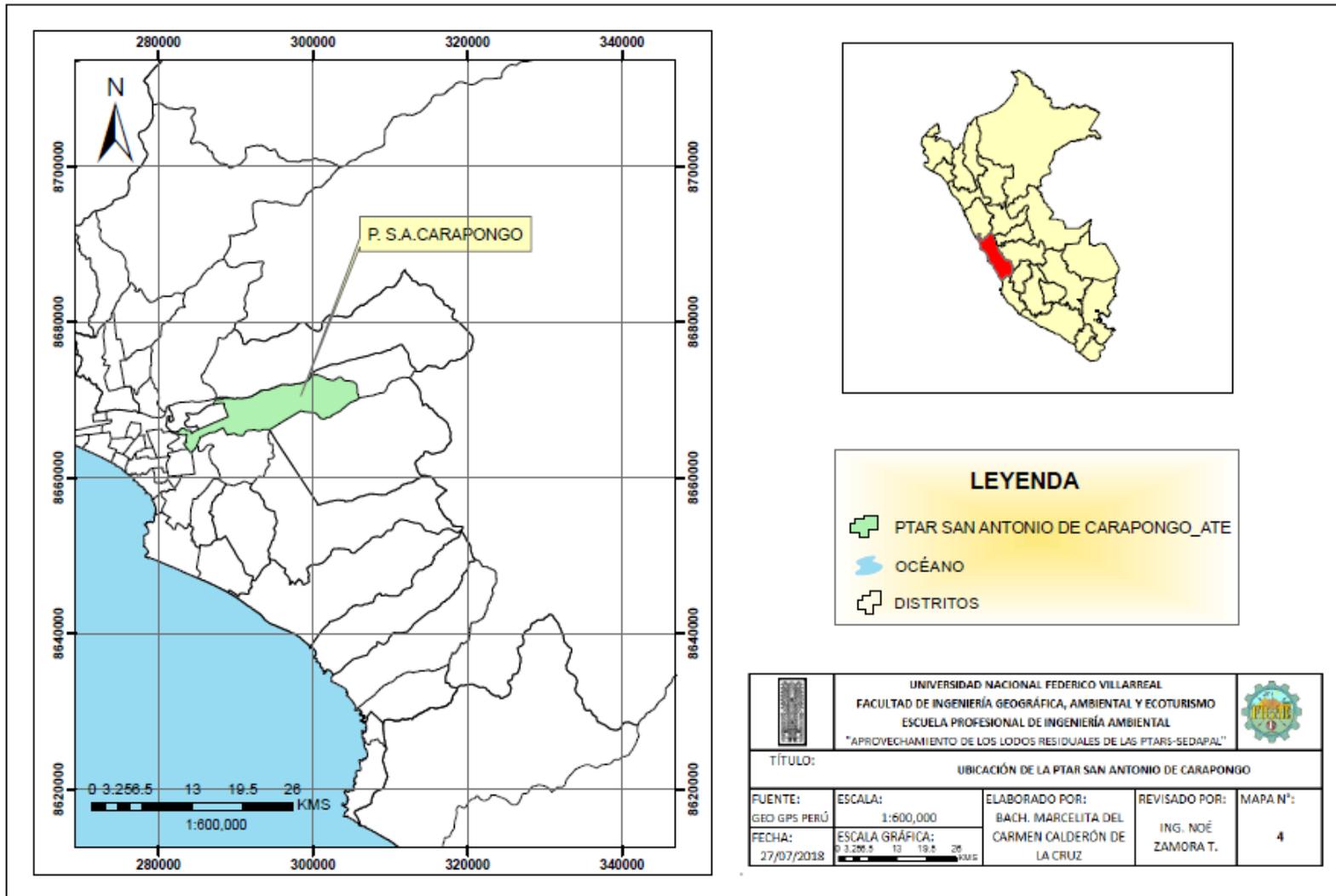
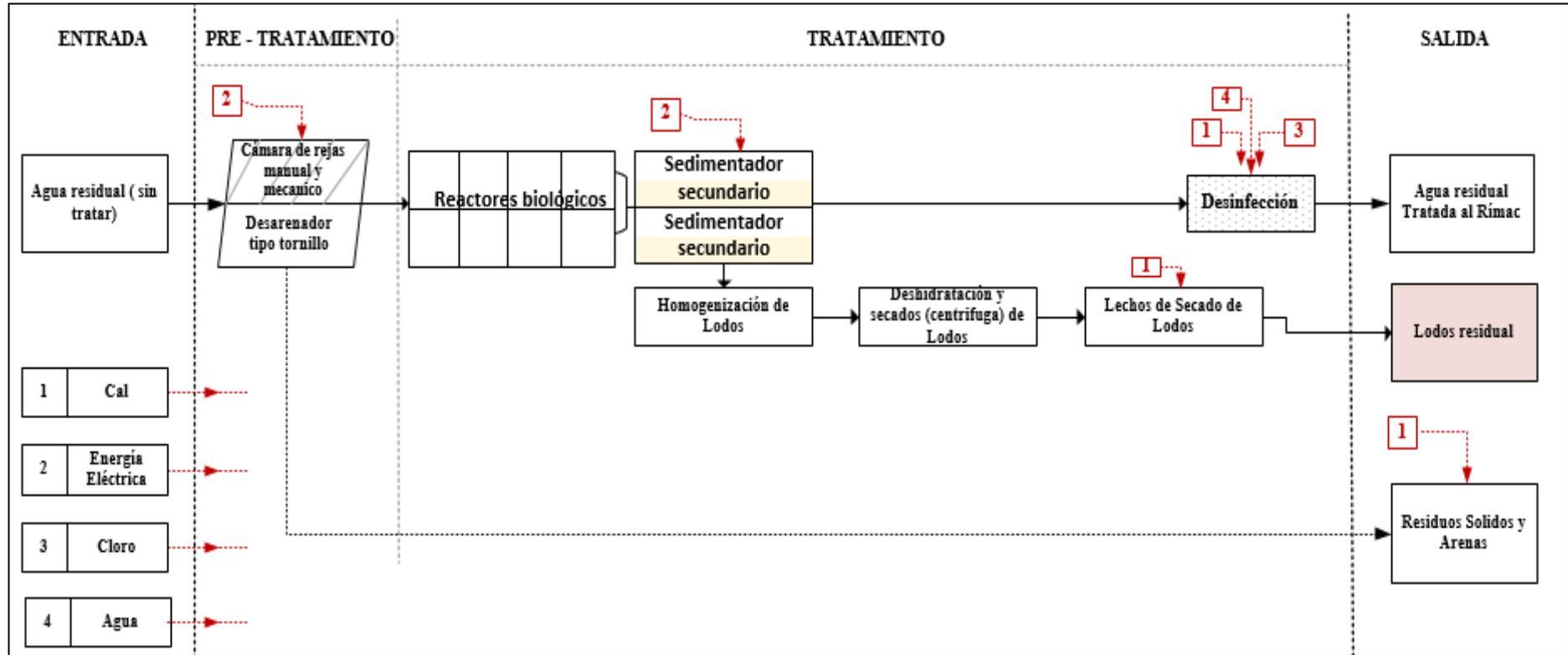


Diagrama N°09: Flujo del proceso de tratamiento de la PTAR San Antonio de Carapongo



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°15: Reactor de la PTAR S.A. Carapongo



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N°16: Recolección de lodos PTAR S.A.Carapongo



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N°17: Deshidratación de lodos PTAR S.A.Carapongo



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°18: Lecho de Secado de la PTAR S.A.Carapongo



Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

5.1.4. PTAR MANCHAY:

UBICACIÓN

La Planta de tratamiento de aguas residuales – Manchay, se ubica en la Avenida Víctor Malasquez, a la altura del Km. 10.5 del sector Santa Rosa, en Manchay. Distrito de Pachacamac, provincia y departamento de Lima. Véase el Mapa N°05.

El área de estudio de la PTAR Manchay tiene la siguiente ubicación política:

- **Departamento:** Lima
- **Provincia:** Lima
- **Distrito:** Pachacamac

LOCALIZACIÓN

Coordenadas UTM de la PTAR Manchay:

- **Coordenadas UTM Norte:** 8654220.18
- **Coordenadas UTN Este:** 296936.68

A continuación, se presenta el diagrama y algunas fotografías del proceso de tratamiento de la PTAR Manchay. Véase el Diagrama N°10 y las Fotografías N°19 y 20.

-

Ubicación de la PTAR Manchay

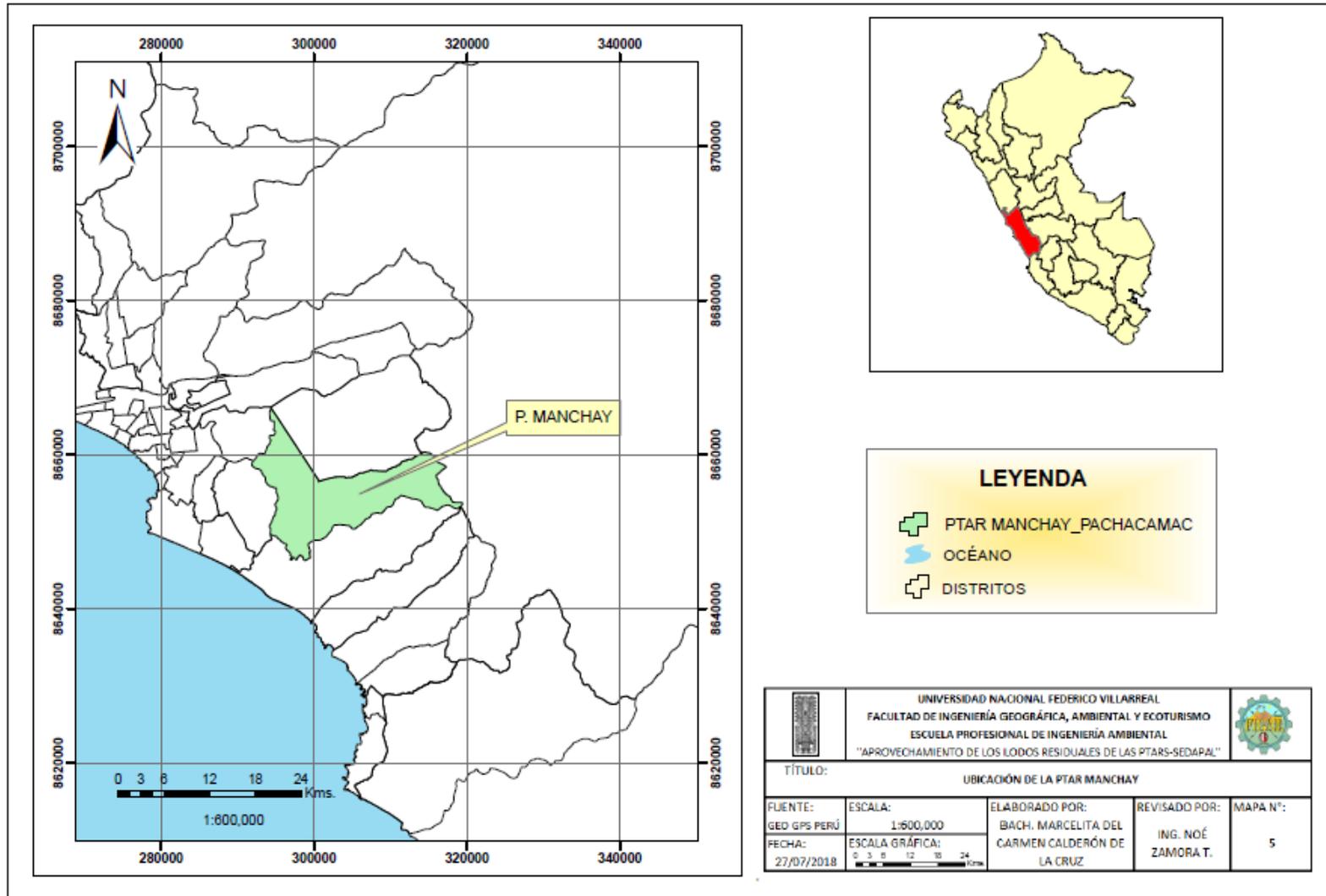
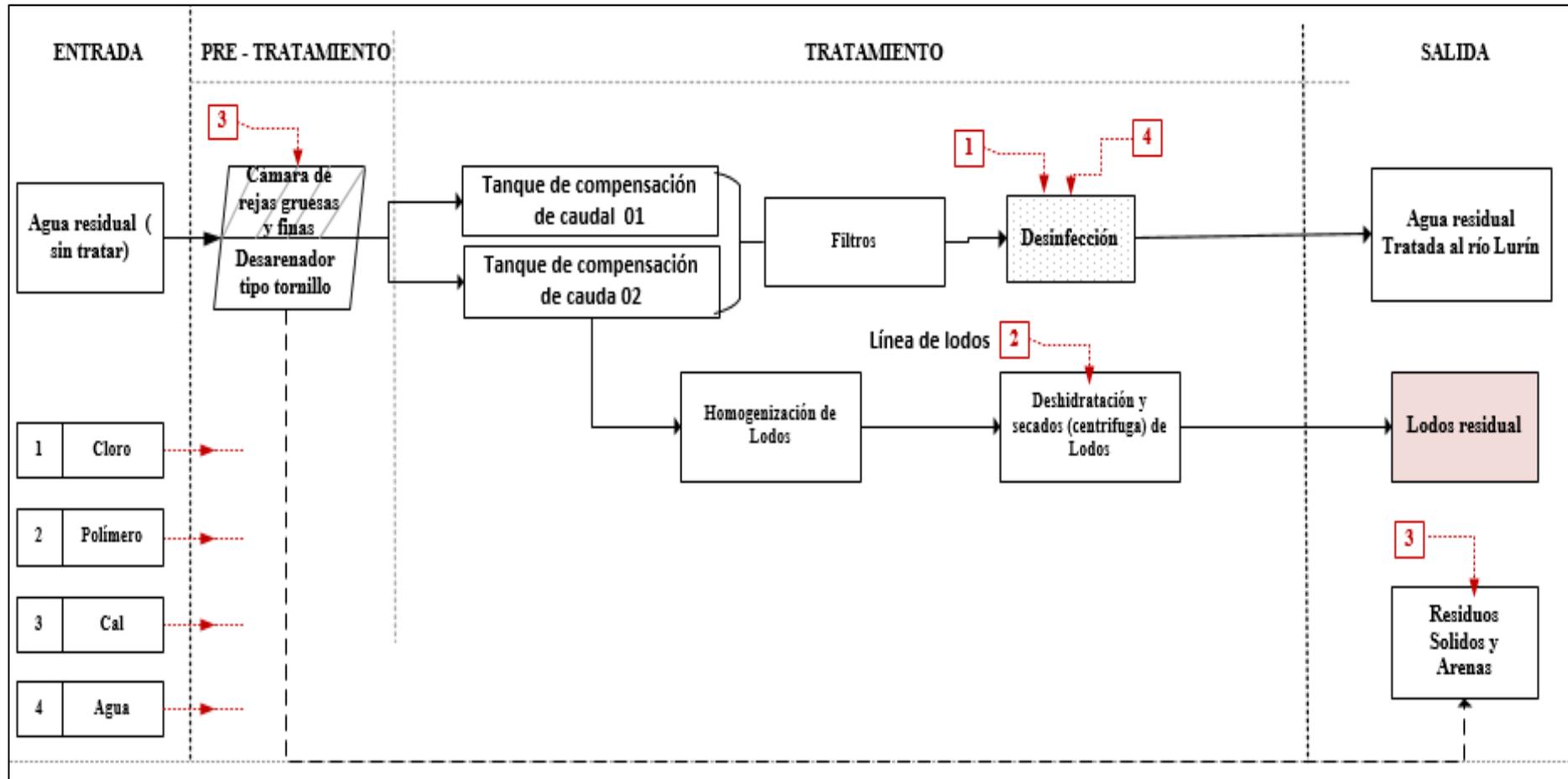


Diagrama N°10: Flujo del proceso de tratamiento de la PTAR Manchay



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°19: Pre Tratamiento de Lodos PTAR Manchay



Fuente: Elaboración Propia

Fotografía N°20: Tratamiento de Lodos PTAR Manchay



Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

5.1.5. PTAR SAN BARTOLO SUR

UBICACIÓN

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales –San Bartolo Sur, se encuentra ubicada entre el Malecón José de San Martín y la avenida Los Vientos, en el distrito de San Bartolo, Provincia y Departamento de Lima. Véase el Mapa N°06.

El área de estudio de la PTAR San Bartolo Sur tiene la siguiente ubicación política:

- **Departamento:** Lima
- **Provincia:** Lima
- **Distrito:** San Bartolo

LOCALIZACIÓN

Coordenadas UTM de la PTAR San Bartolo Sur:

- **Coordenadas UTM Norte:** 8629659.07
- **Coordenadas UTN Este:** 306329.92

A continuación, se presenta el diagrama y algunas fotografías del proceso de tratamiento de la PTAR San Bartolo Sur. Véase el Diagrama N°11 y las Fotografías N°21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 y 28.

Ubicación de la PTAR San Bartolo Sur

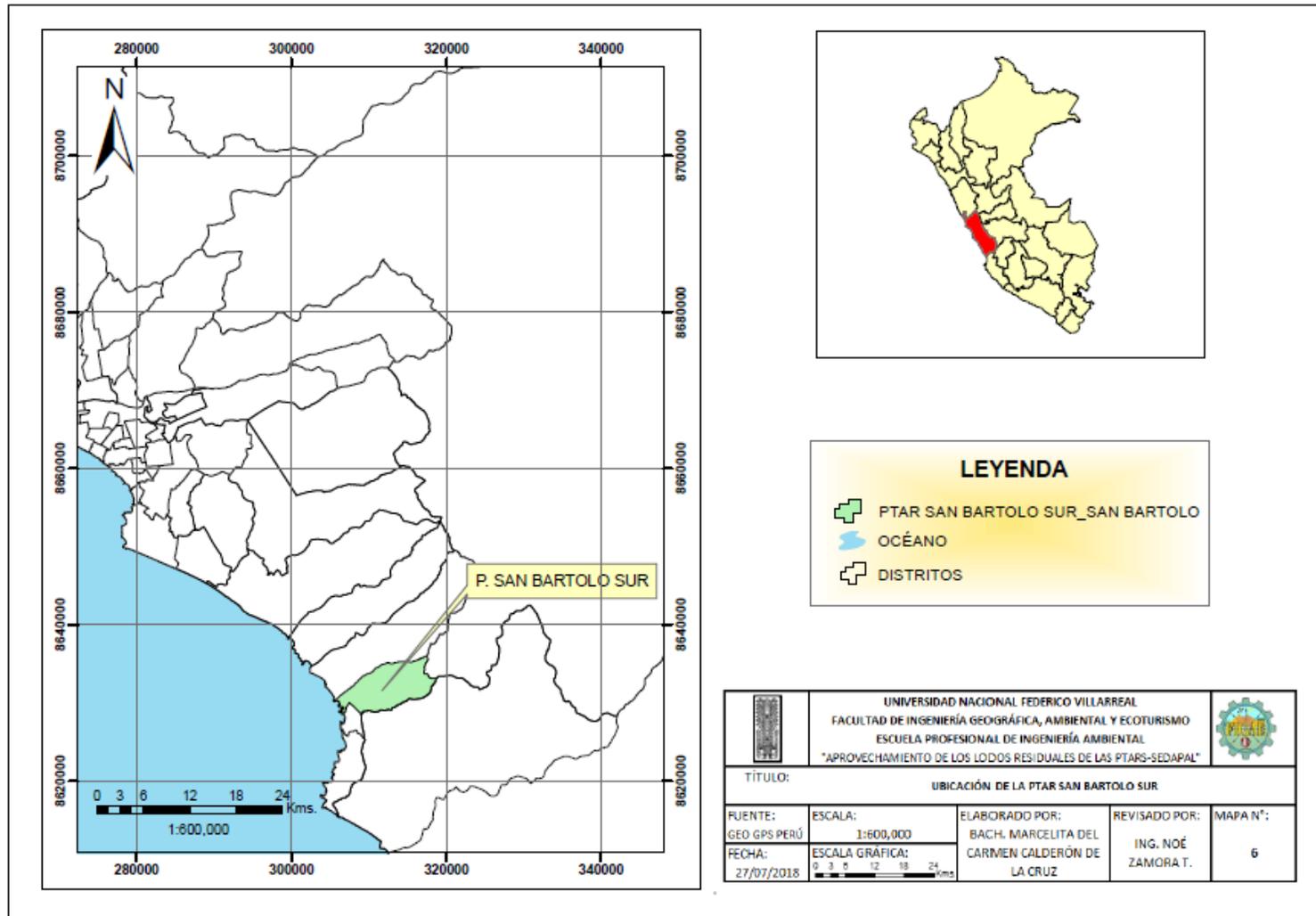
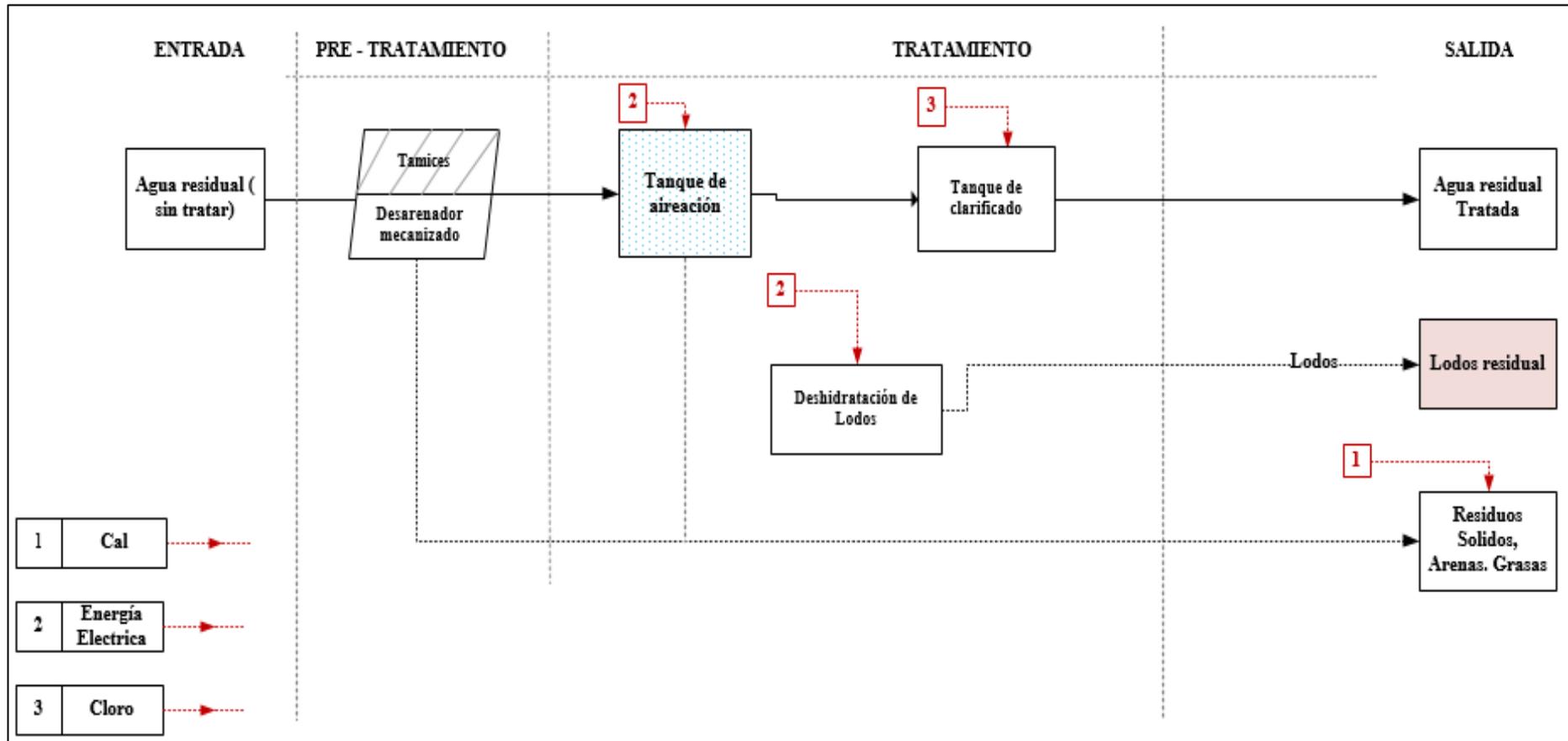


Diagrama N°11: Flujo del proceso de tratamiento de la PTAR San Bartolo Sur



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°21: Tratamiento preliminar



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°22: Medidor de caudal



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°23: Desarenador



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°24: Tanques de aireación



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°25: Digestor de lodos



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°26: Formación de flóculos



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°27: Tanque de polímero



Fuente: Elaboración propia

Fotografía N°28: Lodo deshidratado



Fuente: Elaboración propia

5.2. DETERMINAR LA COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LOS LODOS PROVENIENTES DE LAS CINCO (05) PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La determinación se realizará mediante un análisis comparativo de un marco normativo internacional, tales como, la Resolución de Brasil (2006), el Reglamento de Chile (2009) y Directiva del Consejo de 1986, 86/278/CEE a fin de caracterizarlos acorde a la metodología comparada; teniendo en cuenta que dichas normativas regulan el manejo de lodos residuales (generados en plantas de tratamiento de aguas residuales) y no biosólidos (según NOM-004-SEMARNAT-2002, considera como biosólido a los *“lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento”*).

A continuación, se adjuntan tablas y gráficas estadísticas en las cuales se podrá visualizar los resultados obtenidos de los parámetros, que son objeto de estudio de la presente investigación.

5.2.1. RESULTADOS DE ALGUNOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, TALES COMO:

A. CAUDAL DE DISEÑO VERSUS CAUDAL TRATADO (2013 Y 2015) DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A continuación se presentan las Tablas N°15 y 16 y las Gráficas N°01 y 02, donde se visualiza los resultados del caudal tratado de los años 2013 y 2015 respectivamente.

Tabla N°15: Caudal tratado 2013 (l/s)

PTARs	Caudal tratado en el 2013 (l/s)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio	Diseño
1 Carapongo	455.81	465.12	412.74	402.55	378.40	369.64	368.71	364.60	367.13	319.08	326.44	352.32	381.88	140
2 San Antonio de Carapongo	58.73	63.96	72.59	70.00	69.55	68.39	87.99	90.92	93.48	92.36	93.48	93.38	79.57	134
3 Manchay	31.87	35.21	34.82	36.80	34.22	32.48	30.09	29.53	33.53	30.91	31.61	34.23	32.94	60
4 Santa Clara	-	-	-	-	-	-	95.80	139.86	152.50	142.85	149.34	157.29	69.80	437.81
5 Bañeario S.Bartolo Sur	9.22	9.70	9.12	7.45	7.32	7.53	7.12	7.28	7.25	6.93	7.77	7.95	7.89	24.3
Total Caudal Tratado (l/s)	555.63	573.99	529.27	516.80	489.49	478.04	589.71	632.19	653.89	592.13	608.64	645.17		

PTAR:Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

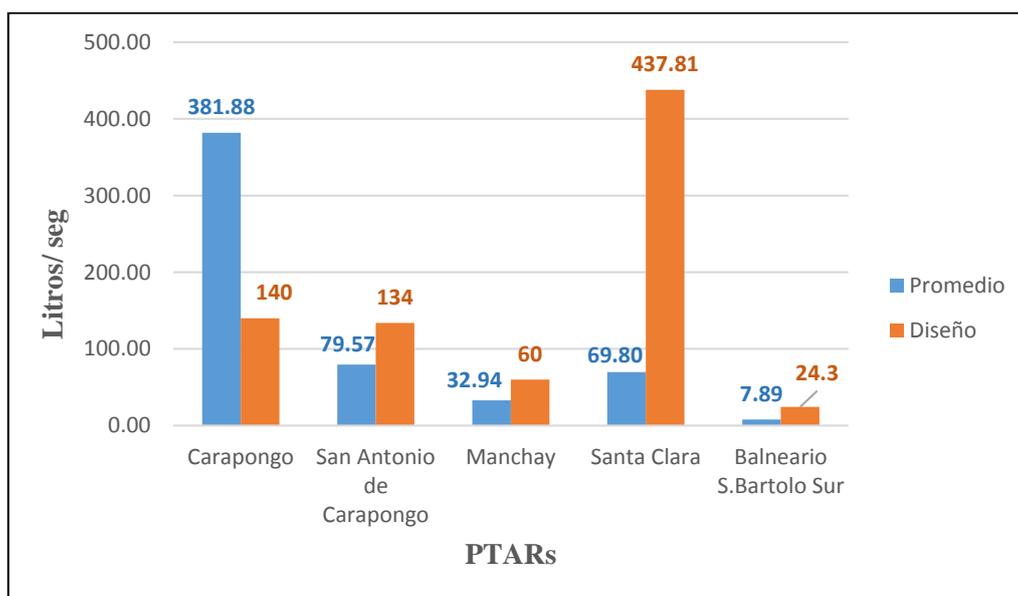
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°16: Caudal tratado 2015 (l/s)

PTARs	Caudal tratado en el 2015 (l/s)													
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio	Diseño
1 Carapongo	320.26	349.66	354.37	293.12	285.77	292.43	298.37	308.52	303.38	285.72	281.3	305.67	306.55	140
2 San Antonio de Carapongo	79.21	83.93	93.00	88.55	87.80	83.62	82.52	81.79	82.96	84.08	83.79	84.82	84.67	134
3 Manchay	40.91	40.22	42.24	41.16	37.98	42.52	37.89	40.80	43.82	41.74	40.25	50.12	41.64	60
4 Santa Clara	177.29	181.07	186.59	182.52	181.61	182.16	181.29	179.38	183.19	186.99	188.68	194.92	183.81	437.81
6 Bañeario San Bartolo Sur	11.63	11.00	10.00	8.86	9.74	9.10	8.93	8.44	9.10	10.12	9.88	10.60	9.78	24.3
Total Caudal Tratado (l/s)	629.30	665.88	686.21	614.21	602.90	609.83	609.00	618.93	622.45	608.65	603.90	646.13		

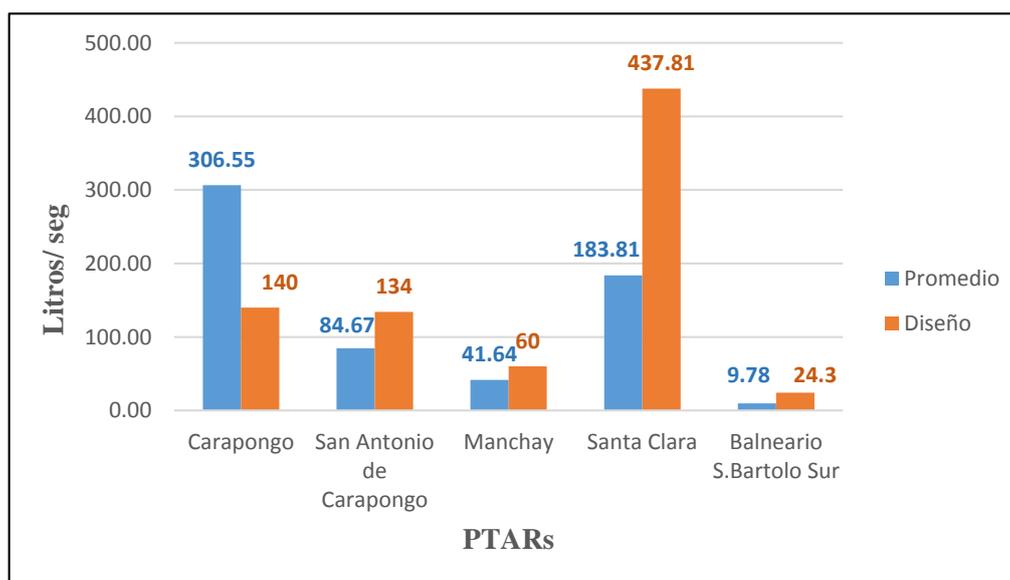
Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°01: Caudal de diseño vs caudal tratado 2013 (l/s)



Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°02: Caudal de diseño vs caudal tratado 2015 (l/s)



Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos, se observa que dos (02) PTARs presentan valores de caudal tratado en litros por segundo (l/s) mayores a los de su caudal de diseño, siendo estas la PTAR Carapongo (381.88 l/s y 306.55 l/s en el 2013 y 2015 respectivamente sobre un caudal de diseño de 140 l/s); lo cual indica que operan en sobrecarga.

B. DQO (MG/L) ENTRADA VERSUS DQO SALIDA DEL PROCESO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A continuación, en la Tabla N°17, se visualiza los resultados obtenidos de DQO de los años 2013 y 2015.

Tabla N°17: Resultados de DQO (mg/l) de entrada y salida del 2013 y 2015

PTAR	DQO (mg/l) entrada	DQO (mg/l) salida
	2013	
Manchay	1573.00	138.92
Santa Clara	1404.86	151.14
San Antonio de Carapongo	0.00	0.00
San Bartolo Sur	937.42	362.00

Fuente: Elaboración propia

PTAR	DQO (mg/l) entrada	DQO (mg/l) salida
	2015	
Manchay	1367.50	188.50
Santa Clara	1277.67	200.50
San Antonio de Carapongo	618.67	147.75
San Bartolo Sur	1181.17	180.83

Fuente: Elaboración propia

Tanto para el año 2013 y 2015 se han obtenido valores por debajo de los 400 mg/l, representando una carga orgánica baja; tal como lo expone Lazcano C. 2014, en su libro Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales.

C. DBO (MG/L) ENTRADA VERSUS DBO SALIDA DEL PROCESO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A continuación, en la Tabla N°18 y Gráfica N°03, se visualiza los resultados obtenidos de DBO de los años 2013 y 2015.

Tabla N°18: Resultados de DBO (mg/l) de entrada y salida (2013 y 2015)

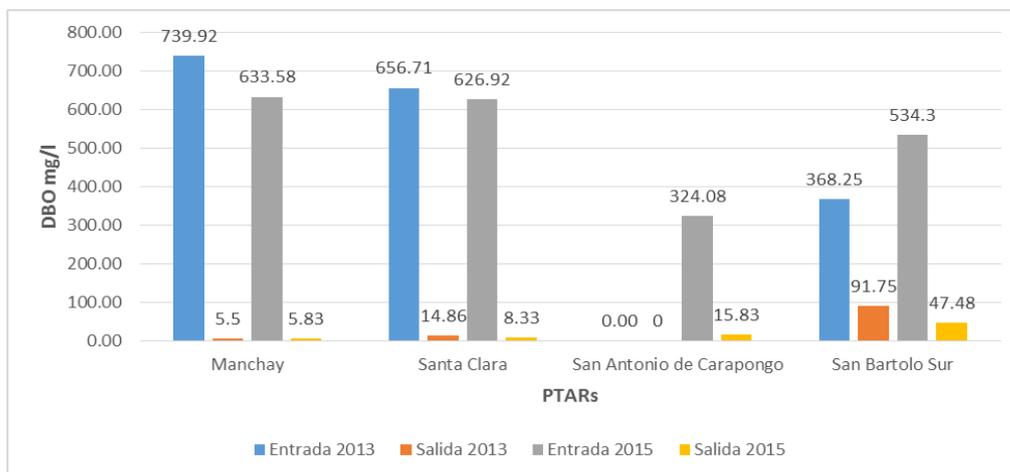
PTAR	DBO (mg/l) entrada	DBO (mg/l) salida
	2013	
Manchay	739.92	5.5
Santa Clara	656.71	14.86
San Antonio de Carapongo	0.00	0
San Bartolo Sur	368.25	91.75

Fuente: Elaboración propia

PTAR	DBO (mg/l) entrada	DBO (mg/l) salida
	2015	
Manchay	633.58	5.83
Santa Clara	626.92	8.33
San Antonio de Carapongo	324.08	15.83
San Bartolo Sur	534.3	47.48

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°03: Resultados de DBO (mg/l) de entrada y salida (2013 y 2015)



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica mostrada, se visualiza que el porcentaje de remoción de las PTARs de estudio son altos, obteniéndose valores de remoción por encima del 90%; tanto para 2013 y 2015. Lo cual quiere decir que se ha removido la materia orgánica y por tanto la biomasa.

5.2.2. RESULTADOS DEL LODO RESIDUAL:

A. PH DEL LODO RESIDUAL

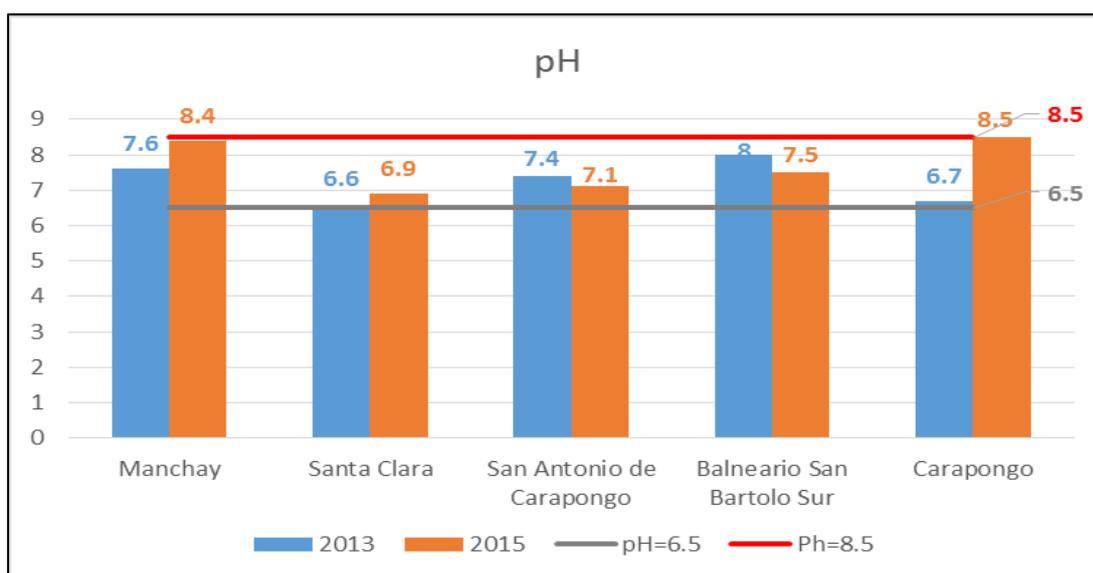
A continuación, en la Tabla N°19 y Gráfica N°04, se visualiza los resultados obtenidos de pH de los años 2013 y 2015.

Tabla N°19: pH del lodo residual de los años 2013 y 2015

	PTAR	pH	
		2013	2015
1	Manchay	7.6	8.4
2	Santa Clara	6.6	6.9
3	San Antonio de Carapongo	7.4	7.1
4	Balneario San Bartolo Sur	8	7.5
5	Carapongo	6.7	8.5

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°04: pH del lodo residual de los años 2013 y 2015



Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos tanto del 2013 como del 2015, se puede visualizar que estos valores se encuentran en el rango 6.6 a 8.5; lo cual indica un pH ligeramente alcalino, en otras palabras, es un pH apto para la existencia de vida acuática y concuerda con el tipo de tratamiento (biológico) de las PTARs de estudio.

B. RESULTADO DE LOS METALES EN EL LODO RESIDUAL

Se determinó la presencia de metales pesados tales como As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn; definiéndose los parámetros de las normativas internacionales, cabe indicar que en algunas legislaciones no incluye el análisis de estos.

Arsénico: Véase la Tabla N°20 y 21.

Tabla N°20: Valores límites de arsénico en lodo residual

PTAR	NORMA CHILENA (mg/kg) Concentración máxima de ST (materia seca)		NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEA (mg/kg)
	SUELOS QUE CUMPLEN LOS REQUISITOS	SUELOS DEGRADADOS	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	LÍMITE DE CONCENTRACIÓN
Manchay	20	40	41	N.A
Santa Clara	20	40	41	N.A
San Antonio de Carapongo	20	40	41	N.A
Carapongo	20	40	41	N.A
San Bartolo Bañeario Sur	20	40	41	N.A

Fuente: Adaptado de la normativa Chilena, 2009; Europea, 1986 y Brasilera 2006

Tabla N°21: Resultado del arsénico en el lodo residual (2013 y 2015)

PTAR	VALOR OBTENIDO DE ARSÉNICO mg/kg	
	2013	2015
Manchay	<0.05	8.00
Santa Clara	184.43	8.80
San Antonio de Carapongo	<0.05	3.50
Carapongo	12.23	3.30
San Bartolo Bañeario Sur	<0.05	3.50

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N°20 y 21, se visualiza que en el 2015 la PTAR Santa Clara registró valores por encima de lo establecido por las normativas de carácter de estudio de la presente investigación, como es la normativa chilena y la normativa brasilera.

Cadmio: Véase la Tabla N°22 y 23.

Tabla N°22: Valores límites de Cadmio en lodo residual

PTAR	NORMA CHILENA (mg/kg) Concentración máxima de ST (materia seca)		NORMA BRASILEIRA (mg/kg)	NORMA EUROPEA (mg/kg)	
	SUELOS QUE CUMPLEN LOS REQUISITOS	SUELOS DEGRADADOS	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	LÍMITE DE CONCENTRACIÓN	
Manchay	20	40	41	20	40
Santa Clara	20	40	41	20	40
San Antonio de Carapongo	20	40	41	20	40
Carapongo	20	40	41	20	40
San Bartolo Balneario Sur	20	40	41	20	40

Fuente: Adaptado de la normativa Chilena, 2009; Europea, 1986 y Brasileira 2006

Tabla N°23: Resultado del Cadmio en el lodo residual (2013 y 2015)

PTAR	VALOR OBTENIDO CADMIO mg/kg	
	2013	2015
Manchay	0.83	4.10
Santa Clara	1.25	7.90
San Antonio de Carapongo	1.17	4.10
Carapongo	6.37	4.90
San Bartolo Balneario Sur	1.25	5.10

Fuente: Elaboración propia

En las Tablas N°22 y 23, se visualiza que los valores se encuentran dentro de lo establecido por las normativas de estudio en la presente investigación.

Plomo: Véase la Tabla N°24 y 25.

Tabla N°24: Valores límites de Plomo en lodo residual

PTAR	NORMA CHILENA (mg/kg) Concentración máxima de ST (materia seca)		NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEA (mg/kg)	
	SUELOS QUE CUMPLEN LOS REQUISITOS	SUELOS DEGRADADOS	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	LÍMITE DE CONCENTRACIÓN	
Manchay	20	40	300	750	1200
Santa Clara	20	40	300	750	1200
San Antonio de Carapongo	20	40	300	750	1200
Carapongo	20	40	300	750	1200
San Bartolo Balneario Sur	20	40	300	750	1200

Fuente: Adaptado de la normativa Chilena, 2009; Europea, 1986 y Brasileira 2006

Tabla N°25: Resultado del Plomo en el lodo residual (2013 y 2015)

PTAR	VALOR OBTENIDO DE PLOMO mg/kg	
	2013	2015
Manchay	62.59	381.00
Santa Clara	<0.50	149.00
San Antonio de Carapongo	35.24	190.00
Carapongo	235.97	200.00
San Bartolo Bañeario Sur	41.04	167.00

Fuente: Elaboración propia

De los valores mostrados en las Tablas N°24 y 25, se deduce que tanto en el 2013 como en el 2015 las PTARs de estudio sobrepasan los parámetros establecidos por la normativa chilena; caso contrario sucede con la normativa europea por tener un rango m (750 -1200 mg/kg).

Cobre: Véase la Tabla N°26 y 27.

Tabla N°26: Valores límites de Cobre en lodo residual

PTAR	NORMA CHILENA (mg/kg) Concentración máxima de ST (materia seca)		NORMA BRASILEIRA CONCENTRACIÓN MÁXIMA	NORMA EUROPEA (mg/kg) LÍMITE DE CONCENTRACIÓN	
	SUELOS QUE CUMPLEN LOS REQUISITOS	SUELOS DEGRADADOS		1000	1750
Manchay	1000	1200	1500	1000	1750
Santa Clara	1000	1200	1500	1000	1750
San Antonio de Carapongo	1000	1200	1500	1000	1750
Carapongo	1000	1200	1500	1000	1750
San Bartolo Bañeario Sur	1000	1200	1500	1000	1750

Fuente: Adaptado de la normativa Chilena, 2009; Europea, 1986 y Brasileira 2006

Tabla N°27: Resultado del Cobre en el lodo residual (2013 y 2015)

PTAR	VALOR OBTENIDO DE COBRE mg/kg	
	2013	2015
Manchay	85.93	541.00
Santa Clara	1.79	620.00
San Antonio de Carapongo	107.91	289.00
Carapongo	356.57	288.00
San Bartolo Bañeario Sur	187.00	244.00

Fuente: Elaboración propia

Los lodos residuales analizados de las PTARs de estudio, tienen concentraciones de cobre por debajo de lo establecido por las normativas extranjeras de estudio.

Mercurio: Véase la Tabla N°28 y 29.

Tabla N°28: Valores límites de Mercurio en lodo residual

PTAR	NORMA CHILENA (mg/kg)		NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEA (mg/kg)	
	Concentración máxima de ST (materia seca)			CONCENTRACIÓN MÁXIMA	LÍMITE DE CONCENTRACIÓN
	SUELOS QUE CUMPLEN LOS REQUISITOS	SUELOS DEGRADADOS			
Manchay	10	20	17	16	25
Santa Clara	10	20	17	16	25
San Antonio de Carapongo	10	20	17	16	25
Carapongo	10	20	17	16	25
San Bartolo Bañeario Sur	10	20	17	16	25

Fuente: Adaptado de la normativa Chilena, 2009; Europea, 1986 y Brasileira 2006

Tabla N°29: Resultado del Mercurio en el lodo residual (2013 y 2015)

PTAR	VALOR OBTENIDO DE MERCURIO mg/kg	
	2013	2015
Manchay	0.85	7.45
Santa Clara	41.87	6.30
San Antonio de Carapongo	0.73	5.60
Carapongo	0.75	4.80
San Bartolo Bañeario Sur	1.77	3.50

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N°28 y 29 se puede visualizar, que la única PTAR que presenta valores (41.87 mg/kg y 6.30 mg/kg) por encima de lo permitido por las normativas de estudio (Chile 10 mg/kg y 20 mg/kg, Brasil 17 mg/kg, Europa 16 mg/kg y 25 mg/kg), es la PTAR Santa Clara.

Níquel: Véase la Tabla N°30 y 31.

Tabla N°30: Valores límites de Níquel en lodo residual

PTAR	NORMA CHILENA (mg/kg) Concentración máxima de ST (materia seca)		NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEA (mg/kg)	
	SUELOS QUE CUMPLEN LOS REQUISITOS	SUELOS DEGRADADOS		CONCENTRACIÓN MÁXIMA	LÍMITE DE CONCENTRACIÓN
Manchay	80	420	420	300	400
Santa Clara	80	420	420	300	400
San Antonio de Carapongo	80	420	420	300	400
Carapongo	80	420	420	300	400
San Bartolo Balneario Sur	80	420	420	300	400

Fuente: Adaptado de la normativa Chilena, 2009; Europea, 1986 y Brasileira 2006

Tabla N°21: Resultado del Níquel en el lodo residual (2013 y 2015)

PTAR	VALOR OBTENIDO DE NIQUEL mg/kg	
	2013	2015
Manchay	6.40	74.00
Santa Clara	3.49	86.50
San Antonio de Carapongo	9.89	80.60
Carapongo	54.45	79.30
San Bartolo Balneario Sur	10.52	77.40

Fuente: Elaboración propia

Los resultados mostrados en la Tabla N°30 y 31, de las PTARs de estudio presentan concentraciones por debajo de lo establecido por las normativas extranjeras de estudio (Chile 80 mg/kg y 420 mg/kg, Brasil 420 mg/kg, Europa 300 mg/kg y 400 mg/kg).

Cromo: Véase la Tabla N°32 y 33.

Tabla N°32: Valores límites de Cromo en lodo residual

PTAR	NORMA CHILENA (mg/kg) Concentración máxima de ST (materia seca)		NORMA BRASILEIRA (mg/kg)	NORMA EUROPEA (mg/kg)	
	SUELOS QUE CUMPLEN LOS REQUISITOS	SUELOS DEGRADADOS		CONCENTRACIÓN MÁXIMA	LÍMITE DE CONCENTRACIÓN
Manchay	N.A	N.A	1500	N.A	N.A
Santa Clara	N.A	N.A	1500	N.A	N.A
San Antonio de Carapongo	N.A	N.A	1500	N.A	N.A
Carapongo	N.A	N.A	1500	N.A	N.A
San Bartolo Balneario Sur	N.A	N.A	1500	N.A	N.A

Fuente: Adaptado de la normativa Chilena, 2009; Europea, 1986 y Brasileira 2006

Tabla N°33: Resultado del Cromo en el lodo residual (2013 y 2015)

PTAR	VALOR OBTENIDO DE CROMO mg/kg	
	2013	2015
Manchay	6.60	7.04
Santa Clara	193.00	3.60
San Antonio de Carapongo	11.13	3.70
Carapongo	65.65	4.90
San Bartolo Balneario Sur	17.14	7.50

Fuente: Elaboración propia

De las Tablas N°32 y 33, se visualiza que el lodo residual analizado presenta valores de cromo por debajo de las concentraciones establecidas por la normativa brasilera (1500 mg/kg).

Molibdeno: Véase la Tabla N°34 y 35.

Tabla N°34: Valores límites de Molibdeno en lodo residual

PTAR	NORMA CHILENA (mg/kg) Concentración máxima de ST (materia seca)		NORMA BRASILEIRA	NORMA EUROPEA (mg/kg)	
	SUELOS QUE CUMPLEN LOS	SUELOS DEGRADADOS	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	LÍMITE DE CONCENTRACIÓN	
Manchay	N.A	N.A	50	N.A	N.A
Santa Clara	N.A	N.A	50	N.A	N.A
San Antonio de Carapongo	N.A	N.A	50	N.A	N.A
Carapongo	N.A	N.A	50	N.A	N.A
San Bartolo Balneario Sur	N.A	N.A	50	N.A	N.A

Fuente: Adaptado de la normativa Chilena, 2009; Europea, 1986 y Brasilera 2006

Tabla N°35: Resultado del Molibdeno en el lodo residual (2013 y 2015)

PTAR	VALOR OBTENIDO DE MOLIBDENO mg/kg	
	2013	2015
Manchay	0.12	6.50
Santa Clara	0.10	4.50
San Antonio de Carapongo	0.25	2.70
Carapongo	0.12	3.10
San Bartolo Balneario Sur	0.12	2.60

Fuente: Elaboración propia

De igual forma, en las Tablas N°34 y 35 se observa que los resultados de molibdeno de las PTARs de estudio, presenta concentraciones por debajo de la normativa brasilera (50 mg/kg).

C. COLIFORMES TERMOTOLERANTES PRESENTES EN EL LODO RESIDUAL

A continuación, en la Tabla N°36 se presentan los valores límites de coliformes termotolerantes en el lodo residual y en la Tabla N°37 se presentan los resultados de coliformes termotolerantes en el 2013 y 2015.

Tabla N°36: Valores límite de Coliformes termotolerantes en lodo residual

PTAR	NORMA CHILENA (NMP/g)		NORMA BRASILEIRA (NMP/g)		NORMA EUROPEA (NMP/g)
	CLASE A	CLASE B	CLASE A	CLASE B	LÍMITE DE CONCENTRACIÓN
Manchay	<1000	<2000000	<1000	<1000000	N.A
Santa Clara	<1000	<2000000	<1000	<1000000	N.A
San Antonio de Carapongo	<1000	<2000000	<1000	<1000000	N.A
Carapongo	<1000	<2000000	<1000	<1000000	N.A
San Bartolo Balneario Sur	<1000	<2000000	<1000	<1000000	N.A

Fuente: Adaptado de la normativa Chilena, 2009; Europea, 1986 y Brasilera 2006

Tabla N°37: Resultados de los Coliformes termotolerantes presentes en el lodo residual (2013 y 2015)

PTAR	COLIFORMES TERMOTOLERANTES (NMP/g)	
	2013	2015
Manchay	54000	4900
Santa Clara	5400000	14000
San Antonio de Carapongo	16000	9000
Carapongo	<0.18	12000
San Bartolo Balneario Sur	240000	13000

Fuente: Elaboración propia

De las Tablas N°36 y 37, se puede visualizar que tanto para el 2013 como para el 2015 la PTAR Santa Clara registró concentraciones por encima de las normativas extranjeras de

estudio (Chile <1000 NMP/g, <2000000 NMP/g; Brasil <1000 NMP/g, <1000000 NMP/g); lo cual indica la presencia de coliformes termotolerantes.

D. SALMONELLA PRESENTE EN EL LODO RESIDUAL (2013 Y 2015)

A continuación, en la Tabla N°38 se presentan los valores límites de salmonella en el lodo residual y en la Tabla N°39 se presentan los resultados de salmonella en el 2013 y 2015.

Tabla N°38: Valores límites de salmonella en lodo residual

PTAR	NORMA CHILENA (NMP/4g)		NORMA BRASILEIRA (NMP/10 g)		NORMA EUROPEA
	CLASE A	CLASE B	CLASE A	CLASE B	LÍMITE DE CONCENTRACIÓ
Manchay	<3	-	Ausencia	-	-
Santa Clara	<3	-	Ausencia	-	-
San Antonio de Carapongo	<3	-	Ausencia	-	-
Carapongo	<3	-	Ausencia	-	-
San Bartolo Balneario Sur	<3	-	Ausencia	-	-

Fuente: Adaptado de la normativa Chilena, 2009; Europea, 1986 y Brasileira 2006

Tabla N°39: Resultado de Salmonella presente en el lodo residual (2013 y 2015)

PTAR	SALMONELLA AUSENCIA/PRESENCIA (Sp/25g)	
	2013	2015
Manchay	presencia	ausencia
Santa Clara	presencia	presencia
San Antonio de Carapongo	presencia	ausencia
Carapongo	presencia	ausencia
San Bartolo Balneario Sur	presencia	ausencia

Fuente: Elaboración propia

De los resultados mostrados en las Tablas N°38 y 39, se visualiza que durante el 2013 las PTARs de estudio registraron presencia de salmonella y en el 2015 la única PTAR que registró presencia de salmonella fue Santa Clara.

E. HUEVOS DE HELMINTOS PRESENTE EN EL LODO RESIDUAL (2013 Y 2015)

A continuación, en la Tabla N°40 se presentan los valores límites de huevos de helminto en el lodo residual y en la Tabla N°41 se presentan los resultados de huevos de helminto en el 2013 y 2015.

Tabla N°40: Valores límites de huevos de helminto presente en el lodo residual (2013 y 2015)

PTAR	NORMA CHILENA (N°/4g)		NORMA BRASILEIRA (N°/1g)		NORMA EUROPEA (NMP/g)
	CLASE A	CLASE B	CLASE A	CLASE B	LÍMITE DE CONCENTRACIÓN
Manchay	<1	-	<0.25	<10	-
Santa Clara	<1	-	<0.25	<10	-
San Antonio de Carapongo	<1	-	<0.25	<10	-
Carapongo	<1	-	<0.25	<10	-
San Bartolo Bañeario Sur	<1	-	<0.25	<10	-

Fuente: Adaptado de la normativa Chilena, 2009; Europea, 1986; y Brasileira, 2006

Tabla N°41: Resultado de huevos de helminto presente en el lodo residual (2013 y 2015)

PTAR	HUEVOS/4g		HUEVOS/g	
	2013	2015	2013	2015
Manchay	<4	<0.004	1	0.001
Santa Clara	20	<0.004	5	0.001
San Antonio de Carapongo	<4	<0.004	1	0.001
Carapongo	<4	<0.004	1	0.001
San Bartolo Bañeario Sur	60	<0.004	15	0.001

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N°40 y 41, se visualiza que en el 2013 tanto para las normativas chilena y brasilera registraron concentraciones de huevos de helmintos por encima de lo establecido (Chile <1 N° huevos helminto/4g, Brasil < 1 N° huevos helminto/g), caso contrario sucedió en el 2015.

5.3. DETERMINAR LA CLASE DE LODOS PROVENIENTE DE LAS CINCO (05) PTARS DE ESTUDIO.

A. METALES:

Se presentan las Tablas N°42, 43 y 44 de valores límites, resultados y resumen:

Tabla N°42: Valores límites de concentración de metales en lodo residual

METALES	NORMA CHILENA (mg/kg) Concentración máxima de ST (materia seca)		NORMA BRASILERA (mg/kg)	NORMA EUROPEA (mg/kg)	
	SUELOS QUE CUMPLEN LOS REQUISITOS	SUELOS DEGRADADOS	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	LÍMITE DE CONCENTRACIÓN	
As	20	40	41	N.A	
Cd	20	40	41	20	40
Pb	20	40	300	750	1200
Cu	1000	1200	1500	1000	1750
Hg	10	20	17	16	25
Ni	80	420	420	300	400
Cr	N.A	N.A	1500	N.A	N.A
Mo	N.A	N.A	50	N.A	N.A

Fuente: Adaptado de la normativa Chilena, 2009; Europea, 1986; y Brasileira, 2006

Tabla N°43: Resultados de concentraciones del lodo residual en las PTARs de estudio

PTARS	VALOR OBTENIDO DE ARSENICO mg/kg		VALOR OBTENIDO DE CADMIO mg/kg		VALOR OBTENIDO DE PLOMO mg/kg		VALOR OBTENIDO DE COBRE mg/kg		VALOR OBTENIDO DE MERCURIO mg/kg		VALOR OBTENIDO DE NIQUEL mg/kg		VALOR OBTENIDO DE CROMO mg/kg		VALOR OBTENIDO DE MOLIBDENO mg/kg	
	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015
Manchay	<0.05	8	0.83	4.1	62.59	381	85.93	541	0.85	7.45	6.4	74	6.6	7.04	0.12	6.5
Santa Clara	184.43	8.8	1.25	7.9	<0.5	149	1.79	620	41.87	6.3	3.49	86.5	193	3.6	0.1	4.5
San Antonio de Carapongo	<0.05	3.5	1.17	4.1	35.24	190	107.91	289	0.73	5.6	9.89	80.6	11.13	3.7	0.25	2.7
Carapongo	12.23	3.3	6.37	4.9	235.97	200	356.57	288	0.75	4.8	54.45	79.3	65.65	4.9	0.12	3.1
San Bartolo Sur	<0.05	3.5	1.25	5.1	41.04	167	187	244	1.77	3.5	10.52	77.4	17.14	7.5	0.12	2.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°44: Resumen de análisis de metales

PTARs	Normativas		As		Cd		Pb		Cu		Hg		Ni		Cr		Mo	
			13	15	13	15	13	15	13	15	13	15	13	15	13	15	13	15
PTAR Manchay	Chile	Suelos que cumplen los requisitos	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A
		Suelos degradados	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A
	Brasil	Concentración máxima	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	Europa	Límite de concentración	N.A	N.A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A
PTAR Santa Clara	Chile	Suelos que cumplen los requisitos	NC	C	C	C	C	NC	C	C	NC	C	C	NC	N.A	N.A	N.A	N.A
		Suelos degradados	NC	C	C	C	C	NC	C	C	NC	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A
	Brasil	Concentración máxima	NC	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C	C	C
	Europa	Límite de concentración	N.A	N.A	C	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A
PTAR Santa Antonio de Carapongo	Chile	Suelos que cumplen los requisitos	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	NC	N.A	N.A	N.A	N.A
		Suelos degradados	C	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A
	Brasil	Concentración máxima	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	Europa	Límite de concentración	N.A	N.A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A
PTAR Carapongo	Chile	Suelos que cumplen los requisitos	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A
		Suelos degradados	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	NA	N.A	N.A
	Brasil	Concentración máxima	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	Europa	Límite de concentración	N.A	N.A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A
PTAR San Bartolo Sur	Chile	Suelos que cumplen los requisitos	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A
		Suelos degradados	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A
	Brasil	Concentración máxima	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	Europa	Límite de concentración	N.A	N.A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A

Donde:

N.A: No aplica

NC: No cumple

C: Cumple

De los resultados obtenidos, las cinco (05) PTARs de estudio cumplen con las concentraciones de metales pesados de Cd, Cu, Ni, Cr y Mo, establecidas por las normativas extranjeras de estudio.

Sin embargo, las PTARs que incumplen las normativas extranjeras de estudio son PTARs Santa Clara (con presencia de As, Pb y Hg tanto para la normativa chilena y brasilera), Manchay (con presencia de Pb tanto para la normativa chilena y brasilera), San Antonio de Carapongo, Carapongo y San Bartolo Sur (con presencia de Pb para la normativa chilena).

La PTAR Santa Clara es la única que incumple la normativa europea por presentar mercurio en el análisis de lodo residual.

Es preciso indicar que la presencia de metales pesados en los lodos residuales, se deba probablemente a la contribución de efluentes industriales en las redes de alcantarillado.

B. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

A continuación, en la Tabla N°45, se presenta el resumen del análisis de coliformes termotolerantes.

Tabla N°45: Resumen del análisis de Coliformes Termotolerantes

PTARs	Normativas		Coliformes Termotolerantes 2013	Coliformes Termotolerantes 2015
PTAR Manchay	Chile	CLASE A	NC	NC
		CLASE B	C	C
	Brasil	CLASE A	NC	NC
		CLASE B	C	C
	Europa	N.A	N.A	N.A
PTAR Santa Clara	Chile	CLASE A	NC	NC
		CLASE B	NC	C
	Brasil	CLASE A	NC	C
		CLASE B	NC	C
	Europa	N.A	N.A	N.A
PTAR Santa Antonio de Carapongo	Chile	CLASE A	NC	NC
		CLASE B	C	C
	Brasil	CLASE A	NC	NC
		CLASE B	C	C
	Europa	N.A	N.A	N.A
PTAR Carapongo	Chile	CLASE A	C	NC
		CLASE B	C	C
	Brasil	CLASE A	C	NC
		CLASE B	C	C
	Europa	N.A	N.A	N.A
PTAR San Bartolo Sur	Chile	CLASE A	NC	NC
		CLASE B	C	C
	Brasil	CLASE A	NC	NC
		CLASE B	C	C
	Europa	N.A	N.A	N.A

Fuente: Elaboración propia

Donde:

N.A: No aplica

NC: No cumple

C: Cumple

A continuación, se listan las PTARs que clasifican como Clase A y Clase B:

- Clase A: la PTAR Carapongo cumple con las concentraciones límites establecidas por las normativas chilena y brasilera, en el año 2013. Es necesario indicar, que los lodos residuales de clase A, según la normativa chilena; son aquellos que pueden ser aplicados al suelo sin restricción, y según la normativa brasilera; los lodos de clase A son aquellos lodos residuales permitidos para aplicar directamente al suelo.
- Clase B: las PTARs Manchay, San Antonio de Carapongo, Carapongo y San Bartolo Sur cumplen con las concentraciones establecidas por las normativas chilena y brasilera; tanto para el año 2013 y 2015. No obstante, la única PTAR que no cumple con las concentraciones límites permitidas por la normativa chilena, es la PTAR Santa Clara.

Se debe tener en cuenta que, según la normativa chilena, los lodos residuales de clase B, son aquellos lodos que son aptos para aplicar al suelo; pero con restricción sanitaria según tipo y localización de los suelos y cultivos y para la normativa brasilera, los lodos de clase B; son aquellos lodos que tienen que ser evaluados sus riesgos epidemiológicos nacionales, que demuestren la seguridad de su uso.

C. SALMONELLA

A continuación, en la Tabla N°46, se presenta el resumen del análisis de salmonella.

Tabla N°46: Resumen de análisis de Salmonella

PTARs	Normativas	Salmonella 2013	Salmonella 2015	
PTAR Manchay	Chile	CLASE A	NC	C
		CLASE B	N.A	N.A
	Brasil	CLASE A	NC	C
		CLASE B	N.A	N.A
	Europa	N.A	N.A	N.A
PTAR Santa Clara	Chile	CLASE A	NC	NC
		CLASE B	N.A	N.A
	Brasil	CLASE A	NC	NC
		CLASE B	N.A	N.A
	Europa	N.A	N.A	N.A
PTAR Santa Antonio de Carapongo	Chile	CLASE A	NC	C
		CLASE B	N.A	N.A
	Brasil	CLASE A	NC	C
		CLASE B	N.A	N.A
	Europa	N.A	N.A	N.A
PTAR Carapongo	Chile	CLASE A	NC	C
		CLASE B	N.A	N.A
	Brasil	CLASE A	NC	C
		CLASE B	N.A	N.A
	Europa	N.A	N.A	N.A
PTAR San Bartolo Sur	Chile	CLASE A	NC	C
		CLASE B	N.A	N.A
	Brasil	CLASE A	NC	C
		CLASE B	N.A	N.A
	Europa	N.A	N.A	N.A

Fuente: Elaboración propia

Donde:

N.A: No aplica

NC: No cumple

C: Cumple

A continuación, se listan las PTARs que clasifican como Clase A y Clase B:

- Clase A: las PTARs Manchay, San Antonio de Carapongo, Carapongo, San Bortolo Sur, cumplen con las concentraciones límites establecidas por las normativas chilena y brasilera, en el año 2015. Cabe indicar que para el año 2013, ninguna PTAR califica en la clase A.
- Clase B: ninguna de las PTARs clasifica en la clase B.

D. HELMINTOS

A continuación, en la Tabla N°47, se presenta el resumen del análisis de huevos de helmintos.

Tabla N°47: Resumen de análisis helmintos

PTARs	Normativas	Helmintos 2013	Helmintos 2015	
PTAR Manchay	Chile	CLASE A	NC	C
		CLASE B	N.A	N.A
	Brasil	CLASE A	NC	C
		CLASE B	C	C
	Europa	N.A	N.A	N.A
	PTAR Santa Clara	Chile	CLASE A	NC
CLASE B			N.A	N.A
Brasil		CLASE A	NC	C
		CLASE B	C	C
Europa		N.A	N.A	N.A
PTAR Santa Antonio de Carapongo		Chile	CLASE A	NC
	CLASE B		N.A	N.A
	Brasil	CLASE A	NC	C
		CLASE B	C	C
	Europa	N.A	N.A	N.A
	PTAR Carapongo	Chile	CLASE A	NC
CLASE B			N.A	N.A
Brasil		CLASE A	NC	C
		CLASE B	C	C
Europa		N.A	N.A	N.A
PTAR San Bartolo Sur		Chile	CLASE A	NC
	CLASE B		N.A	N.A
	Brasil	CLASE A	NC	C
		CLASE B	NC	C
	Europa	N.A	N.A	N.A

Fuente: Elaboración propia

Donde:

N.A: No aplica

NC: No cumple

C: Cumple

A continuación, se listan las PTARs que clasifican como Clase A y Clase B:

- Clase A: las PTARs Manchay, Santa Clara, San Antonio de Carapongo, Carapongo y San Bartolo Sur; cumplen con las concentraciones límites establecidas por las normativas chilena y brasilera, en el año 2015; para el año 2015 ninguna PTAR clasificó en clase A.
- Clase B: las PTARs Manchay, Santa Clara, San Antonio de Carapongo, y Carapongo cumplen con las concentraciones establecidas por la normativa brasilera; para el año 2013 y 2015. No obstante, la PTAR San Bartolo Sur, es la única que cumple con las concentraciones límites permitidas por la normativa brasilera, en el año 2015.

A continuación se muestra la Tabla N°48 la clasificación de los lodos residuales del año 2013 y 2015, a modo de resumen:

Tabla N°48: Clasificación de los lodos residuales (2013 y 2015)

PTARs	Normativas	As		Cd		Pb		Cu		Hg		Ni		Cr		Mo		COLIFORMES TERMOTOLERANTES		SALMONELLA		HUEVOS DE HELMINTOS		
		13	15	13	15	13	15	13	15	13	15	13	15	13	15	13	15	2013	2015	2013	2015	2013	2015	
		2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	
PTAR Manchay	Chile	Suelos que cumplen los requisitos	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A	B	B	NC	A	NC	A
		Suelos degradados	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A						
	Brasil	Concentración máxima	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	B	NC	A	B	A Y B	
	Europa	Límite de concentración	N.A	N.A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
PTAR Santa Clara	Chile	Suelos que cumplen los requisitos	NC	C	C	C	C	NC	C	C	NC	C	C	NC	N.A	N.A	N.A	N.A	NC	B	NC	NC	NC	A
		Suelos degradados	NC	C	C	C	C	NC	C	C	NC	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A						
	Brasil	Concentración máxima	NC	C	C	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C	C	NC	B	NC	NC	B	A Y B	
	Europa	Límite de concentración	N.A	N.A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
PTAR Santa Antonio de Carapongo	Chile	Suelos que cumplen los requisitos	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	NC	N.A	N.A	N.A	N.A	B	B	NC	A	NC	A
		Suelos degradados	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A						
	Brasil	Concentración máxima	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	B	NC	A	B	A Y B	
	Europa	Límite de concentración	N.A	N.A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
PTAR Carapongo	Chile	Suelos que cumplen los requisitos	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A	A Y B	B	NC	A	NC	A
		Suelos degradados	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A						
	Brasil	Concentración máxima	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A Y B	B	NC	A	B	A Y B	
	Europa	Límite de concentración	N.A	N.A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
PTAR San Bartolo Sur	Chile	Suelos que cumplen los requisitos	C	C	C	C	C	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A	B	B	NC	A	NC	A
		Suelos degradados	C	C	C	C	NC	NC	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A						
	Brasil	Concentración máxima	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	B	NC	A	NC	A Y B	
	Europa	Límite de concentración	N.A	N.A	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A

Fuente: Elaboración propia

Donde:

A: Lodo Clase A

B: Lodo Clase B

N.A: No Aplica

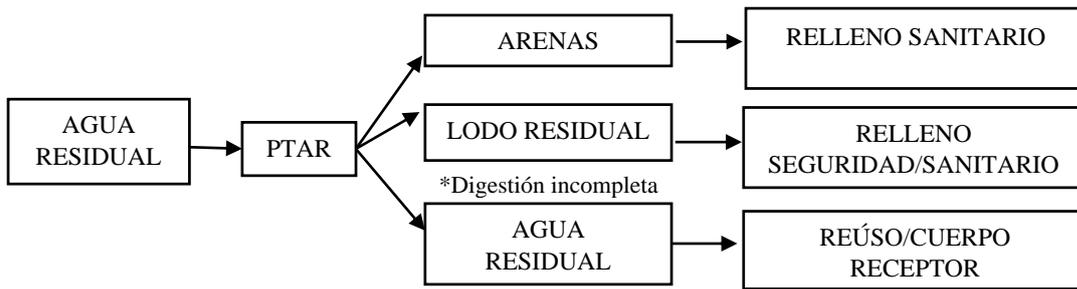
N.C: No clasifica ni como A ni como B

5.4. PLANTEAR UNA PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE LODOS RESIDUALES, GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

En la presente investigación se plantea la propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales, previo proceso de estabilización; con la finalidad de poder utilizar como mejorador de suelo, así como darle un valor al residuo; en cumplimiento de la nueva normativa ambiental vigente, la cual indica textualmente en el inciso b del artículo 5, del Decreto Legislativo N°1278 (aprobación de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos) *“Los residuos sólidos generados en las actividades productivas y de consumo constituyen un potencial recurso económico, por lo tanto, se priorizará su valorización, considerando su utilidad en actividades de: reciclaje de sustancias inorgánicas y metales, generación de energía, producción de compost, fertilizantes u otras transformaciones biológicas, recuperación de componentes, tratamiento o recuperación de suelos, entre otras opciones que eviten su disposición final.”*; no obstante, es necesario realizar un análisis previo a los lodos residuales, ya que su utilización está condicionada a la presencia de metales pesados y microorganismos patógenos.

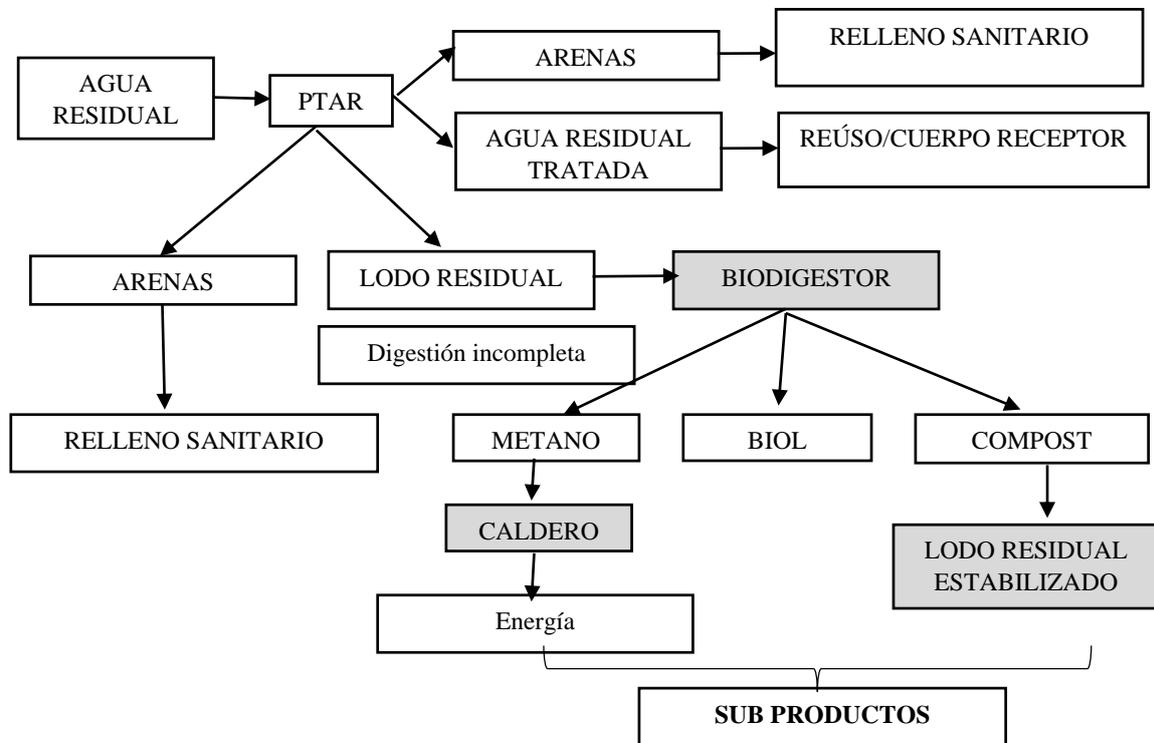
A continuación, se presenta mediante un diagrama de flujo, la situación actual del proceso que pasan las aguas residuales; siendo uno de los subproductos obtenidos el lodo residual y un diagrama de flujo de la propuesta de reaprovechamiento del lodo residual, mediante la implementación de un biodigestor. Véase el Diagrama N°12 y 13.

Diagrama N°12: Flujo del proceso actual de las aguas residuales



Elaboración propia

Diagrama N°13: Flujo de la propuesta de aprovechamiento del lodo residual, mediante la implementación de biodigestor



Elaboración propia

El Diagrama N°13, indica que el lodo residual (materia orgánica con digestión incompleta), al ingresar al biodigestor culminará el proceso de digestión de la materia orgánica, con lo que se generarán tres sub productos (**gas metano, biol y compost**).

El metano: conducido a un caldero para quemarse y producir energía que puede ser vendida a la red nacional o ser utilizada en la operación de la planta.

El Biol: es el líquido con alta concentración de micronutrientes, que se desprenden de la materia orgánica y que pueden ser utilizados para mejorar la producción agrícola mediante su incorporación al suelo.

El compost: que es la materia orgánica con digestión completa y que retiene principalmente carbono y nitrógeno que son muy importantes para enriquecer suelos para la producción agrícola. Los elementos patógenos presentes en los lodos, por efecto de la descomposición incompleta de la materia orgánica, son destruidos en el digester por efecto de la alta temperatura que se produce.

Es preciso indicar que en esta investigación sólo se dará un alcance para la construcción de un biodigestor, ya que realizar un diseño implica construir simuladores a escala para luego diseñar estructuras; así mismo, se necesita conocer el tiempo de descomposición de la materia orgánica, la cantidad obtenida de biol.

5.4.3. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

5.4.3.1 ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO POR TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS RESIDUALES PELIGROSOS Y NO PELIGROSOS

A continuación, se presenta un análisis de los costos de transporte y disposición final de residuos sólidos, sean estos peligrosos o no peligrosos.

Primero: se tomará como referencia los costos en el mercado por el transporte y disposición final de los residuos peligrosos. Véase las Tablas N°49 y 50.

Tabla N°49: Costos por disposición de residuos no peligrosos

RESIDUOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS			
DESCRIPCIÓN	UNID	CANTIDAD	COSTO UNIT REF
TRANSPORTE	VIAJE	1	565
DISPOSICIÓN FINAL	TN	1	20

Fuente: Elaboración propia tomado como referencia una cotización ANCRO

Tabla N°50: Costos por transporte de residuos peligrosos

RESIDUOS SÓLIDOS PELIGROSOS			
DESCRIPCIÓN	UNID	CANTIDAD	COSTO UNIT REF
TRANSPORTE	VIAJE	1	755
DISPOSICIÓN FINAL	TN	1	472

Fuente: Elaboración propia tomado como referencia una cotización ANCRO

Debido que en los resultados de la PTAR SANTA CLARA registró presencia de salmonella en el 2013 y 2015. Además de helmintos en el 2013 y presencia de metales pesados tales como arsénico, mercurio y plomo; por lo cual no se tomará en cuenta esta PTAR ya que, de acuerdo a los resultados mencionados, califica el tipo de lodo residual obtenido como peligroso.

Segundo: Para el cálculo de costos se tiene que conocer la cantidad anual de lodos residuales generados en las PTARs de estudio y el número de viajes realizados. Se ha tomado como referencia los años 2015 y 2016. Véase las Tablas N°51 y 52.

Tabla N°51: Cantidad de lodo residual generado (no peligroso y peligroso) generado en el 2015

CANTIDAD DE LODO RESIDUAL (NO PELIGROSO) GENERADO EN EL 2015			
PTARS	KG	TN	VIAJES
Balneario San Bartolo Sur, San Antonio de Carapongo, Carapongo y Manchay	7782.14	7.78214	216
CANTIDAD DE LODO RESIDUAL (PELIGROSO) GENERADO EN EL 2015			
Santa Clara	13470.15	13.47015	335

Fuente: Elaboración propia

No se cuenta con data de análisis de lodo residual del 2016, por lo que se tomará como un supuesto la misma clasificación (peligrosos y no peligrosos) de lodo residual del 2015.

Tabla N°52: Cantidad de lodo residual generado (no peligroso y peligroso) generado en el 2016

CANTIDAD DE LODO RESIDUAL (NO PELIGROSO) GENERADO EN EL 2016			
PTARS	KG	TN	VIAJES
Balneario San Bartolo Sur, San Antonio de Carapongo, Carapongo y Manchay	5140.77	5.14077	137
CANTIDAD DE LODO RESIDUAL (PELIGROSO) GENERADO EN EL 2016			
Santa Clara	2640.58	2.64058	52

Fuente: Elaboración propia

A modo de detallar las cantidades de lodo residual generado por los PTARs se presenta la Tabla N°53 y 54:

Tabla N°53: Cantidad de lodo residual generado en el 2015

CANTIDAD DE LODO RESIDUAL GENERADO EN EL 2015			
PTARS	KG	TN	VIAJES
Balneario San Bartolo Sur	407.08	0.40708	22
San Antonio de Carapongo	441.24	0.44124	15
Carapongo	4298.41	4.29841	127
Santa Clara	13470.15	13.47015	335
Manchay	2635.41	2.63541	52
TOTAL	21252.29	21.25229	542

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°54: Cantidad de lodo residual generado en el 2016

CANTIDAD DE LODO RESIDUAL GENERADO EN EL 2016			
PTARS	KG	TN	VIAJES
Balneario San Bartolo Sur	274.03	0.27403	15
San Antonio de Carapongo	1139.08	1.13908	38
Carapongo	1087.08	1.08708	32
Santa Clara	9049.69	9.04969	225
Manchay	2640.58	2.64058	52
TOTAL	14190.46	14.19046	362

Fuente: Elaboración propia

Tercero: ya conociendo la cantidad de lodo residual generado y el número de viajes, se realiza mediante regla de tres simple el análisis de costo por disposición y costo por transporte. Véase las Tablas N°55, 56, 57, 58 y 59.

Tabla N°55: Costo por disposición final en el 2015

COSTOS DISPOSICIÓN FINAL 2015			
DESCRIPCIÓN	TN	COSTO UNIT REF	COSTO TOTAL REF S/
RESIDUOS PELIGROSOS	13.47015	472	6,357.91
RESIDUOS NO PELIGROSOS	7.78214	20	155.64

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°56: Costo por transporte en el 2015

COSTOS POR TRANSPORTE 2015			
DESCRIPCIÓN	VIAJE	COSTO UNIT REF	COSTO TOTAL REF S/
RESIDUOS PELIGROSOS	335	755	252,925.00
RESIDUOS NO PELIGROSOS	216	565	122,040.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°57: Costo por disposición final en el 2016

COSTOS DISPOSICIÓN FINAL 2016			
DESCRIPCIÓN	TN	COSTO UNIT REF	COSTO TOTAL REF S/
RESIDUOS PELIGROSOS	2.64058	472	1,246.35
RESIDUOS NO PELIGROSOS	5.14077	20	102.82

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°58: Costo por transporte en el 2016

COSTOS POR TRANSPORTE 2016			
DESCRIPCIÓN	VIAJE	COSTO UNIT REF	COSTO TOTAL REF S/
RESIDUOS PELIGROSOS	52	755	39,260.00
RESIDUOS NO PELIGROSOS	137	565	77,405.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°59: Costos totales 2015 y 2016 por disposición y transporte de lodos residuales

COSTOS TOTALES	2015	2016
RESIDUOS PELIGROSOS	S/. 252,925.00	S/. 39,260.00
RESIDUOS NO PELIGROSOS	S/. 122,040.00	S/. 77,405.00

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, de la Tabla N°59 se puede visualizar que resulta más económico transportar y disponer un residuo no peligroso; generando un ahorro empresarial en el año 2015 de **S/ 130, 885.00 soles** y de **S/ 38, 145.00 soles** en el año 2016.

Se espera que a través del aprovechamiento de los lodos residuales se pueda reducir el número de viajes y las toneladas de lodo residual a disponer en relleno sanitario y/o de seguridad. Reduciendo de esta forma los costos de transporte y disposición final.

5.4.3.2 ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO POR LA VENTA DE BIOSÓLIDO CLASE A O B

A continuación, se describen los pasos que se siguió para el análisis de costo – beneficio:

Primero: Se evaluaron los costos, en el mercado nacional, del compost y abono; para ello se presenta la Tabla N°60, donde se visualizará los costos de estos productos de una pequeña muestra.

Segundo: Una vez conocido los costos en el mercado por la venta de compost, se procedió a plantear el posible costo de nuestro lodo residual procesado (en el biodigestor). Se plantea un valor de venta de 30 soles el saco de 50 kg, este valor se ha considerado por la inversión que involucra la construcción, funcionamiento de un biodigestor y el promedio de los precios de venta en el mercado nacional. Sin embargo, los precios dependerán de los exhaustivos estudios de mercado (análisis económico) que realicen las empresas. Véase la Tabla N°61.

Tercero: visualizando la Tabla N°61, se puede notar que el beneficio económico para la empresa no sería mucho por la cantidad y por el bajo precio de venta; ya que en el mercado nacional los costos no son altos.

Finalmente, este análisis de costo beneficio por la venta de biosólidos de Clase A o B, influye mucho en la propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales; ya que las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento podrían también optar por utilizar dicho compost (lodo residual procesado) en sus propias áreas verdes, lo cual en ese caso generaría un ahorro empresarial en la compra de abono y/o fertilizantes.

Por otro lado, si comparamos con la Tabla N°60 Costos totales 2015 y 2016 por disposición y transporte de lodos residuales, se puede notar que para el año 2016; disponiendo el lodo residual como no peligroso se habría gastado **S/. 77, 405.00 soles**; sin embargo, considerando esos 109 sacos de 50 kg de compost, que representa S/ 3,270.00 soles; se hubiera gastado de **S/74, 135.00 soles**, es decir, menos.

Tabla N°60: Costos de compost y abono

TIENDA	DESCRIPCIÓN	COMENTARIO	LINK	COSTO DE 50 KG
SODIMAC	COMPOST 10 KG 4 ESTACIONES	Abono concentrado especial para aquellas plantas que requieran un alto porcentaje de materia orgánica.	http://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/1352725/Abono-Compost-10kg/1352725	S/. 39.50
OLX	COMPOST	Saco de compost de 50 kg	https://ciudadpiura.olx.com.pe/venta-	S/. 30.00
MALLKI	COMPOST	Saco de 25 kg Venta a partir de tonelada (40 bolsas) a 380 soles	http://mallki.pe/industria	S/. 19.00
UNALM	COMPOST	Bolsa de 30 kg de compost a 11 soles	http://www.lamolina.edu.pe/cventas/p	S/. 18.30
	HUMUS	Bolsa de 40 kg de humus	lantas_abonos.html	S/. 23.38

Elaboración propia

Tabla N°61: Supuesto costo de venta de compost

COSTO COMO BIOSÓLIDO					
PTARS	KG ANUAL	COMPOST (70% LODO RESIDUAL)	COSTO UNIT POR SACO 50 KG	N. SACOS	COSTO TOTAL
CLASE A (Balneario San Bartolo Sur, San Antonio de Carapongo, Carapongo y Manchay)	7782.14	5447.498	30	108.94996	3270

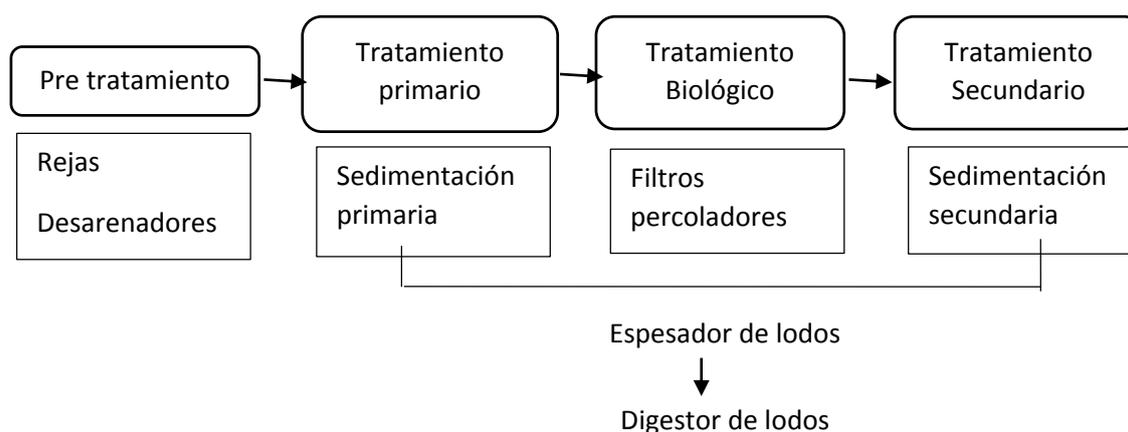
Elaboración propia

5.4.3. PTAR SAN JERÓNIMO DE SEDACUSCO

En el presente ítem se ha hablado de los biodigestores, ya que se plantea como una propuesta de reaprovechamiento de los lodos residuales, provenientes de las PTARs; pues luego de pasar estos por un proceso de digestión anaerobia se obtiene un lodo de mejor calidad, es decir, un lodo considerado como mejorador de suelo.

Igualmente, se ha mencionado al comienzo de este ítem 5.3 que se ha tomado como modelo la PTAR San Jerónimo de SEDACUSO; por ello a continuación se muestra el Diagrama N°14, del proceso de tratamiento de dicha PTAR.

Diagrama N°14: Proceso de la PTAR San Jerónimo



Fuente: Elaboración de propia



La PTAR San Jerónimo, ubicada en el departamento del cusco, implementó un biodigestor de lodos con ozono; cuya implementación tuvo como finalidad el control de olores que

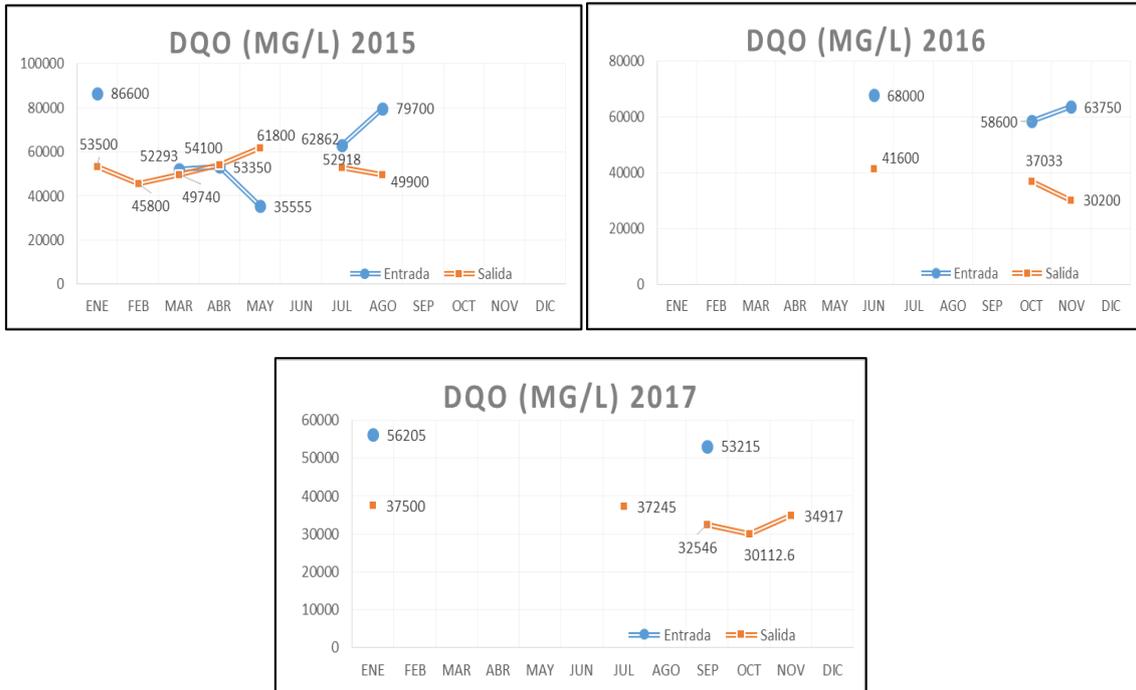
Fuente: Elaboración propia

generaba la planta de tratamiento de aguas residuales. La gestión de lodos en la planta, consistió en la instalación de dos sistemas de aireación para la mejora de digestión de lodos y cuatro sistemas de control de malos olores, instalados en las distintas unidades de la PTAR (cámara de bombeo de lodos, tanque de emergencia, alianza del digestor, CBL-03), en cada punto se genera mayor movimiento de lodos por la necesidad de la planta. (SEDACUSCO; 2017). No obstante, con la implementación de esta tecnología se puede obtener un lodo de mejor calidad (el cual puede ser aprovechado como mejorador de suelo) y energía.

Para obtener mayor información de la calidad del lodo residual que sale del proceso de digestión (biodigestor); se solicitó información de DBO y DQO de entrada y salida del

biodigestor. Sin embargo, la espera fue larga y sólo se obtuvo datos de DQO de algunos meses de los años 2015, 2016 y 2017. Véase Gráfica N°05

Gráfica N°05: Resultados de DQO de entrada y salida de la PTAR San Jerónimo



Fuente: Elaboración propia

De la información brindada y visualizada en la gráfica N°5, no se pudo realizar un análisis referencial; ya que la data brindada fue escasa.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- De los datos mostrados en la gráfica N°01 y 02 – Caudal tratado en el proceso, se aprecia que el promedio del caudal tratado para los dos años de estudio (2013 y 2015), la PTAR Carapongo sobrepasó el caudal de diseño; lo cual indica que existe una sobrecarga hidráulica, el mismo caso sucedió con la PTAR Manchay en el 2015. Corroborando lo mencionado en el primer párrafo, con lo sustentado en el Informe 072-2016-VIVIENDA/VMCS-DGAA-DGA “*Informe Estadístico Anual Datos de Monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR durante el año 2015 conforme al cumplimiento del Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales Domésticas o Municipales*”; en el cual se concluyó que el 79% de las PTAR superó el LMP establecido para coliformes termotolerantes y se indicó que se debía a que las PTARs cuentan con una sobrecarga hidráulica y orgánica, lo que genera que el tratamiento no sea eficaz. De igual modo, se mencionó que una carga elevada de microorganismos son indicadores de contaminación fecal. Es necesario indicar, que dentro de las PTARs reportadas se encuentran las PTARs de estudio de la presente tesis.
- De los datos mostrados en la Tabla N°44- Resumen de análisis de metales se observó que todas las PTARs presentaron presencia de plomo según los parámetros de la normativa chilena y que la PTAR Santa clara obtuvo presencia de arsénico y mercurio según los parámetros establecidos por la normativa chilena y brasilera.

En el estudio de Calla (2010) presentó la *Calidad del agua en la cuenca del río Rímac – Sector San Mateo, afectado por las actividades mineras*, identificando la presencia de empresas mineras cercanas a las estaciones de muestreo de calidad

de agua; siendo una de estas compañías de inversiones Mineras Agrícolas Lurín S.A, Minera Los Quenuales (Chicla) y Perubar S.A (Chicla), Mina Tamboraque, compañía Minera Agregados Calcáreos S.A, Negociación Minera El Molino S.A. Finalmente la presente investigación concuerda con el estudio mencionado en el párrafo anterior y con los estudios de la Autoridad Nacional del Agua – ANA, denominado *identificación de fuentes contaminantes en la cuenca del río Rímac*, donde se identificaron un total de 28 vertimientos de aguas residuales industriales por vertimientos mineros, ubicados a lo largo del río Rímac; que generan que diferentes metales pesados y químicos contaminen este río; y el estudio de SUNASS, Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de Operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento, en el cual se menciona textualmente “*En el ámbito de las EPS se presentan descargas industriales en el alcantarillado que aportan cargas adicionales a la aportada por la población*”.

- Para el parámetro Coliformes Termotolerantes, de acuerdo a la Tabla N°37 (resultados de coliformes termotolerantes); se dedujo que solo la PTAR Carapongo en el 2013 clasificó en la categoría A por presentar un valor de <0.18 NMP/g, valor por debajo de lo establecido <1000 NMP/g; no obstante, todas las PTARs clasifican como categoría B, excepto la PTAR Santa Clara que presenta valores de 5400000 y 14000 NMP/g en 2013, valores por encima de lo establecido (2×10^6 y 1×10^6 NMP/g normativa chilena y brasilera respectivamente). Por lo tanto, se concuerda con lo indicado por Trejos M.& Agudelo N; 2012, quien en su proyecto de grado del análisis del lodo, los resultados obtenidos para coliformes termotolerantes clasificaba como categoría A, por lo cual indicaba que estos podrían aplicarse a cualquier medio, por otro lado menciona que los lodos

de categoría B pueden ser usados en recuperación de suelos, plantaciones forestales, cultivos que no se consuman directamente y cobertura de rellenos sanitarios; sin embargo, las concentraciones de indicadores de contaminación fecal limitan su aprovechamiento por un tiempo en cultivos agrícolas de consumo directo como las hortalizas.

- Para reforzar el análisis de los resultados obtenidos en salmonella, tal como se muestra en la Tabla N°46, se hizo la revisión de fichas de salmonella, investigaciones; tomándose como referencia la ficha Erika de Salmonella (2013), en la cual manifiesta las condiciones de supervivencia de la Salmonella (temperaturas elevadas superior a 30°C) y la investigación “microbiología, patogénesis, epidemiología, clínica y diagnóstico de las infecciones producidas por Salmonella” de Parra, M., Durango, J. & Mattar, S. (2002), el cual menciona textualmente que se requiere de un inóculo de 10^{6-8} bacterias de salmonella spp. para el desarrollo de la enfermedad sintomática, por lo cual los resultados obtenidos son mucho menores a lo indicado por el autor para que ocasione una enfermedad severa. Así mismo, es preciso indicar que los resultados brindados por el laboratorio son cualitativos (presencia – ausencia) aun tomándose como referencia la unidad sp/25g.
- De igual forma, respecto a los resultados obtenidos respecto al parámetro huevos de helmintos y mostrados en la Tabla N°47 - Resumen de análisis de helmintos, se visualiza que incumple las normativas (brasileña y chilena) de estudio; por lo que no clasifica como un lodo de Clase A; sucediendo lo contrario en el 2015 (clasifica como lodo residual de Clase A y B). No obstante, se debe considerar lo indicado en la investigación “Determinación de huevos de helmintos en las operaciones unitarias de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Chapultepec” de (Silva A., Martínez P.), que manifiesta que “la mayoría de autores concuerdan en que los huevos de helmintos son indicadores en estudios de parásitos en agua y lodo residual, ya que a diferencia de las bacterias, estas estructuras son capaces de permanecer en estado latente en suelos por periodos prolongados (por lo menos 7 años), bajo condiciones ambientales adversas (temperatura inferior a 10 °C), pudiendo enquistarse durante meses, lo cual convierte a estas estructuras en resistentes”; por ello la presencia de huevos de helmintos restringe el uso directo de lodos residuales como mejoradores de suelos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Se describieron los procesos de tratamiento de las cinco (05) PTARs de estudio, los cuales no son iguales a pesar que las cinco PTARs son plantas de lodos activados. Esto se debe, a un estudio técnico económico previo; el cual debe considerar por lo menos la calidad del efluente, requerimientos y costos de tratamiento preliminares, primarios, requerimientos, costos del terreno para las instalaciones (incluye unidades de tratamiento), costos de tratamiento y también las consideraciones en el diseño de una planta de tratamiento, por ejemplo la densidad de la biomasa, dimensionamiento de los procesos de la planta, el caudal de diseño, topografía de la zona donde se ubicarán las unidades de tratamiento y de descarga, datos climáticos de la zona, datos hidrológicos del cuerpo receptor. (RNE.; 2006).
- Se determinó la composición fisicoquímica y biológica de los lodos provenientes de las PTARs de estudio, mediante la metodología comparada de un marco normativo internacional; cuyos resultados se muestran en la Tabla N°48 - Clasificación de los lodos residuales (2013 y 2015), siendo lo más resaltante la presencia de metales pesados, tales como Plomo (en las cinco (05) PTARs de estudio), Arsénico y Mercurio en la PTAR Santa Clara; lo cual se debe a las descargas industriales al alcantarillado.
- Se determinó la clase de los lodos proveniente de las PTARs, pudiendo visualizarse los resultados obtenidos en la Tabla N°48 Clasificación de los lodos residuales (2013 y 2015); donde se puede apreciar que para el año 2015 cuatro (04) PTARs clasificaron como categoría A y B, según la normativa chilena y brasilera; siendo estas PTAR San Antonio de Carapongo, Carapongo, San Bartolo

Sur y Manchay y para el año 2013 ninguna clasificaba como categoría A y B, por la presencia de metales pesados, salmonella y en algunas huevos de helminto.

- Se plantea la construcción de un biodigestor, tomándose como referencia en un primer momento que la única PTAR, a nivel nacional, que cuenta con biodigestor de lodos con ozono es la PTAR San Jerónimo, ubicada en el departamento de Cusco; cuya implementación tuvo como finalidad el control de olores que generaba la planta de tratamiento de aguas residuales, el aprovechamiento del lodo residual y la obtención de energía. La gestión de lodos en la planta, consistió en la instalación de dos sistemas de aireación para la mejora de digestión de lodos y cuatro sistemas de control de malos olores, instalados en las distintas unidades de la PTAR (cámara de bombeo de lodos, tanque de emergencia, altura del digestor, CBL-03), en cada punto se genera mayor movimiento de lodos por la necesidad de la planta. (SEDACUSCO; 2017).

Sin embargo, no se pudo efectuar un análisis de costo de construcción y operación porque Sedacusco no facilitó la información que permitiera efectuar el dimensionamiento y comparación económica correspondiente.

Así mismo, es necesario indicar que, existen otras opciones de aprovechamiento de lodos residuales, tales como aplicación al suelo con fines de mejorador de suelo, valorización energética, y depósito en vertedero. (CSR., 2006); pero la estabilización de los lodos y su posterior comercialización significara a la empresa ingresos económicos que actualmente significan gastos para su disposición final, lo cual revierte una situación de gasto a una situación de ingreso por un producto residual y todo ello en cumplimiento de la legislación nacional.

7.2. RECOMENDACIONES

- Tener cuidado con el contenido de metales y otras sustancias tóxicas en los lodos provenientes de descargas de agua residual no doméstica o industrial en la PTAR. Por lo cual, se recomienda efectuar una vigilancia eficaz para garantizar que toda descarga al alcantarillado sanitario cumpla los valores máximos admisibles (VMA).
- Utilizar lodos residuales de clase A, como mejorador de suelo para cualquier cultivo sin restricciones. No obstante, un lodo de clase B tiene restricciones; pues los suelos destinados a cultivos hortícolas o frutícolas, que estén en contacto directo con el suelo y que se consuman sin proceso de cocción, deberán aplicarse con a lo menos 12 meses de anticipación a la siembra. Prohíbese la aplicación de lodos durante el ciclo vegetativo de estos cultivos.⁹
- Es conveniente evaluar el efecto de la aplicación de lodos residuales en los diversos cultivos, teniendo en cuenta el tipo de suelo en el que se va a disponer. Por ello, es conveniente realizar pruebas adicionales tales como densidad real, capacidad de retención de humedad, pérdidas por volatilización así asegurar un cumplimiento más riguroso de las normativas de estudio.
- Para la utilización de los lodos residuales, se recomienda someter estos a un proceso adicional de estabilización (biológica o química) a fin de obtener un lodo con mejores condiciones de aprovechamiento.
- Solicitar a los laboratorios un análisis de los lodos residuales en función a los parámetros establecidos en las normativas sea nacional o internacional, teniendo en cuenta las unidades empleadas en dichas normativas; ya que el relacionar

⁹ Normativa Chilena, D.S N°004/2009, Reglamento para el manejo de lodos generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.

parámetros y/o unidades dificulta y en algunos casos es imposible relacionar (como en el caso de %carbonatos, N° huevos de helmintos, entre otros).

- La utilización de biosólidos, provenientes de PTARs es muy rentable para las EPS, debido que estos pueden ser comercializados, en cumplimiento de lo establecido en la Ley Gestión Integral de Residuos Sólidos – D.L N°1278 (inciso b, del artículo 5; en el cual se menciona textualmente “ *los residuos sólidos generados en las actividades productivas y de consumo constituyen un potencial recurso económico, por lo tanto, se priorizará su valorización, considerando su utilidad en actividades de reciclaje de sustancias inorgánicas y metales, generación de energía, producción de compost, fertilizantes u otras transformaciones biológicas, recuperación de componentes, tratamiento o recuperación de suelos, entre otras opciones que eviten su disposición final*”); ya que estos dejarían de ser vistos como un residuo que se tiene que disponer en un relleno sanitario, pues al contrario, estos se convertirían en una fuente de ingreso económica para las EPS. Cabe indicar que otro producto obtenido del biodigestor es el gas metano, el cual puede utilizarse como fuente de energía eléctrica; reduciendo los costos económicos de las empresas en energía eléctrica.
- Se recomienda implementar biodigestores (biodigestión anaerobia) en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, ya que uno de los objetivos es eliminar los microorganismos patógenos y parásitos, por otro lado, generar un lodo con características físicas, químicas y biológicas adecuadas para el aprovechamiento en agricultura, tal como lo propone Lituma, Paula; 2010, en su investigación “Biodigestión anaerobia de lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba”.

- Otras investigaciones, de las que se puede tomar de ejemplo para el aprovechamiento de lodos residuales es la investigación “Propuesta de aprovechamiento del Biogás obtenido a partir del tratamiento de las aguas residuales generadas en la empresa Rico Cerco F&G S.A.C., para su uso como biocombustible en los sistemas de calefacción de las áreas de maternidad”, de Paiva, P.; 2016, “Diseño de Planta de Tratamiento de desechos orgánicos para la generación y aprovechamiento de Biogás”, de Ing. Zepeda D.; 2013.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloway, Brain. (1995). *Heavy metals in soil*. London. Uk.
- Bustamante, M. (1999). *Diseño Conceptual de la Disposición de Lodos y Biosólidos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas*. Chile: Universidad de Chile.
- Calla Llontop, H. (2010). *Calidad del agua en la cuenca del río Rímac – Sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Campos Medina, E., García, N., Velásquez A., & García M. (2009). *Análisis básico del reúso de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales en suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Charpentier, J. (2014). *Tratamiento de Aguas residuales con lodos activados*. España.
- Comisión Estatal del Agua de Jalisco. (2013). *Operación y Mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados*. México.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento - Diseño de lagunas de estabilización*. México.
- Cuevas, J. Seguel, O., Sch., Achim, E., & Dörner, J. (2006). *Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencia a la adición de lodos urbanos*. Castilla: Universidad Austral.
- De la Merced Jiménez, D. (2012). *Evaluación de los Parámetros de un Biodigestor Anaerobio Tipo Continúo*. México: Universidad Veracruzana.
- Duncan, M. (2004). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. Inglaterra.
- Epstein, E. (2003). *Land application of sawege sludge and biosolids*. Washington, D.C.

- Elika. (2013). *Ficha de Salmonella*. España.
- Gonzales Romero, M. (2015). *Proceso de transformación de biosólidos de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales (PTAR) con vermicompostaje y su aplicación en germinación, caso Colombia altitudes mayores a 1800 m.s.n.m*, España: Universidad Militar Nueva Granada.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación. Edición 6*. México D.F.
- International Water Association. (2014). *Activated Sluge – 100 years and counting*, Essen. Germany.
- Martínez Prado, A., Pérez, M., Pinto, J., Gurrola, B., & Osorio, A. (2011). *Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes*. México.
- Martínez Romero, G., & Cruz, M. (2015). *Estudio Preliminar de Factibilidad y Dimensionamiento de una Planta de Tratamiento Anaerobio de Residuos Orgánicos a nivel urbano*. Bogotá: Universidad Santo Tomas.
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. España.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2014). *Decreto N° 1287 Criterios para el uso de los biosólidos generados en la Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales municipales*. Colombia.
- Mosquera Losada, M., Fernández, E., & Rigueiro, A. (2008). *Effects of composed, pelletized and anaerobically digested sewage sludge on pasture production after sowing in a silvopastoral system*. España.

- Munn, K., Evans, J., & Chalk, P. (2000). *Mineralization of soil and legume nitrogen in soil treated with metal contaminated sewage sludge*. Viena.
- National Water Quality Management Strategy. (2004). *Guidelines for Sewerage System Biosolid Management*. (2004). Australia.
- Norma Oficial Mexicana N° NOM -004-Semarnat-2002. (2002). *Protección Ambiental Lodos y biosólidos. Especificaciones y Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para su Aprovechamiento y Disposición Final*. México.
- Oropeza García, N. (2009). *Lodos residuales: Estabilización y Manejo*. México.
- Parra, M., Durango, J., & Mattar, S. (2002). *Microbiología, patogénesis, epidemiología, clínica y diagnóstico de las infecciones producidas por Salmonella*. Colombia.
- Ramallo, R. (2003). *Tratamiento de Aguas residuales*. España.
- Revista Energía a Debate. (2011). *Biodigestores: Aprovechar Residuos para generar Energía*. México.
- Rodríguez Morales, J., & Hernández, A. (2010). *Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización*. España: Universidad politécnica de Madrid.
- Rojas, R. (2002). *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*.
- Samayoa, S., Bueso, C., & Viquez, J. (2012). *Implementación de Sistemas de Biodigestión en Ecoempresas*. Honduras.
- SEDACUSCO. (2017). Video Equipos de Mitigación de Olores de la PTAR San Jerónimo. Cusco.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2016). *Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento*. Lima.

Torres Carranza, E. (2016). *Reutilización de aguas y lodos residuales*.

Vásquez Núñez, G. (2013). *Panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en la costa Atlántica*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Vargas Palomeque, M. (2006). *Introducción a las energías alternativas con experimentos sencillos*. Bolivia.

ANEXOS

9.1. CARTAS A SEDACUSCO

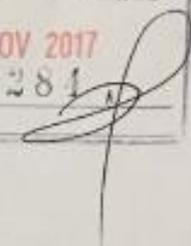
Solicitud de Información

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

Cusco, 9 de Noviembre del 2017

Señor:
Ing. José Luis Becerra Silva
GERENTE GENERAL DE LA EPS SEDACUSCO S.A.

Presente.

SEDACUSCO
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
09 NOV 2017
EXP N° 5281
Firma: 

ASUNTO: Solicitud de Acceso a la Información Pública

De mi consideración:

La presente es para solicitar, en ejercicio de mi derecho de acceso a la información pública reconocido en el inciso 5 del artículo 2 de la Constitución Pública del Perú y el artículo 7 del T.U.O de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública

Yo **MIGUEL ALEJANDRO OBLITAS CHARA**, identificado con DNI **70690311**, me presento ante usted y hago de su conocimiento la necesidad de obtener información sobre los resultados obtenidos del muestreo de calidad (caracterización) de lodo residual, proveniente de la Planta de Tratamiento de Agua Residual San Jerónimo - PTAR San Jerónimo, siendo los parámetros de mi importancia Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de entrada y salida del biodigestor, de los años 2000 a la actualidad; para fines netamente académicos.

Sin otro particular me despido y agradezco de ante mano su gentil colaboración quedando a la espera de su pronta respuesta.

Atentamente:


Miguel Alejandro Oblitas Chara
DNI: 70690311

Respuesta a lo solicitud de Información



«AÑO DEL DIÁLOGO Y LA RECONCILIACIÓN NACIONAL»

Cusco, Febrero 01, 2018

OFICIO No. 50.2018/GG.EPS.SEDACUSCO S.A.

**SEÑOR
MIGUEL ALEJANDRO OBLITAS CHARA
CIUDAD.-**

ASUNTO ▶ Remite información requerida
REFERENCIA ▶ ● Carta s/n (HE No. 5284.2017/EPS)
 ▶ ● Informe No. 017-2018-GO-EPS.SEDACUSCO S.A.

Luego de un atento saludo, me comunico con usted, en atención a su Carta de la referencia, a mérito de la cual hago de su conocimiento que la Gerencia de Operaciones a través del Dpto. de Aguas Residuales – Especialista en Control de Procesos de AR, ha recopilado la información requerida, la misma que se encuentra contenida en resultados de análisis y parámetros de DQO y DBO a partir del año 2000 hasta el 2017 en la entrada y salida del digestor.

Sin otro en particular, quedo de usted.

Atentamente,



ING. JOSÉ LUIS BECERRA SILVA
Gerente General

JLBS/71m

Adj.:

- Lo mencionado en un folio

Resultados promedio por mes de análisis de la demanda química de oxígeno en la entrada y salida del digestor:

DQO(mg/l) del año 2015												
ANALISIS/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICEMBRE
Entrada al Digestor	86600		52293	52350	35555			62862	79700			
Salida al Digestor	53500.0	45800	49740	54100	61800			52918	49900			

DQO(mg/l) del año 2016												
ANALISIS/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICEMBRE
Entrada al Digestor						68000.0				58600.0	67750.0	
Salida al Digestor						41600.0				37933.0	30200.0	

DQO(mg/l) del año 2017												
ANALISIS/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICEMBRE
Entrada al Digestor	56205.0								53215			
Salida al Digestor	37500.0							37245.0	32546	30112.6	34917.0	

Cc, Arch.

9.2. VALORIZACIÓN DEL TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PELIGROSOS Y NO PELIGROSOS

Descripción	Und	Cant	ANCRO Mayly Palacios / 997094247		AMPCO PERU Laura Salazar / 987013397		NOR BUILDING Jorge Garildo / 99895-0825		
			Unit	Total	Unit	Total	Unit	Total	
Transporte RS. NO PELIGROSOS	Viaje	1.00	S/. 550.00	S/. 550.00		S/.	-	S/. 580.00	S/. 580.00
Residuos solidos NO PELIGROSOS (disposicion final)	TN	1.00	S/. 21.60	S/. 21.60				S/. 18.00	S/. 18.00
Transporte RS. PELIGROSOS	Viaje	1.00	S/. 700.00	S/. 700.00	S/. 878.00	S/. 878.00	S/. 680.00	S/. 680.00	
Residuos solidos PELIGROSOS (disposicion final)	TN	1.00	S/. 420.00	S/. 420.00	S/. 595.00	S/. 595.00	S/. 400.00	S/. 400.00	
				S/. 1,691.60		S/. 1,473.00		S/. 1,678.00	

Fuente: Elaboración propia de referencia de cotizaciones

9.3. UBICACIÓN DE LAS PTARs DE ESTUDIO

