

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en

Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental



**“EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS MEDIANTE UN BIODIGESTOR PREFABRICADO
EN LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA COTARUSE - APURÍMAC”**

Trabajo de Titulación para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Frida del Pilar Mejía Arias

INGENIERO AMBIENTAL

Karem Liliana Perez Sinchi

Lima - Perú

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en
Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental**

**“EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS MEDIANTE UN BIODIGESTOR PREFABRICADO
EN LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA COTARUSE - APURÍMAC”**

Trabajo De Titulación Para optar el Título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Frida del Pilar Mejía Arias

INGENIERO AMBIENTAL

Karem Liliana Perez Sinchi

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Juan Guerrero Barrantes
PRESIDENTE

Dr. Abel Mejía Marcacuzco
MIEMBRO

Ing. Lawrence Quipuzco Ushñahua
MIEMBRO

Dra. Gladys Carrión Carrera
ASESORA

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a Dios, quien guía los pasos de mi vida, a mi madre por ser mi modelo a seguir, a mi padre por sus enseñanzas y consejos, a mis hermanos por su apoyo incondicional, a mis abuelos porque siempre me dieron ejemplo de fortaleza y a los catedráticos de mi alma mater por su dedicación e inspiración.

Frida Del Pilar Mejía Arias

A mi familia, en especial a mi bebé quien me acompañó durante toda esta investigación. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi corazón.

Karem Liliana Perez Sinchi

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a:

- Dra. Gladys Carrión Carrera
- Ing. Ambiental Marcos Mejía Arias
- Trabajadores de la sub estación eléctrica Cotaruse
- Excelentísimos miembros del jurado

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1.	ANTECEDENTES	2
2.2.	MARCO CONCEPTUAL	3
2.2.1.	SISTEMAS DE GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN ENERGÉTICA	3
2.2.2.	AGUAS RESIDUALES	4
2.2.3.	DIGESTIÓN ANAEROBIA	12
2.2.4.	BIODIGESTORES	18
2.2.5.	BIODIGESTOR PREFABRICADO	19
2.2.6.	MARCO LEGAL	24
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1.	MATERIALES	28
3.1.1.	LOCALIZACIÓN.....	28
3.1.3.	NORMATIVA.....	30
3.2.	METODOLOGÍA	31
3.2.3.	FASE DE GABINETE: PLANEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.2.4.	COLECCIÓN DE INFORMACIÓN	31
3.2.5.	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	32
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1.	DETERMINACIÓN DEL CAUDAL.....	37
4.2.	BIODIGESTOR PREFABRICADO	38
4.2.1.	DISEÑO E INSTALACIÓN	38
4.2.2.	FUNCIONAMIENTO	39
4.3.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA Y NO TRATADA	39
4.4.	CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS (P-1).....	40
4.4.1.	TEMPERATURA.....	40
4.4.3.	SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN.....	40
4.4.4.	DBO	41
4.4.5.	DQO.....	41
4.4.6.	COLIFORMES TERMOTOLERANTES.....	41
4.4.7.	ACEITES Y GRASAS	42

4.5.	CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS (P-2)	42
4.5.1.	TEMPERATURA	42
4.5.2.	pH	43
4.5.3.	SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN	43
4.5.4.	DBO	43
4.5.5.	DQO	43
4.5.6.	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	44
4.5.7.	ACEITES Y GRASAS	44
4.6.	COMPARACIÓN ENTRE LAS AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS Y LAS AGUAS TRATADAS	44
4.6.1.	COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA	44
4.6.2.	COMPORTAMIENTO DEL p.H	45
4.6.3.	COMPORTAMIENTO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN	46
4.6.4.	COMPORTAMIENTO DE DBO	47
4.6.5.	COMPORTAMIENTO DE LA DQO	48
4.6.6.	COMPORTAMIENTO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES	49
4.6.7.	COMPORTAMIENTO DE ACEITES Y GRASAS	51
4.7.	EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DE LAS AGUAS TRATADAS CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	52
4.7.1.	ACEITES Y GRASAS	52
4.7.2.	DBO	52
4.7.4.	pH	54
4.7.5.	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	54
4.7.6.	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	54
4.7.7.	TEMPERATURA	55
4.8.	VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS AGUAS TRATADAS POR EL BIODIGESTOR CON EL RANGO DE EFICENCIA OFRECIDA POR LA EMPRESA FABRICANTE	57
4.9.	LODOS	57
V.	CONCLUSIONES	59
VI.	RECOMENDACIONES	60
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
VIII.	ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición de aguas residuales domésticas (mg/l)	5
Tabla 2: Composición de orina.....	11
Tabla 3: Dimensiones del biodigestor en función de sus capacidades	20
Tabla 4: Número de usuarios servidos en función de las capacidades	20
Tabla 5: Características del Biodigestor Prefabricado	30
Tabla 6: Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.....	31
Tabla 7: Parámetros de caracterización de las aguas residuales no tratadas	32
Tabla 8: Parámetros de caracterización de las aguas residuales tratadas.....	32
Tabla 9: Parámetros de caracterización de lodos.....	33
Tabla 10: Puntos de muestreo.....	35
Tabla 11: Cuantificación del caudal de la subestación eléctrica Cotaruse.....	37
Tabla 12: Resultados del agua residual no tratada y tratada– Diciembre 2015.....	39
Tabla 13: Resultados de la calidad de Efluente a la salida comparando con LMP del D.S 003-2010- MINAM.....	56
Tabla 14: Resultados de la calidad de efluente comparando con la eficiencia ofrecida por la empresa fabricante del biodigestor.	57
Tabla 15: Resultados de la calidad de lodos a la salida comparando con LMP del D.S 003- 2010- MINAM.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama esquematizado del Sistema de suministro eléctrico (REE).....	3
Figura 2: Composición de las aguas residuales	6
Figura 3: Composición de las heces.....	12
Figura 4: Fases de la Digestión Anaerobia.....	13
Figura 5: Biodigestor Prefabricado	19
Figura 6: Biodigestor Prefabricado	21
Figura 7: Funcionamiento del Biodigestor Prefabricado	23
Figura 8: Condiciones para autorizar el vertimiento de aguas residuales	26
Figura 9: Mapa de Apurímac.....	29
Figura 10: Puntos de muestreo	35
Figura 11: Área de instalación del biodigestor prefabricado	38
Figura 12: Comportamiento de la temperatura.....	45
Figura 13: Comportamiento del p.H	45
Figura 14: Comportamiento de sólidos suspendidos totales	46
Figura 15: Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales	47
Figura 16: Comportamiento de la DBO	47
Figura 17: Porcentaje de remoción de la DBO.....	48
Figura 18: Comportamiento de la DQO.....	49
Figura 19: Comportamiento de los Coliformes Termotolerantes	50
Figura 20: Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes	50
Figura 21: Comportamiento de aceites y grasas	51
Figura 22: Comparación de aceites y grasas del agua residual tratada y LMP.	52
Figura 23: Comparación de la DBO entre el agua residual tratada y LMP	53
Figura 24: Comparación de la DQO del agua residual tratada y LMP	53
Figura 25: Comparación de p.H del agua residual tratada y LMP	54
Figura 26: Comparación SST del agua residual tratada y LMP	55
Figura 27: Comparación de Coliformes termotolerantes del agua residual tratada y LMP	55
Figura 28: Comparación de temperatura entre el agua residual tratada y LMP	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM	67
Anexo 2: Análisis Agua Residual cruda y tratada y Lodos Diciembre 2015	68
Anexo 3: Fotografías.....	69

RESUMEN

El trabajo de investigación titulado “Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse-Apurímac” surge como una alternativa de tratamiento de aguas residuales domésticas producidas en la instalación sanitaria de la subestación.

El desarrollo de la parte experimental de la presente investigación se llevó a cabo en la sub estación eléctrica Cotaruse - Apurímac desde febrero a diciembre 2015, tiempo que incluye la instalación y toma de muestras.

Para determinar la eficiencia se tomaron muestras en tres puntos del sistema. El primer punto a la entrada del biodigestor (agua residual sin tratar), el segundo punto a la salida del mismo (agua residual tratada) y el tercer punto en la caja de extracción (lodos).

Se realizó la caracterización de cada punto de muestreo de los siguientes parámetros pH, DBO, DQO, sólidos suspendidos totales, coliformes termotolerantes, temperatura, aceites y grasas. Los resultados obtenidos se compararon con los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales, según el Decreto Supremo N° 003-2010 MINAM.

Como resultado de la investigación, se pudo determinar que tres parámetros importantes en la evaluación de calidad de las aguas tratadas en el biodigestor prefabricado, no cumplieron con los límites máximos permisibles. Estos fueron coliformes termotolerantes, DBO y DQO. Por lo tanto, las aguas tratadas por el biodigestor prefabricado no podrán ser vertidas en cuerpos de agua como ríos, lagos o el mar por su grado de contaminación.

Palabras claves: aguas residuales, biodigestor prefabricado, coliformes termotolerantes, DBO, DQO.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos esenciales para la salud, pues resulta fundamental en la supervivencia del ser humano. Sin embargo, a medida que la población aumenta, este recurso se hace cada vez más escaso y de difícil acceso. A ello se suman las aguas que fueron utilizadas en domicilios, fábricas, actividades ganaderas que contienen aceites y grasas, materia orgánica, detergentes, residuos industriales, ganaderos, agrícolas, entre otros. Estas aguas residuales son conducidas posteriormente a unas plantas depuradoras donde siguen un tratamiento adecuado para devolver el agua a la naturaleza en las mejores condiciones posibles para su posterior reutilización.

Una inadecuada disposición final de las aguas residuales genera contaminación ambiental y con ello la proliferación de agentes infecciosos, lo que disminuye la calidad de vida de la población. De esta problemática surge la necesidad de dar un mejor uso y tratamiento a las aguas residuales para que puedan ser aprovechadas al máximo.

El tratamiento de las aguas residuales es muy importante no solo en el Perú sino a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que emitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida.

En nuestro país, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, sólo el 29 por ciento de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías para su depuración.

En el presente trabajo de investigación se propone medir la eficiencia de un biodigestor prefabricado en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la subestación eléctrica Cotaruse en el departamento de Apurímac y verificar el cumplimiento de las aguas tratadas con las normas legales vigentes.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Los servicios de transmisión, operación y mantenimiento de las líneas de energía eléctrica requieren de un equipo humano a lo largo de todo el país, tanto en subestaciones como en líneas de transmisión, para lo cual es necesario contar con los servicios básicos, como son los sistemas de abastecimiento de agua potable y de alcantarillado de aguas residuales. Existen subestaciones eléctricas que no tienen conexión a la red de alcantarillado doméstico debido a que dichas instalaciones se encuentran alejadas de las principales ciudades.

Las aguas utilizadas en las instalaciones sanitarias, la limpieza y el aseo del personal dentro de las subestaciones de transmisión, generan aguas residuales domésticas cuyos contenidos principales son: materia orgánica, detergentes, aceites y grasas. Estas aguas residuales se conducen hacia un sistema económico y principalmente ecológico: un biodigestor.

El biodigestor es un sistema sencillo de implementar con materiales económicos y se está introduciendo en comunidades rurales aisladas para obtener el doble beneficio de conseguir solucionar la problemática energética-ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos tanto de humanos como de animales. Es un contenedor o reactor herméticamente cerrado e impermeable, dentro del cual se deposita material orgánico a fermentar, estos pueden ser desechos vegetales, excrementos de animales y humanos, con cierta cantidad de agua que permita la fermentación anaerobia, ocasionando la disminución del potencial contaminante de los excrementos, además de producir gas metano y fertilizantes ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

El control y la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos en los biodigestores son de suma importancia para poder determinar la eficiencia en la operación y poder realizar rectificaciones al proceso. Si no se tiene una medición y control de los parámetros es

imposible determinar si un biodigestor está operando correctamente y si estos cumplen con las normas legales vigentes.

Esta problemática nos lleva a realizar el presente trabajo de investigación, a fin de determinar la eficiencia del biodigestor prefabricado en el tratamiento de las aguas residuales producidas por el personal que trabaja en la subestación eléctrica Cotaruse- Apurímac, mediante la evaluación de los parámetros físico- químicos y microbiológicos del agua residual a la entrada y salida del biodigestor.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. SISTEMAS DE GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN ENERGÉTICA

Los sistemas de energía eléctrica se estructuran en las partes o niveles de generación, transporte y distribución (Figura 1). La interconexión de estos niveles se realiza en las subestaciones y centros de transformación, donde además, se localizan los dispositivos de maniobra y protección del sistema (Barrero, 2004).

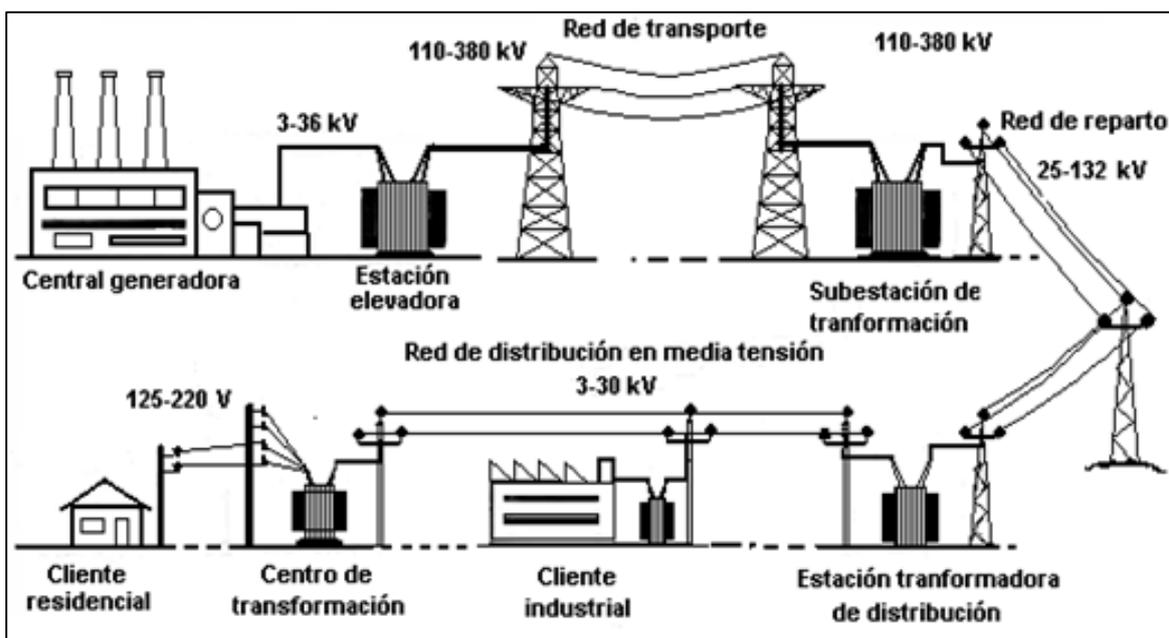


Figura 1: Diagrama esquematizado del Sistema de suministro eléctrico (REE)

FUENTE: Red de Energía de España, 2009

2.2.2. AGUAS RESIDUALES

Seoanez (1995) define a las aguas residuales como todos aquellos líquidos que provienen de las actividades humanas y que llevan en su composición un gran porcentaje de agua y que en su gran mayoría son vertidos a cursos o masas de aguas continentales o marinas.

a. Tipos de aguas residuales

La Resolución Jefatural N° 0291-2009-ANA de fecha 01 de junio del 2009, distingue las siguientes definiciones de aguas residuales domésticas y residuales municipales.

Aguas residuales domésticas

Son aquellas de origen residencial, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

Aguas residuales municipales

Son aquellas aguas residuales doméstica que puede incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

b. Características y composición de las aguas residuales

El agua residual doméstica está compuesta de constituyentes físicos, químicos y biológicos. Es una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, suspendidas o disueltas. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos alimenticios, excretas, materia vegetal, sales minerales y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos.

La fracción orgánica corresponde al 70 por ciento de la cantidad de materia sólida existente y el 30 por ciento restante es inorgánico (Tebbutt, 1977).

Las aguas residuales domésticas pueden contener varios tipos de proteínas y, como ejemplo, pueden citarse las albúminas, globulinas de diversos orígenes y enzimas industriales (detergentes) o resultantes de la actividad microbiana en la propia agua

residual. Los carbohidratos están presentes en sus formas más comunes, tales como glucosa, sacarosa, almidón y celulosa; algunos, como la glucosa y la sacarosa, son más fácilmente degradados por microorganismos, siendo los polisacáridos como la celulosa y el almidón más resistentes al ataque microbiano y siendo el almidón más fácilmente descompuesto que la celulosa (Blundi, 1988). Las grasas animales y aceites son el tercer componente de los alimentos, están siempre presentes en las aguas residuales domésticas provenientes de carnes, del uso de aceites vegetales, etc. (Metcalf & Eddy, 1998). En la Tabla 1 y la Figura 2, se puede observar la composición de las aguas residuales.

Tabla 1: Composición de aguas residuales domésticas (mg/l)

Componente	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales	1200	720	35
Sólidos disueltos	950	500	250
Sólidos disuelto fijos	525	300	145
Sólidos disueltos volátiles	325	200	105
Sólidos suspendidos	350	220	100
Sólidos fijos	75	55	20
Sólidos volátiles	275	165	80
Sedimentables	20	10	5
DBO	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrógeno Total	85	40	20
Nitrógeno Orgánico	35	15	8
Nitrógeno Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo Total	15	8	4
Fósforo Orgánico	5	3	1
Fósforo Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad	200	100	50
Grasas y Aceites	150	100	50

FUENTE: Metcalf & Eddy, 1985

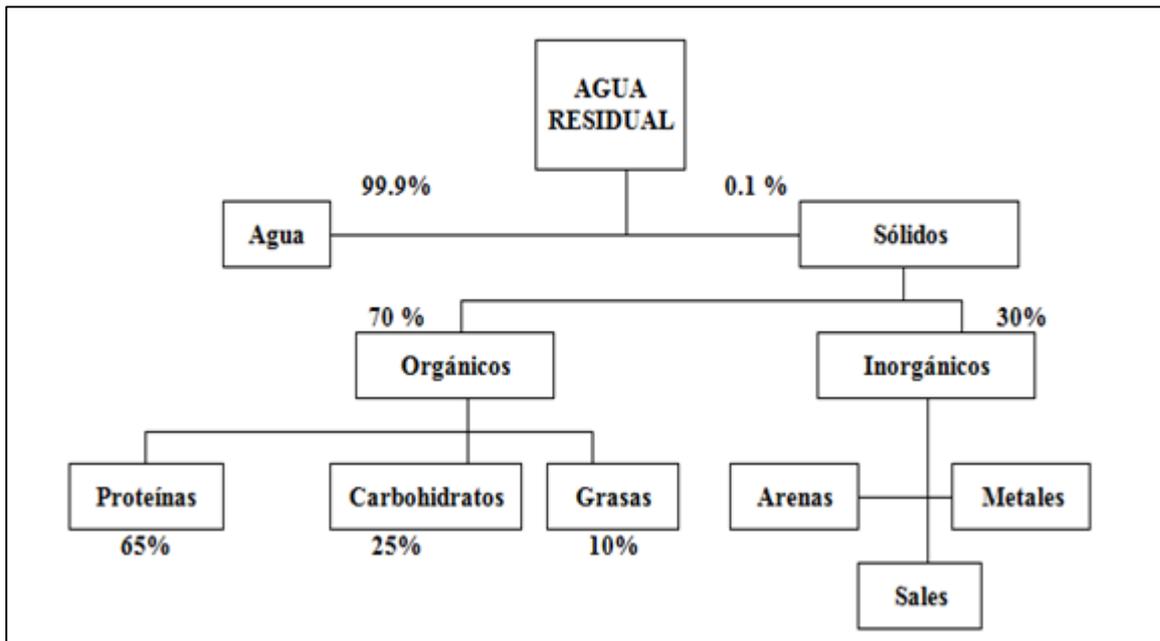


Figura 2: Composición de las aguas residuales

FUENTE: Díaz Camacho, 2013

- **Características físicas**

Temperatura

La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica.

Turbidez

La turbidez, medida de la propiedad de transmisión de la luz del agua, es otro ensayo utilizado para indicar la calidad de los vertidos de aguas residuales con respecto a la materia suspendida.

Color

El color es un indicativo de la edad de las aguas residuales. El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro.

Olor

El olor es debido a los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica, sobre todo, a la presencia de ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerable que el del agua residual séptica.

Sólidos totales (ST)

Residuo remanente de la muestra que ha sido evaporada y secada a una temperatura específica (103 a 105 °C).

Sólidos volátiles totales (SVT)

Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los sólidos totales son calcinados (500 ± 50 °C).

Sólidos fijos totales (SFT)

Residuo que permanece después de incinerar los ST (500± 50°C).

Sólidos suspendidos totales (SST)

Fracción de ST retenido sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica.

Sólidos suspendidos volátiles (SSV)

Estos sólidos pueden ser volatilizados e incinerados cuando los sólidos suspendidos totales son calcinados (500 ± 50 °C).

Sólidos suspendidos fijos (SSF)

Residuo remanente después de calcinar SST (500 ± 50 °C).

Sólidos disueltos totales (SDT)

Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica.

Sólidos disueltos volátiles (SDV)

Sólidos que pueden ser volatilizados e incinerados cuando los sólidos disueltos totales son calcinados (500 ± 50 °C).

Sólidos disueltos fijos (SDF)

Residuo remanente después de calcinar los SDT (500 ± 50 °C). Adaptado de Standard Methods (2005).

- **Características químicas**

p.H

La concentración del ion hidrógeno es un importante parámetro de calidad tanto de las aguas naturales como de las residuales, (Metcalf & Eddy, 1996). Mide la magnitud de acidez o alcalinidad del agua residual.

Nitrógeno

Los elementos nitrógeno son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato (Metcalf & Eddy, 1996).

Nitrógeno inorgánico

También llamado nitrógeno amoniacal, este influye en el pH de las aguas. Gran parte del nitrógeno presente en el agua residual se debe a los compuestos nitrogenados utilizados en la agricultura y en la industria química como por ejemplo el uso de fertilizantes y detergentes (Metcalf & Eddy, 1996).

Nitrógeno orgánico

El nitrógeno orgánico contribuye al desarrollo de las bacterias y demás seres acuáticos no deseables. Su presencia en las aguas residuales es aportada a través de las excretas humanas, además se los encuentra en la forma de proteínas, aminoácidos y urea. La presencia de nitrógeno orgánico en las aguas residuales urbanas se debe

también a los residuos domésticos formados por proteínas o productos de su degradación: polipéptidos (Sawyer, 2001).

Fósforo

La concentración de fósforo total es comúnmente de 4-15 mg/l en aguas residuales (Metcalf & Eddy, 1996). El fósforo se puede encontrar en tres formas distintas: fósforo orgánico (especies particuladas), ortofosfatos y polifosfatos (especies disueltas). Este parámetro físico se encuentra en el agua residual principalmente por la materia fecal humana (50-65%), de los vertidos de residuos alimenticios y de los compuestos de fosfato inorgánico contenidos en los detergentes y de los productos de limpieza. El uso de los detergentes como sustituto del jabón ha aumentado en gran medida el contenido de fósforo de las aguas residuales domésticas (Sawyer, 2001).

Cloruros

La presencia de cloruros en las aguas residuales es un parámetro importante. Las heces humanas por ejemplo, suponen unos 6 gramos de cloruros por persona y día (Metcalf & Eddy, 1996).

Alcalinidad

La alcalinidad del agua se define como su capacidad para neutralizar ácidos (Standard Methods, 1995). La alcalinidad es un parámetro esencial de la calidad de agua y está relacionada con los procesos de nitrificación y desnitrificación (Escaler, 1997, citado por Barajas López, 2002).

Grasas

Las grasas son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal. Las grasas están siempre presentes en las aguas residuales domésticas debido al uso de manteca, grasas y aceites vegetales en cocinas.

Carbono orgánico total (COT)

El carbono orgánico está presente especialmente debido al uso de fertilizantes y a

residuos de alimentos (Metcalf & Eddy, 1996).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO expresa la cantidad de oxígeno necesaria para la biodegradación de la materia orgánica (degradación por microorganismos). Este indicador se aplica principalmente en el control del tratamiento primario en las estaciones depuradoras y en la evaluación del estado de degradación de los vertidos que tengan carga orgánica.

Demanda química de oxígeno (DQO)

La medida de este parámetro es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua cualquiera que sea su origen orgánico o mineral. La DQO corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido.

Metales pesados

Son originados por las actividades de tipo industrial y comercial, asimismo son de interés en el tratamiento, reutilización y vertimiento de efluentes.

Pesticidas clorados y pesticidas organoclorados

Los pesticidas son compuestos usados para impedir, destruir, repeler o controlar formas de vida tanto animales como vegetales (Romero, 1999).

- **Características biológicas**

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano (Tchobanoglous, 2000). Las bacterias y otros microorganismos cumplen un papel activo dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica y necesitan nutrientes tales como: N, P, K, Mg, Fe, Cl, para su desarrollo. Su ausencia limitaría o alteraría su crecimiento.

Uno de los parámetros más usados para evaluar las características bacteriológicas de las aguas residuales son los Coliformes Totales que incluyen a los Coliformes Fecales y los Coliformes de Origen No-fecal. Los coliformes son especies de organismos que indican contaminación por desechos humanos y animales (Metcalf & Eddy, 1996). Los Coliformes Fecales están compuestos de varias cepas de bacterias, donde se encuentra el Escherichia Coli. Este es un organismo que forma parte de la población bacteriana que se encuentra en los intestinos del ser humano y animales, común en heces humanas. (Metcalf & Eddy, 1996).

c. Principales diferencias entre las aguas negras y grises

Según Alcalde (1999), las fuentes de aguas grises son la cocina, lavaderos, duchas, etc. Ninguna de estas fuentes arrastra en el agua organismos que puedan contener enfermedades en la misma magnitud como lo pueden hacer las aguas sucias de los retretes, ya que la gran fuente de patógenos viene de las heces. La orina es estéril salvo en circunstancias excepcionales como son las graves infecciones del conducto urinario. En la Tabla 2, se puede apreciar la composición de la orina.

Tabla 2: Composición de orina

Orina 1.3 litros por persona por día	
Componente	%
Contenido de humedad	93 -96
Nitrógeno	15-19
Fósforo	2.5-5
Potasio	3-4.5
Carbón	11-17
Calcio	4.5-6

FUENTE: Gotaas, 1956

Las aguas negras, por contraste, contienen, además de las heces (ver Figura 3), celulosa proveniente del papel higiénico y cantidades de nitrógeno (por ejemplo, la urea) de la orina que requieren oxígeno para la nitrificación. Todos estos procesos tienen lugar relativamente lento en un medio con agua.

La más segura y efectiva vía para prevenir los impactos medioambientales negativos de los retretes es mantenerlos fuera de las aguas generales, estas son las aguas superficiales y las aguas subterráneas (Alcalde, 1999).

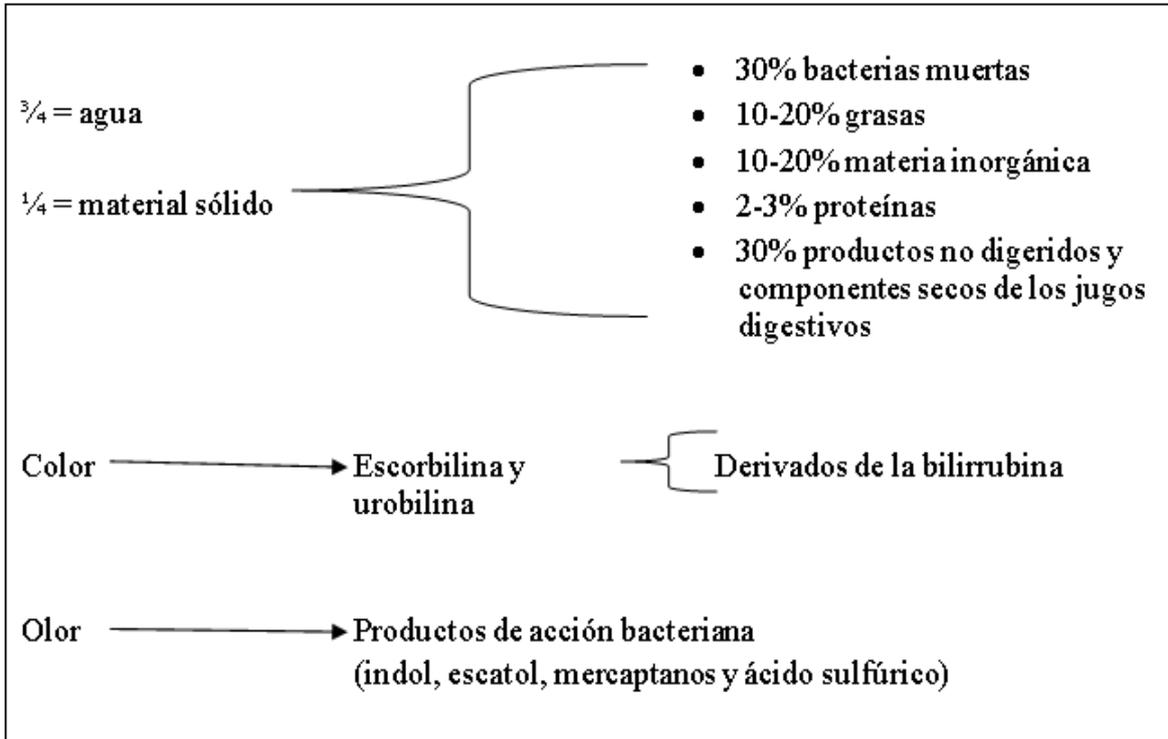


Figura 3: Composición de las heces

FUENTE: Martínez Figueroa, 2015

2.2.3. DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia es un proceso complejo desde el punto de vista microbiológico. Al estar enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono, es posible en ausencia de oxígeno, transformar la sustancia orgánica en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO₂, NH₃, H₂S, N₂ y CH₄ (Soubes, 1994).

Los alimentos de las bacterias anaeróbicas son el carbono (en la forma de carbohidratos) y el nitrógeno (en proteínas, nitratos, amoníaco, etc.). El carbono se utiliza para obtener energía y el nitrógeno para la construcción de estructuras celulares (Beteta, 2005).

Las heces frescas contienen bacterias que continúan digiriéndolo y producen metano, dióxido de carbono y otros gases. Si esta digestión se hace en ausencia de oxígeno, se produce una reacción en cadena de diferentes tipos de bacterias que dan como resultado biogás, que es uno de los productos del biodigestor (Martí, 2008).

a. Fases de la digestión anaerobia

A continuación se hace una breve descripción de las cuatro fases principales que ocurren durante una digestión anaerobia: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Lettinga, 1994) (Ver Figura 4).

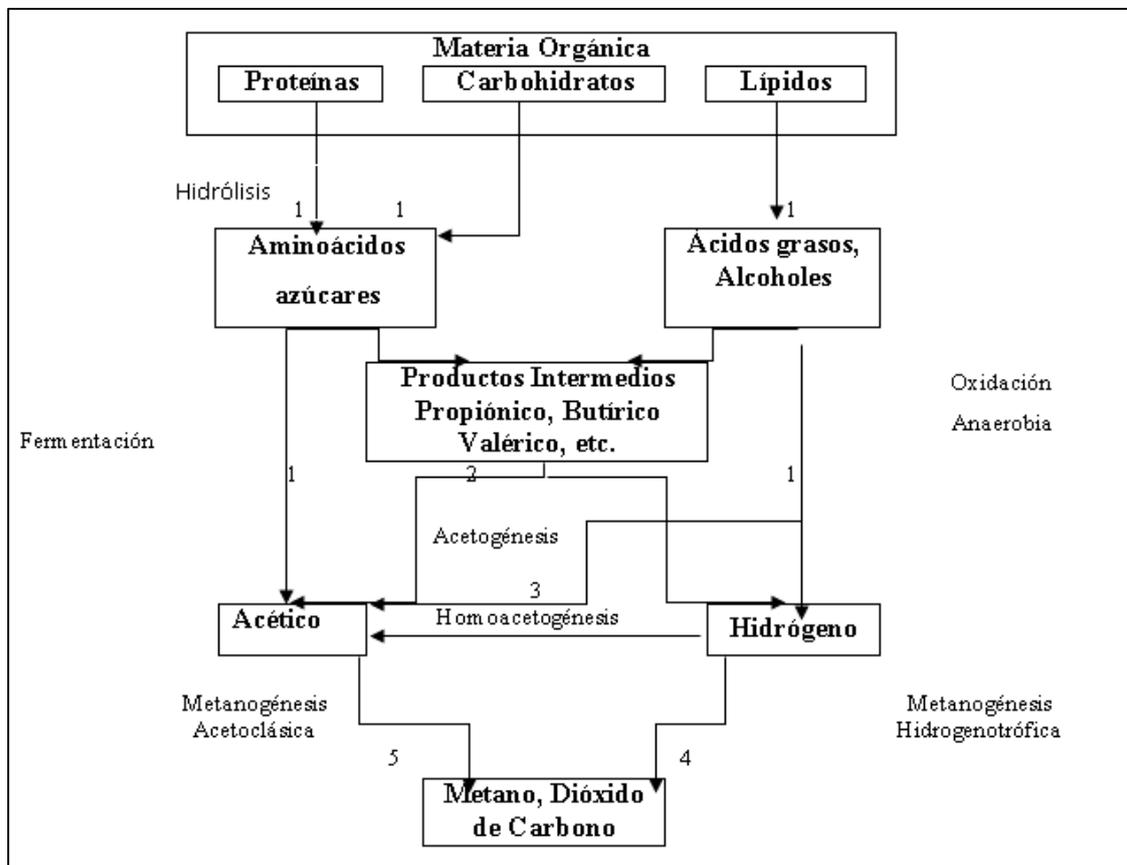


Figura 4: Fases de la Digestión Anaerobia

FUENTE: Pavlotasthis y Giraldo-Gómez, 1991

Los números indican la población bacteriana responsable del proceso:

- 1: Bacterias fermentativas
- 2: Bacterias acetogénicas que producen hidrógeno
- 3: Bacterias Homoacetogénicas
- 4: Bacterias Metanogénicas Hidrogenotróficas
- 5: Bacterias Metanogénicas acetoclástica

Fase Hidrolítica

En esta etapa, se hidrolizan las moléculas complejas en compuestos solubles de menor peso molecular. La población bacteriana responsable de la hidrólisis segrega enzimas hidrolíticas al medio. Estas enzimas producen la conversión de las macromoléculas a moléculas de un tamaño menor, lo que les permite atravesar la membrana celular de los microorganismos (Kiely, 1999).

Fase Acidogénica

Los productos de la primera etapa son el sustrato de los microorganismos acidogénicos, llamados también fermentativos, que lo transforman principalmente en ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, dióxido de carbono, hidrógeno y amoníaco. Si se da la presencia de sulfatos, las bacterias sulfato reductoras producen sulfuro de hidrógeno a partir de estos (San Juan, 2008).

Fase Acetogénica

En esta fase, son metabolizados los productos de la fermentación, como alcoholes, ácidos grasos volátiles y compuestos aromáticos, que son convertidos en compuestos más sencillos como: ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono (Vincent, 1997).

Fase Metanogénica

Los organismos que participan en esta fase son los más importantes en el proceso de digestión anaerobia por ser los responsables de la producción de metano y de la eliminación de los productos de las fases anteriores. Estos organismos son anaerobios estrictos. La producción de metano se realiza:

- A partir de ácido acético, en el caso de los microorganismos metanogénicosacetotróficos (genero *Methanosarcina*, *Methanotrix*).
- A partir de la reducción de dióxido de carbono y del ácido fórmico con hidrógeno, en el caso de las bacterias hidrogenófilas (Lettinga, 1994).

b. Factores que influyen en la actividad anaerobia

Según CEPIS (1996) existen muchos factores que influyen directamente en la fermentación metanogénica y son capaces de modificar la rapidez de las reacciones

de descomposición.

Los principales factores son los siguientes:

Temperatura

Es uno de los factores de mayor influencia en el proceso, esto se debe especialmente a su acción directa sobre la actividad de las bacterias metanogénicas (Sasse, 1984).

Sasse, clasificó los rangos de temperatura en tres grupos:

- Fermentación Psicrófila : 10-20 °C, más de 100 días de retención.
- Fermentación Mesófila : 20-35°C, más de 20 días de retención.
- Fermentación Termófila : 40-60°C, más de 8 días de retención.

Valor del pH

En digestores operados con estiércol de bovino, los valores óptimos de operación oscilan entre 6.7 y 7.5 con límites de 6.5 a 8.0 (Hayes et al., 1979).

Relación C/N

La relación óptima de C/N es de 30:1, cuando la relación es muy estrecha (10:1) hay pérdidas de nitrógeno asimilable, lo cual reduce la calidad del material digerido. Si la relación es muy amplia (40:1) se inhibe el crecimiento debido a falta de nitrógeno (Guevara, 1996).

Medio Anaerobio

Para que el proceso de digestión se lleve a cabo en forma eficiente, se debe encontrar en un medio anaerobio totalmente cerrado (Martínez, 2009).

Presión

La presión subatmosférica de 6 centímetros de agua dentro del biodigestor se considera la presión óptima (Kennedy, 1982).

Tiempo de retención

Es el tiempo promedio en que la materia orgánica es degradada por los microorganismos. Se ha observado que a un tiempo corto de retención se produce

mayor cantidad de biogás, pero un residuo de baja calidad fertilizante por haber sido parcialmente digerido. Pero para tiempos largos de retención se obtendrá un rendimiento bajo de biogás pero con un efluente (residuo) más degradado y con excelentes características como fuente de nutrientes (Soria et. al., 2001).

Porcentaje de sólidos

El porcentaje óptimo de sólidos en la mezcla a digerir es de 7 a 9 y se consigue al diluir el material orgánico con agua (Soria et al., 2001).

Agitación

Esta práctica es importante para establecer un mejor contacto de las bacterias con el sustrato. Esto permite que una mayor superficie del sustrato sea atacado por las bacterias mejorando la eficiencia de fermentación (Martínez, 2009).

Elementos tóxicos

Una sustancia puede hacer el papel de toxico o sustrato para el crecimiento bacteriano dependiendo de la concentración en la que se encuentre, entre los principales componentes de riesgo tenemos al: Nitrógeno amoniacal, los ácidos grasos volátiles, hidrógeno, metales pesados y en especial a los desinfectantes y antibióticos (Flotats et al., 1997).

c. Productos de la digestión anaerobia

- **Biogás**

Es una mezcla gaseosa constituida en un 55 - 70 por ciento de metano, entre un 25 - 45 por ciento dióxido de carbono y pequeñas proporciones de otros gases como H₂S, H₂, NH₃, etc. La composición o valor energético del biogás depende de las características del material orgánico y del funcionamiento del proceso (Vincent, 1997).

El potencial calorífico inferior del biogás es de aproximadamente 5.250 Kcal/m³, para una concentración de metano del 60 por ciento (Campos, 2001). Al quemarse el

biogás produce una llama limpia y azul con una alta concentración de calor que facilita la cocción rápida (Martínez, 2009).

La producción de gas de un sistema anaerobio se expresa comúnmente como volumen de gas producido por unidad de masa de sólidos volátiles ya que representa la relación entre la utilización de materia orgánica por los grupos bacterianos y la producción de gas, es la eficiencia (ITINTEC, 1983).

- Bioabonos

La carga de mezcla diaria de heces con agua que se introduce al biodigestor es digerida por las bacterias produciéndose biogás, dejando como residuo un lodo compuesto por el material no atacado por las bacterias y el material digerido por estas. Este lodo conocido también como efluente, constituye un fertilizante orgánico de muy alta calidad (Martí, 2008).

Este lodo se divide en dos fases, una fase sólida y una fase líquida las cuales por practicidad y falta de una denominación técnica normada han sido denominados en nuestro país Biosol y Biol respectivamente, los cuales pueden usarse como fertilizante por tener una composición química que le permite ser considerado un fertilizante orgánico de alta calidad (Duque et al., 2004).

La fase líquida de este lodo tiene un contenido en nitrógeno de 2 a 3 por ciento, fósforo de 1 a 2 por ciento, potasio entorno al 1 por ciento y alrededor de un 85 por ciento de materia orgánica con un pH de 7.5 (Martí, 2008). Este residuo líquido resultante de la biodigestión que además de poseer una composición química adecuada para ser un buen abono actúa como fuente de energía y nutrientes para el desarrollo de los núcleos microbianos del suelo que mejoran la solubilidad de los compuestos minerales del suelo. En este sentido, presenta ventajas sobre su uso directo de la materia orgánica (Duque et al., 2004).

2.2.4. BIODIGESTORES

Se puede definir a un biodigestor como un “sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante” (Martí, 2008).

Según Pinto (2012) el biogás que se obtiene de los biodigestores puede ser empleado como combustible en las cocinas, calefacción o iluminación, y en grandes instalaciones se pueden utilizar para alimentar un motor que genere electricidad. El fertilizante, llamado biol se está tratando con la misma importancia, o mayor, que el biogás, ya que provee un fertilizante natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas.

a. Tipos de biodigestores

De acuerdo a la frecuencia de cargado, los biodigestores se pueden clasificar en:

– Sistema batch o discontinuo

Los biodigestores se cargan con material en un solo lote, cuando el rendimiento del gas decae a un bajo nivel, después de un período de fermentación, los biodigestores se vacían por completo y se alimentan de nuevo (CEPIS, 1996).

Por lo general el sistema tipo Batch consiste en tanques herméticos con una salida de gas la cual es conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás.

– Sistema semi-continuo

La primera carga que se introduce, consta de gran cantidad de materiales; cuando va disminuyendo gradualmente el contenido del gas se agregan nuevas materias primas y se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad (CEPIS, 1996).

– Sistema continuo

Cuando la fermentación en el digestor es ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al material que entra, la producción de gas es uniforme en el tiempo; este proceso se aplica en zonas ricas con materiales residuales y digestores de gran tamaño (mayor de 15 metros) y de tamaño mediano (entre 6.3 y 15 metros.) (CEPIS, 1996).

2.2.5. BIODIGESTOR PREFABRICADO

a. Descripción

El biodigestor prefabricado (Figura 5) es un sistema para el tratamiento primario de las aguas residuales domésticas, mediante un proceso de retención y degradación séptica anaerobia de la materia orgánica.

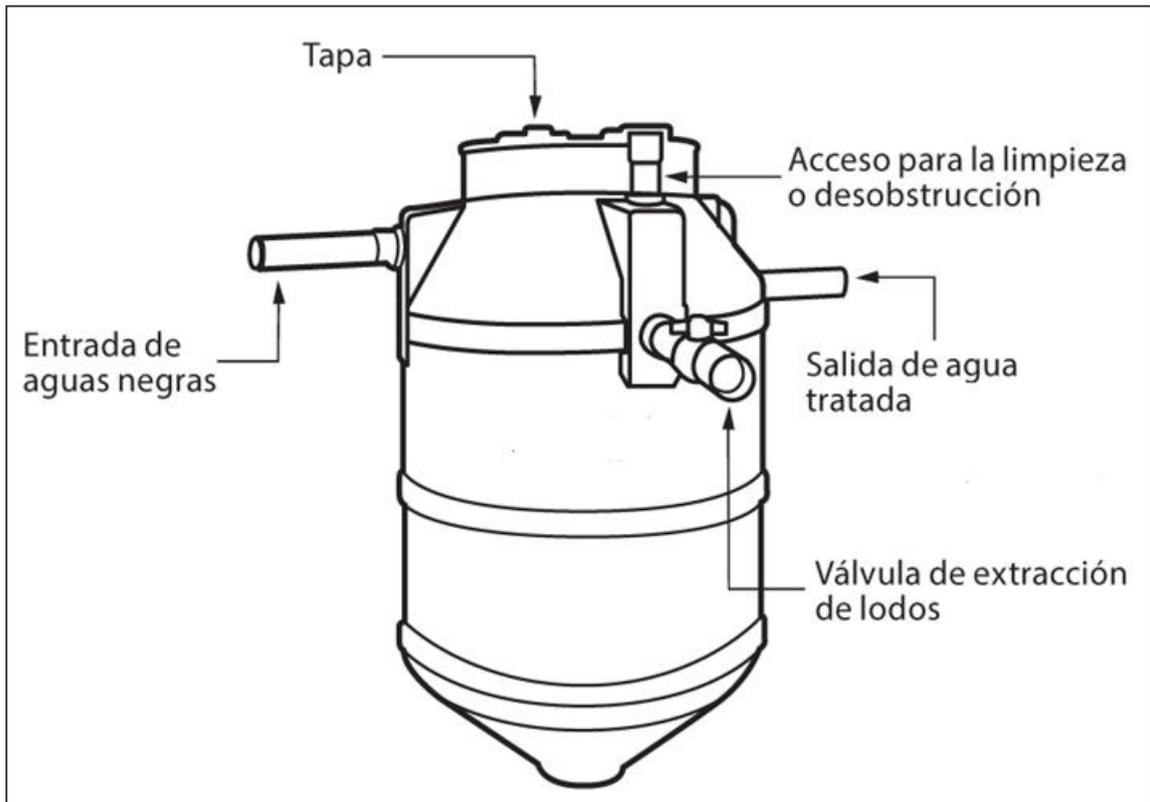


Figura 5: Biodigestor Prefabricado

FUENTE: Ficha técnica Biodigestor Rotoplas, 2014.

El tratamiento primario del agua residual doméstica, se refiere a procesos mecánicos para remover basura flotable y sólidos suspendidos en orden de preparar el caudal para ser tratado en las operaciones subsiguientes (Hernandez, 2000).

La generación de gases en el biodigestor prefabricado es prácticamente imperceptible, son evacuados por el mismo sistema de ventilación del módulo sanitario, sin representar molestia alguna para el usuario. En consecuencia, el

biodigestor prefabricado tiene como objetivo mejorar el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

En la Tabla 3, se pueden apreciar las dimensiones del biodigestor prefabricado, que actualmente existen en el mercado, en función a su capacidad.

Tabla 3: Dimensiones del biodigestor en función de sus capacidades

Dimensiones						
Capacidad	A (diámetro)	B (altura)	C (Ingreso 4")	D (Salida 2")	E (Salida lodos 2")	F (Altura lodos)
600 L	0.88 m	1.64 m	0.25 m	0.35 m	0.48 m	0.32 m
1300 L	1.15 m	1.93m	0.23 m	0.33 m	0.48 m	0.45 m
3000 L	1.46 m	2.75 m	0.25 m	0.40 m	0.62 m	0.73 m
7000 L	2.42 m	2.83 m	0.35 m	0.45 m	0.77 m	1.16 m

FUENTE: Ficha Técnica Biodigestor Prefabricado Rotoplas, 2014

En la Tabla 4, se pueden apreciar las diferentes capacidades del biodigestor prefabricado de acuerdo al número de usuarios servidos.

Tabla 4: Número de usuarios servidos en función de las capacidades

Capacidades	600 l.	1,300 l.	3,000 l.	7,000 l.
Solo inodoro y lavadero de cocina	5	10	25	57
Desagües totales	2	5	10	23
Volumen de lodos a evacuar (máx.)	100 l.	184 l.	800 l.	1,500 l.

Fuente: Ficha Técnica Biodigestor Prefabricado Rotoplas, 2014

b. Lugares de instalación

La instalación se realiza en lugares donde no sea factible la habilitación de un sistema de alcantarillado convencional ya sea por su lejanía, topografía del terreno o grado de dispersión de la población en el área. Ejemplos: casas de playa, casas de campo, zonas rurales, subestaciones eléctricas, etc.

c. Características del biodigestor prefabricado

- El biodigestor prefabricado está elaborado de polietileno, material resistente que no

se fisura y confina los excrementos de una forma segura.

- No se requiere de bombas ni medios mecánicos para la extracción de lodos, ya que cuenta con una válvula de extracción.
- No genera olores, permitiendo instalarlo dentro de las instalaciones de la sub estación.

d. Componentes del biodigestor prefabricado

En la figura 6, se pueden observar los componentes del biodigestor.

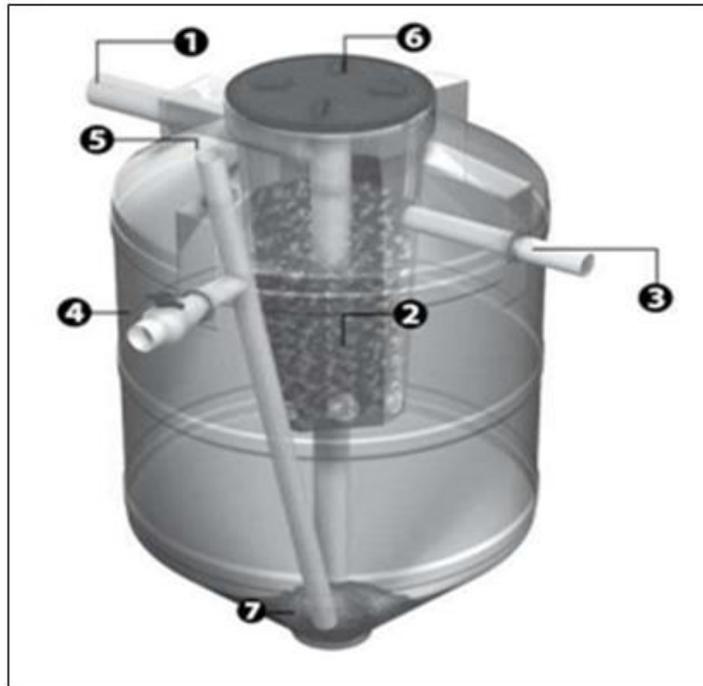


Figura 6: Biodigestor Prefabricado

FUENTE: Ficha Técnica Biodigestor Prefabricado Rotoplas, 2014

- 1: Tubería PVC de 4" para entrada de agua.
- 2: Filtro biológico con aros de plástico (pets).
- 3: Tubería PVC de 2" para salida de agua tratada.
- 4: Válvula para extracción de lodos.
- 5: Tubería PVC de 2" de acceso para limpieza y/o desobstrucción.
- 6: Tapa click de 18" para cierre hermético.
- 7: Base cónica para acumulación de lodos.

e. Instalación

Según la ficha técnica del biodigestor prefabricado, los pasos para la instalación son:

– Localización

Es importante instalarlo en un lugar donde no exista el paso de vehículos, así como la consideración de futuras expansiones en la construcción de patios, entre otras. Evitar terrenos de relleno o sujetos a inundaciones.

– Ángulo de excavación en función al tipo de suelo

La excavación se debe realizar dejando como margen una pendiente que no permita el deslave de la tierra y eliminando las piedras que puedan dañar el tanque. Es necesario compactar el suelo antes de colocar el biodigestor prefabricado, la profundidad deberá ser de 10 centímetros.

– Colocación

El biodigestor se coloca con cuidado sin dañar las conexiones, asegurándose que el mismo esté en posición vertical, se alinea la entrada y salida del agua verificando que exista un margen de por lo menos 20 centímetros de espacio libre entre el biodigestor y la pared de la excavación.

– Relleno

Para el relleno de la excavación fuera del biodigestor, se necesita agregar 30 cm del material extraído y compactar con un aplanador manual, después se agrega 30 cm de agua dentro del biodigestor. Se repite la operación las veces que sean necesarias.

– Registro de lodos

Se debe instalar un registro de lodos, el cual se encarga de recibir los sólidos producidos por el biodigestor. Para ello se determina la posición de la válvula donde se deja un espacio para instalar el registro, se toma como referencia una distancia de menos de 2 centímetros entre el biodigestor y el registro de lodos. La pendiente de la tubería debe ser de 2 por ciento. El registro debe ser impermeable y contar con una tapa no hermética para así permitir el secado de los lodos y evitar que se mojen cuando llueva.

f. Funcionamiento y proceso séptico

El funcionamiento del biodigestor prefabricado se puede observar en la Figura 7.

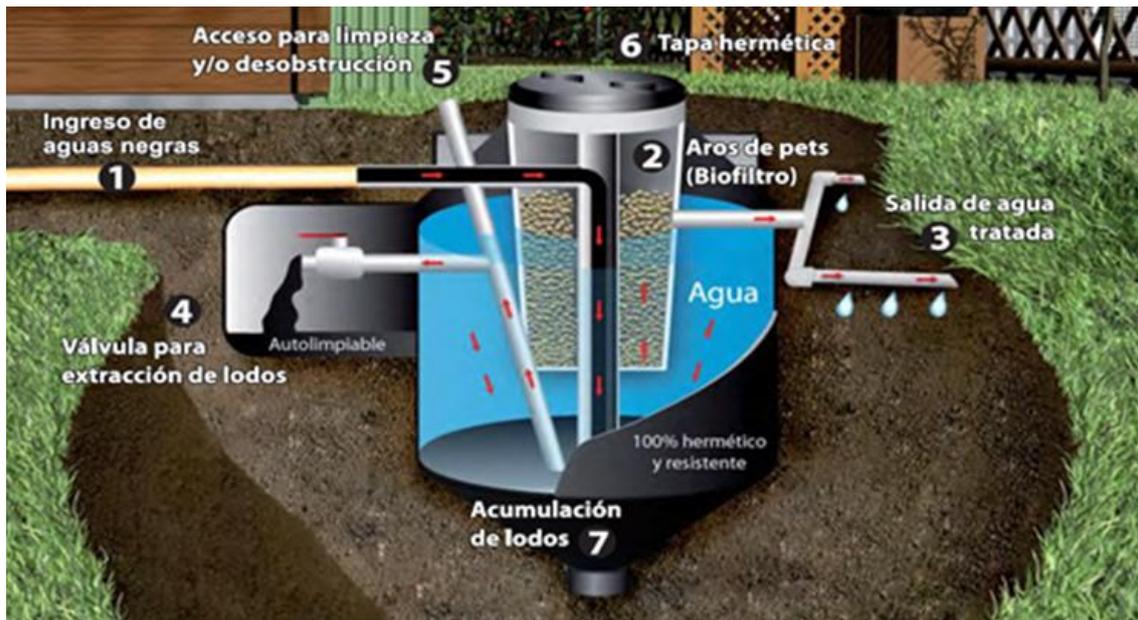


Figura 7: Funcionamiento del Biodigestor Prefabricado

FUENTE: Ficha Técnica Biodigestor Prefabricado Rotoplas, 2014

El biodigestor prefabricado funciona de la siguiente manera:

- El agua ingresa por el tubo N° 1 hasta el fondo, donde las bacterias inician la descomposición.
- Luego sube y pasa por el filtro N° 2, donde la materia orgánica que asciende es atrapada por las bacterias fijadas en los anillos de plástico del filtro.
- El agua tratada sale por el tubo N° 3 hacia un área de percolación (pozo de absorción o zanja de infiltración).

El proceso séptico comienza cuando las aguas negras se introducen al biodigestor por la conexión al desagüe y se dirigen al fondo de lodos. En esta área de lodos se va a formar una colonia de bacterias anaerobias, que van a alimentarse con las excretas.

El fondo cónico del biodigestor permite reducir las áreas muertas y permite a lo que denominan la autolimpieza, que es la salida de lodos.

Las aguas tratadas, al pasar por el filtro, realizan nuevamente el proceso séptico con una segunda colonia formada en los aros plásticos (pet). Al descargar estas aguas al área de percolación, culmina el proceso eliminando la presencia de olores y contaminantes.

Los lodos resultantes de este proceso se limpian cada 12 o 18 meses dejando salir los lodos a través de la válvula para la extracción de lodos.

g. Beneficios del uso del biodigestor prefabricado

Según la ficha técnica del biodigestor prefabricado (2014), su uso tiene los siguientes beneficios:

- Es autolimpiable y no requiere de bombas ni medios mecánicos para la extracción
- de lodos. El usuario con solo abrir una válvula extrae los lodos digeridos, eliminando costos de mantenimiento.
- El sistema es netamente hidráulico.
- Es práctico de instalar porque es prefabricado, por lo que se requiere un menor volumen de excavación. Utilizable en todo tipo de terreno, fácil de transportar, instalar y supervisar. Es posible instalarlo en menos de un día.
- Es cien por ciento hermético y resistente: no se fisura y confina de una manera segura las aguas negras residuales.
- La ausencia de olores permite instalar los baños al interior de la vivienda.
- Tiene larga vida útil. Puede durar hasta 35 años.
- Mayor eficiencia en la remoción de constituyentes de las aguas residuales en comparación con sistema tradicional.

2.2.6. MARCO LEGAL

a. Autorización para el vertimiento de aguas residuales

La ANA (Autoridad Nacional del Agua) es el ente rector y máxima autoridad técnico normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, el cual es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Esta encargada en lo que respecta al vertimiento de aguas residuales en cualquier cuerpo natural de agua continental o marina (Decreto ley N° 29338.- Ley de recursos hídricos).

Para ello, debe contarse con la opinión previa favorable de:

- La autoridad ambiental, para lo cual mediante resolución jefatural 0291-2009-ANA se establece que se trata de la autoridad ambiental sectorial o regional correspondiente.

- La autoridad de salud, el Ministerio de Salud (MINSA), con relación al cumplimiento de los estándares de calidad ambiental del agua (ECA para agua) y los límites máximos permisibles (LMP) (Anexo 1)

Para obtener la autorización, el reglamento dispone que se debe presentar el instrumento ambiental pertinente aprobado por la autoridad ambiental respectiva (se entiende, hasta la fecha, la autoridad sectorial encargada de la actividad que se realiza), un documento que debe considerar al menos los siguientes aspectos relacionados con las emisiones:

- Someter los residuos a los necesarios tratamientos previos.
- Comprobar que las condiciones del receptor permitan los procesos naturales de purificación.

En caso de que el vertimiento del agua residual tratada pueda afectar la calidad del cuerpo receptor, la vida acuática asociada a este o sus bienes asociados, según los estándares de calidad establecidos o los estudios específicos realizados y sustentados científicamente, la ANA debe disponer las medidas adicionales que hagan desaparecer o que disminuyan el riesgo en la calidad del agua, que puedan incluir tecnologías superiores, pudiendo inclusive suspender las autorizaciones que se hubieran otorgado al efecto. En caso de que el vertimiento afecte la salud o modo de vida de la población local, la ANA suspende inmediatamente las autorizaciones otorgadas.

b. Autorización para el reuso de aguas residuales

La ANA, a través del consejo de cuenca, es quien autoriza el reuso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine, en coordinación con la autoridad sectorial correspondiente y, cuando corresponda, con la autoridad ambiental nacional.

En los ámbitos donde no se hayan implementado las Autoridades Administrativas del Agua, es la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos quien está facultada a otorgar autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas.

Asimismo, en tanto no exista normatividad de calidad para las autorizaciones de reúso de aguas residuales tratadas, se aplican las directrices sanitarias de la Organización Mundial de la Salud (OMS) u otras normas internacionales que el MINSA establezca.

c. Estándares de calidad ambiental del agua

En julio del 2008 se aprobaron los ECA para agua, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los ECA son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural.

Los ECA para agua son referentes obligatorios:

- En el diseño de las normas legales y las políticas públicas.
- En el diseño y la aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, a partir de la vigencia del Decreto Supremo 023-2009-MINAM que aprueba las disposiciones para la implementación de los ECA para agua.
- Para el otorgamiento de las autorizaciones de vertimientos, a partir del 1 de abril del 2010.

En la Figura 8, se pueden apreciar las condiciones y los pasos necesarios para autorizar el vertimiento de aguas residuales a cualquier cuerpo de agua continental o marítima.

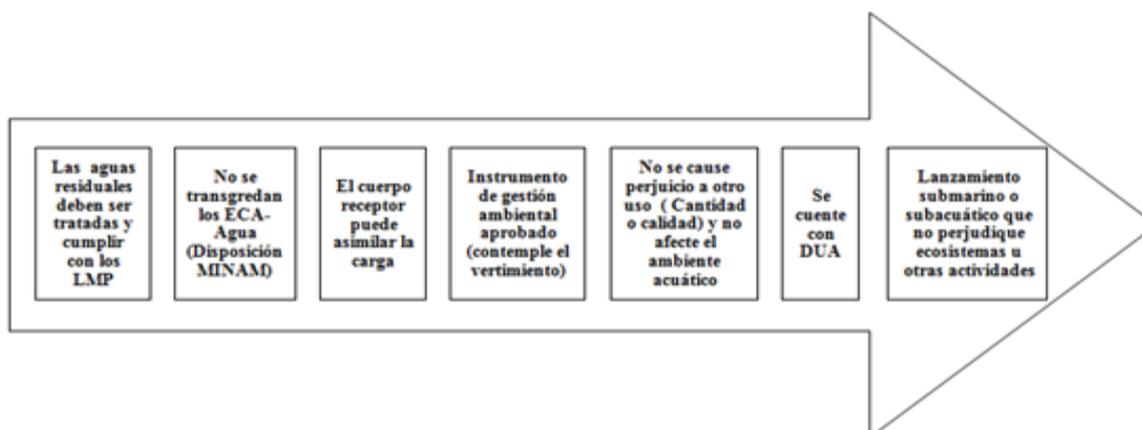


Figura 8: Condiciones para autorizar el vertimiento de aguas residuales

FUENTE: ANA 2013

d. Base legal

En el Perú, para la fiscalización de aguas residuales se tiene la siguiente base legal:

- Ley N° 28611.- Ley general del ambiente
- Ley N° 29338.- Ley de recursos hídricos
- Reglamento de la Ley N° 29338 - Ley de recursos hídricos, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG
- Texto único ordenado del reglamento de la Ley general de servicios de saneamiento - Ley N° 26338, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2005-vivienda
- Ley N° 27972 - Ley orgánica de municipalidades
- Decreto supremo N° 003-2010-MINAM - Decreto Supremo que aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales
- Reglamento de protección ambiental para proyectos vinculados a las actividades de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 015-2012-vivienda.
- Reglamento de organización y funciones de la Autoridad Nacional del Agua, aprobado por Decreto Supremo N° 006-2010-AG
- Resolución jefatural N° 274-2010-ANA que dicta medidas para la implementación del programa de adecuación de vertimientos y reúso de agua residual – PAVER
- Resolución ministerial N° 269-2009-vivienda que aprueba los lineamientos para la regulación de los servicios de saneamiento en los centros poblados de pequeñas ciudades
- Decreto Supremo N° 021-2009-vivienda que aprueba valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario
- Reglamento general de la superintendencia nacional de servicios de saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 017- 2001-PCM
- Reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas, aprobado por resolución jefatural N° 224-2013-ANA
- Reglamento de organización y funciones del ministerio, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2002-vivienda
- Reglamento de organización y funciones del ministerio de salud, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2005-SA

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Envases de plástico esterilizados, para la toma de muestra de las aguas residuales generadas en los servicios higiénicos, así como para el lodo y el agua tratada producidas por el biodigestor prefabricado.
- Preservantes utilizados para cada tipo de muestra a tomar, en caso aplique.
- Vasos de precipitados.
- Cooler para mantener las muestras, hasta su posterior traslado al laboratorio.
- Agua destilada
- Papel Tissue
- Etiquetas

3.1.1. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Subestación Eléctrica Cotaruse ubicada en la carretera Puquio-Abancay kilómetro 294 s/n, Distrito de Cotaruse a 4103.75 msnm., Provincia de Aymarai, Departamento de Apurímac (Ver Figura 9). Esta subestación se encuentra ubicada dentro del sistema de transmisión 220 kV Mantaro-Socabaya.

Dentro de la Subestación eléctrica Cotaruse se encuentran el servicio higiénico y el lavadero multiuso, mientras que el biodigestor prefabricado se encuentra instalado a unos 10 metros del perímetro de la subestación.



Figura 9: Mapa de Apurímac

FUENTE: Atlas del Perú.

a. Topografía

El distrito de Cotaruse se encuentra ubicado sobre las estribaciones andinas altas, donde la gran parte está asentada sobre una superficie uniformemente inclinada.

La subestación se encuentra ubicada en el distrito de Cotaruse, el cual presenta características de topografía similares al distrito por lo que tiene una superficie predominantemente inclinada.

b. Clima

El clima del distrito de Cotaruse es variado, presenta una estación seca durante los meses de abril a noviembre y lluviosa de diciembre a marzo. La temperatura máxima oscila entre los 12 y 16°C y la mínima entre 4 y 8°C en la época de invierno. A lo largo de todo el año se identifica una variación climática normal que es la disminución de temperaturas en horas de la noche.

c. Cobertura vegetal

La vegetación ubicada en las instalaciones de la subestación Cotaruse y a sus alrededores está representada por el ichu.

d. Duración

La presente investigación tuvo una duración de 10 meses. Tiempo que incluye la

instalación, toma de muestras del biodigestor y el trabajo de gabinete.

3.1.2. DISEÑO DEL BIODIGESTOR PREFABRICADO

El presente diseño del biodigestor se encuentra basado en una modificación de un biodigestor continuo. El reactor utilizado para la investigación fue el biodigestor prefabricado Rotoplas de 600 litros de capacidad debido a la mínima cantidad de agua residual doméstica generada por el personal de la subestación eléctrica Cotaruse.

En la Tabla 5, se muestran las características del biodigestor prefabricado empleado en la presente investigación.

Tabla 5: Características del Biodigestor Prefabricado

Biodigestor Prefabricado	
Modelo	RP-600
Capacidad	600L
Altura máxima con tapa	1.65 m
Diámetro máximo	0.86 m
Capacidad aguas residuales domiciliarias (Número de Personas)	5

FUENTE: Ficha Técnica Biodigestor Prefabricado Rotoplas, 2014

3.1.3. NORMATIVA

El marco normativo nacional aplicado en la presente investigación fue la siguiente:

- Decreto Supremo N °003-2010 MINAM por el cual se aprueban los Límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (PTAR), para el sector vivienda y las directrices sanitarias de la OMS 2006 (Tabla 6).

Tabla 6: Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos de cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 -8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/l	150
Temperatura	°C	<35

FUENTE: D.S 003-2010 MINAM.

3.2. METODOLOGÍA

3.2.3. FASE DE GABINETE: PLANEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Para cumplir con los objetivos de la presente investigación, se planteó un tratamiento a base de aguas residuales domésticas provenientes del servicio higiénico (retrete, lavamanos y ducha) y lavadero multiuso de la subestación eléctrica Cotaruse. Estas aguas residuales fueron tratadas mediante un biodigestor prefabricado Rotoplas.

Se debe tener en cuenta que la alimentación al biodigestor se realizó a través de la red de tuberías ubicadas desde el interior de la subestación eléctrica Cotaruse.

Dicho biodigestor fue instalado a las afueras de la subestación eléctrica en febrero del 2015, sin embargo para fines de la presente investigación fue monitoreado en diciembre del 2015, con una alimentación diaria debido al uso constante del servicio higiénico y el lavadero por parte del personal que labora en la subestación.

3.2.4. COLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La época de recolección y toma de muestras fue en el período de lluvia.

La muestra de agua residual se obtuvo de la caja registro, anterior a la entrada al biodigestor

prefabricado, mientras que la muestra del lodo y agua tratada se tomaron a la salida del mismo. Dichas muestras fueron trasladadas al laboratorio inmediatamente después de ser colectadas para los análisis respectivos.

3.2.5. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

a. Análisis de datos

El método utilizado para el análisis del agua residual fue el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA-AWWA-WEF 22nd Edition. Para la caracterización de aguas residuales entrantes (no tratadas), aguas residuales salientes (después del tratamiento) y lodos. Se analizaron los parámetros según las Tablas 7,8 y 9.

Tabla 7: Parámetros de caracterización de las aguas residuales no tratadas

Parámetro	Unidad
Ph	unid. pH
DBO	mg/l
DQO	mg/l
Sólidos suspendidos Totales	mg/l
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml
Aceites y grasas	mg/l
Temperatura	°C

Tabla 8: Parámetros de caracterización de las aguas residuales tratadas

Parámetro	Unidad
pH	unid. pH
DBO	mg/l
DQO	mg/l
Sólidos suspendidos Totales	mg/l
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml
Aceites y grasas	mg/l
Temperatura	°C

Tabla 9: Parámetros de caracterización de lodos

Parámetro	Unidad
pH	unid. pH
DBO	mg/l
DQO	mg/l
Sólidos suspendidos Totales	mg/l
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml
Aceites y grasas	mg/l
Temperatura	°C

- **Parámetros analizados en campo**

p.H

Se utilizó el método del Electromagnético según APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and waste water.

Temperatura

La temperatura se registró en °C. El método utilizado fue SMEWW- APHA- AWWA-WEF Part 2550 B, 22nd Ed. 2012 .Temperature. Laboratory and Field Methods.

- **Parámetros analizados en el laboratorio**

DBO5

Las muestras fueron recolectadas en frascos de plástico de polietileno y frascos de vidrio. Luego fueron trasladadas dentro de un conservador (cooler) hacia el laboratorio de CERPER. (Certificaciones del Perú S.A.) . Se utilizó el método del Electrodo de membrana según APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and waste water. Los resultados se registraron en mg/l.

DQO

Las muestras fueron recolectadas en frascos de plástico de polietileno de 1 litro de capacidad y en frascos de vidrio. Luego fueron trasladadas dentro de un conservador, hacia el laboratorio de CERPER (Certificaciones del Perú S.A.). Se utilizó el método

de reflujo cerrado con dicromato según APHA, AWWA, WEF. Standard methods for examination of water and wastewater. Se registró en mg/l.

Sólidos suspendidos

Las muestras fueron recolectadas en frascos de plástico de polietileno de 1 litro de capacidad y frascos de vidrio. Luego fueron trasladadas dentro de un conservador (cooler) hacia el laboratorio CERPER (Certificaciones del Perú S.A.). En el laboratorio, las muestras fueron filtradas a través de un disco de papel filtro. El filtro con los sólidos retenidos se depositaron en una cápsula de porcelana y se sometieron a calefacción a una temperatura de 103°C-105°C. El peso del sólido retenido por el filtro en mg/l representó los sólidos suspendidos totales. Según la denominación APHA 2540-D.

Coliformes Termotolerantes

Las muestras se recolectaron en frascos de vidrio de 500 ml y en dos frascos de plástico de polietileno de 1 litro de capacidad. Las muestras se trasladaron dentro de un contenedor (cooler) hacia el laboratorio de CERPER (Certificaciones del Perú S.A.). Se utilizó el método estandarizado de tubos múltiples APHA,AWWA;WEF. Part 9221E1 21th ed. 2005. Los resultados se reportaron en NMP/100 ml.

Sólidos totales

Para su determinación las muestras fueron recolectadas en frascos de plásticos de polietileno de 1 litro de capacidad y frascos de vidrio. Luego fueron trasladadas dentro de un cooler hacia el laboratorio de CERPER (Certificaciones del Perú S.A.). Las muestras, colocadas en una cápsula de porcelana, fueron evaporadas y secadas en una estufa eléctrica a una temperatura de 103°C–105°C. Según el método APHA 2540 D22nd Ed. 2012 del Standard Methods. Los resultados en mg/l representaron los sólidos totales.

Aceites y grasas

Para su determinación se utilizó la norma EPA method 1664, Revision B 2010 n-Hexane Extractable material (HEM; Oil and grease) and silica gel treated n-Hexane

Extractable Material (SGT-HEM; Non – polar Material) by Extraction and Gravimetry.

b. Puntos de muestreo

Los parámetros se analizaron en los siguientes puntos de muestreo (Tabla 10).

Tabla 10: Puntos de muestreo

Puntos de muestreo	Tipo de sustancia	Descripción	Coordenadas UTM WGS 84	
			Este	Norte
P-1	Agua residual sin tratar	Antes de ingresar biodigestor	18L0683104	8392564
P-2	Agua residual tratada	A la salida del biodigestor	18L0683162	8392546
P-3	Lodos	A la salida del biodigestor	18L0683170	8392540

- **Afluente de aguas residuales domésticas**

Se ubicó un punto de muestreo (P-1) en el ingreso del agua residual doméstica de la sub estación Cotaruse al biodigestor prefabricado.

Efluente del biodigestor prefabricado

Los puntos de muestreo (P-2 y P-3) son los dos dispositivos de salida del biodigestor prefabricado. En el punto P-2, se tomaron muestras de aguas residuales tratadas y en el punto P-3, muestras de lodos. (Ver Figura 10).



Figura 10: Puntos de muestreo

c. Análisis de eficiencia

El análisis de la eficiencia del biodigestor prefabricado se realizó con la comparación de la calidad del agua residual cruda y tratada y verificando el cumplimiento del agua tratada por el biodigestor con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la normativa para los efluentes PTAR. Los lodos obtenidos también fueron comparados con los límites máximos permisibles. Así mismo, se compararon los resultados obtenidos de las aguas tratadas con lo ofrecido por la empresa fabricante del biodigestor.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se presentan a continuación están relacionados de forma directa a los objetivos planteados de la investigación.

4.1. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

En la subestación eléctrica Cotaruse, se estimó que una persona representa una descarga de 162 litros/día. Fue muy importante definir este dato teniendo en cuenta, por ejemplo “usos” de agua que a veces se tienen tan altos como 400 litros por persona por día, o en forma contraria es posible contar con la utilización de dispositivos de bajo consumo y reglas claras para un uso racional de agua.

En la subestación eléctrica estuvieron trabajando diariamente 2 personas lo que produjo 324 l/día por lo que haciendo las conversiones este valor representa 0,324 m³/día.

En la Tabla 11, se puede apreciar el caudal promedio por día en la subestación eléctrica.

Tabla 11: Cuantificación del caudal de la subestación eléctrica Cotaruse

Tipo de fuente	Número de personas	Volumen /persona (litros)	Volumen total al día (litros)	Comentarios
Lavamanos de baño	2	20	40	Consumo de aguas x 5´ día
Retrete	2	40	80	Uso 3- 4 veces al día/ persona
Lavadero	2	42	84	Lavado de ropa, objetos diversos.
Ducha	2	60	120	Calculado en 5´ de uso.
Total			324	Cantidad total de agua usada

4.2. BIODIGESTOR PREFABRICADO

4.2.1. DISEÑO E INSTALACIÓN

Las dimensiones del biodigestor se eligieron de acuerdo al número de personas que estuvieron trabajando en la subestación Cotaruse (2 trabajadores), así como, al caudal de aguas residuales que se produjo. Por tal motivo, se instaló el biodigestor con capacidad de 600 litros. Para su instalación, se hizo previamente un planeamiento del sistema (biodigestor y tuberías).

Para ubicar el sistema de tratamientos de efluentes, en el terreno se escogió una zona alta, en la que no se formen charcos o se inunde cuando llueva, así mismo el suelo del área elegida era firme sin piedras afiladas o raíces para evitar algún daño al equipo.

El biodigestor se ubicó fuera de de la subestación, aproximadamente a 10 metros de distancia. En la Figura 11, se puede apreciar el área de instalación del biodigestor prefabricado.

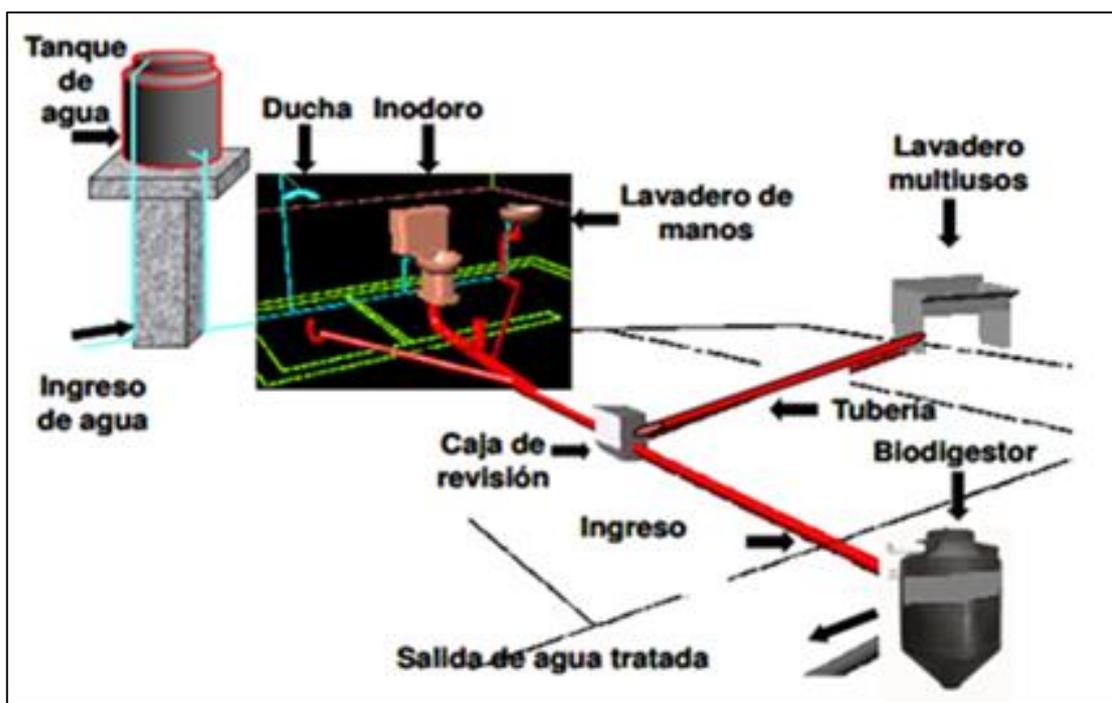


Figura 11: Área de instalación del biodigestor prefabricado

FUENTE: Ficha Técnica Biodigestor Prefabricado Rotoplas, 2014

4.2.2. FUNCIONAMIENTO

- El agua residual doméstica fue captada de la red de tuberías provenientes del servicio higiénico (retrete, lavamanos y ducha) y lavadero multiuso ubicados al interior de la subestación eléctrica Cotaruse.
- El ingreso del agua residual al biodigestor se realizó a través de una tubería de PVC de 4” hasta el fondo del mismo, donde las bacterias iniciaron la descomposición.
- El agua residual ubicada al interior del biodigestor prefabricado subió y pasó por el filtro biológico con aros de plástico pets donde la materia orgánica que ascendió fue atrapada por las bacterias fijadas en los anillos de plástico del filtro.
- Como resultado del tratamiento biológico se obtuvo agua tratada, cuya salida se dio a través de una tubería de PVC de 2”.
- Así mismo, los lodos obtenidos del tratamiento biológico dentro del biodigestor fueron extraídos a través de una tubería de PVC de 2” para su posterior disposición final.
- Durante el funcionamiento no se observaron obstrucciones ni anomalías en las tuberías.

4.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA Y NO TRATADA

Los resultados del análisis de las aguas residuales tratadas y no tratadas, se muestran en la Tabla 12, estos valores se obtuvieron del Anexo 2.

Tabla 12: Resultados del agua residual no tratada y tratada– Diciembre 2015

Parámetros	Unidades	ENTRADA P-1	SALIDA P-2	% de remoción
Aceites y grasas	mg/l	4.1	7.8	
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	330 000	230 000	30%
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	204.0	113.0	44.6 %
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/l	256.8	310.90	
pH	unidad de pH	7.24	7.31	----
Sólidos suspendidos totales	mg/l	61.4	21.5	65 %
Temperatura	°C	13.60	13.8	---

*P-1: Punto de muestreo a la entrada del biodigestor (agua residual no tratada)

*P-2: Punto de muestreo a la salida del biodigestor (agua residual tratada)

4.4. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS (P-1)

4.4.1. TEMPERATURA

La temperatura del agua residual es un parámetro muy importante dada su influencia sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción en la reacción anaerobia. En la investigación, la temperatura registrada del agua residual a la entrada del biodigestor fue de 13.6°C. Esta característica física del agua residual fue más elevada que el agua del suministro hecho principalmente debido a la incorporación y uso de agua caliente en la subestación.

4.4.2. p.H

El valor de pH a la entrada del biodigestor fue de 7.24. Este valor evidencia que el biodigestor prefabricado comenzó operando en condiciones neutras. Este parámetro tiene importancia en el control de los procesos biológicos del tratamiento de las aguas residuales (TAR). La mayoría de los microorganismos responsables de la depuración de las aguas residuales se desarrollan en un rango de pH óptimo entre 6,5 y 8,5.

4.4.3. SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN

La cantidad de sólidos totales en suspensión fue de 61.4 mg/l. Por definición corresponden a la fracción de sólidos que fue retenida por el filtro, y que posteriormente queda como residuo, después de someter a evaporación a temperaturas entre 103-105 °C. Están constituidos por un 70% de sólidos orgánicos y un 30% de sólidos inorgánicos.

Según el cuadro de composición típica de agua residual doméstica de Metcalf & Eddy (1985), la cantidad de sólidos totales en suspensión en las aguas residuales provenientes de la subestación tuvo una concentración baja.

4.4.4. DBO

La cantidad de oxígeno utilizado durante la descomposición de la materia orgánica del agua residual fue de 204 mg/l. La DBO nos permitió determinar la fracción biodegradable de la materia orgánica presente en una muestra y además nos sirvió como indicador de la comida disponible para el sistema biológico (materia orgánica) (Ramalho R.S., 1996). La DBO suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas servidas domésticas e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas.

Según el cuadro de composición típica de agua residual doméstica de Metcalf & Eddy (1985), el resultado obtenido nos indicó una concentración media de DBO en las aguas residuales provenientes de la subestación eléctrica Cotaruse.

4.4.5. DQO

La DQO de las aguas residuales sin tratar fue de 256,8 mg/l. Esta cifra nos indicó la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de Dicromato de Potasio, en una solución de Ácido Sulfúrico y convertirla en dióxido de carbono y agua, en consecuencia la DQO representaría la cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar químicamente una muestra (Ramalho R.S., 1996).

El valor de la DQO fue superior al de la DBO puesto que muchas sustancias orgánicas se oxidaron químicamente pero no biológicamente.

Es común utilizar como indicador de estabilidad la razón DQO/DBO; en aguas residuales domésticas esta razón se encuentra entre 1,8 – 2,2. En nuestro caso, tuvo un valor de 1.3 el cual es inferior al rango promedio del indicador de estabilidad entre estos dos parámetros.

4.4.6. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

En los resultados del análisis de aguas residuales sin tratar hubo una concentración de 330×10^3 NMP/100 ml de coliformes termotolerantes.

Este subgrupo de los coliformes totales, estuvieron formados principalmente por: *Enterobacter*, *Escherichia coli*, *Klebsiella*. Tienen un origen específicamente fecal, en las heces de los seres vivos de sangre caliente y rara vez se encuentran en agua o suelo que no haya sufrido algún tipo de contaminación fecal.

Según el cuadro de composición típica de agua residual doméstica de Metcalf & Eddy (1985), el resultado obtenido indicó una concentración media de coliformes termotolerantes.

4.4.7. ACEITES Y GRASAS

En el resultado de análisis de aguas residuales de la subestación Cotaruse, la concentración de aceites y grasas fue de 4,1 mg/l.

En la determinación de aceites y grasas no se midió una sustancia específica sino un grupo de sustancias con una misma característica físico química (solubilidad). La determinación de grasas y aceites incluyó ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos aceites y cualquier otra sustancia susceptible de ser extraída con hexano.

Algunas de sus características más representativas fueron baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad.

Según el cuadro de composición típica de agua residual doméstica de Metcalf & Eddy (1985), el resultado obtenido indicó una concentración baja de aceites y grasas.

4.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS (P-2)

4.5.1. TEMPERATURA

La temperatura registrada del agua residual tratada de la muestra tomada a la salida del biodigestor fue de 13.8°C. Se produjo un mínimo incremento de temperatura (0.2 °C) con referencia al agua residual sin tratar.

4.5.2. pH

El valor de pH a la salida del biodigestor fue de 7.3. En las aguas naturales y residuales el valor del pH está en el rango de 6.0 a 8.0 unidades de pH. Entonces, los valores obtenidos fueron adecuados para la actividad biológica.

4.5.3. SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN

La cantidad de sólidos totales en suspensión del agua residual tratada fue de 21.5 mg/l, lo que indica que tuvo una concentración baja de sólidos suspendidos.

Este parámetro fue importante para la determinación de la calidad del agua. Los sólidos en suspensión se desempeñaron como contaminantes, tanto debido a la materia orgánica o inorgánica que los forman, como por los agentes patógenos que pueden ser transportados en la superficie de dichas partículas.

4.5.4. DBO

La cantidad de oxígeno utilizado durante la descomposición de la materia orgánica del agua residual tratada fue de 113 mg/l. Este valor de DBO nos indicó que el agua tratada estuvo muy contaminada. El agua con una DBO superior a 30 mg/l ya es considerada contaminada.

4.5.5. DQO

La DQO de las aguas residuales después del tratamiento en el biodigestor fue de 310.9 mg/l. Este valor nos indicó un alto grado de contaminación del agua tratada. La relación DBO/DQO de los resultados del agua tratada (P-2) fue de 0.4. Esto nos indicó que el efluente fue de naturaleza poco biodegradable.

4.5.6. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

En los resultados del análisis de aguas residuales tratada hubo una concentración de 230×10^3 NMP/100 ml de coliformes termotolerantes. Este valor nos indicó que la concentración de este patógeno fue alta y el agua tratada tuvo una fuerte contaminación bacteriológica.

4.5.7. ACEITES Y GRASAS

En el resultado de análisis de aguas residuales tratadas de la subestación Cotaruse, la concentración de aceites y grasas fue de 7.8 mg/l. Este valor nos indicó que hubo una concentración baja de aceites y grasas en el agua tratada.

Las grasas estuvieron presentes en las aguas residuales domésticas provenientes de la subestación, debido al uso de manteca, grasas y aceites vegetales.

4.6. COMPARACIÓN ENTRE LAS AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS Y LAS AGUAS TRATADAS

4.6.1. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA

Se reportaron valores bajos de temperatura del agua residual en la entrada y salida del sistema, esto debido a que la subestación eléctrica se encuentra a 4100 msnm y el agua fue fría al igual que la temperatura ambiente promedio (12.7°C).

En la Figura 12, se puede observar que la temperatura del agua residual fue de 13.6 y 13.8°C a la entrada y la salida respectivamente. La temperatura a la salida fue ligeramente superior, por lo que no existió diferencia significativa de temperatura entre los puntos de muestreo.

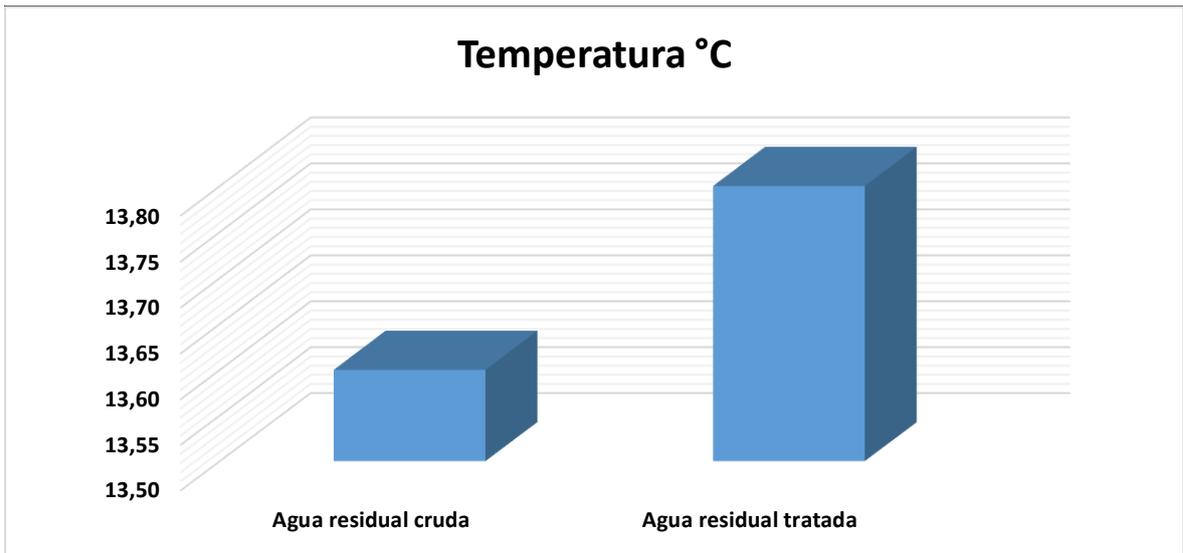


Figura 12: Comportamiento de la temperatura

4.6.2. COMPORTAMIENTO DEL p.H

Los valores de pH en el biodigestor prefabricado se pueden apreciar en la Figura 13, los cuales oscilaron entre 7.24 y 7.31. El p.H tuvo un ligero aumento hacia la salida del biodigestor. El p.H determinó la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas, ocurriendo esta patología cuando es inferior a 6.0. Un adecuado funcionamiento se presentará con un pH en el biodigestor entre 6.5 y 7.5 (Vargas, 2006). Los resultados nos indicaron que el biodigestor operó con un p.H óptimo.

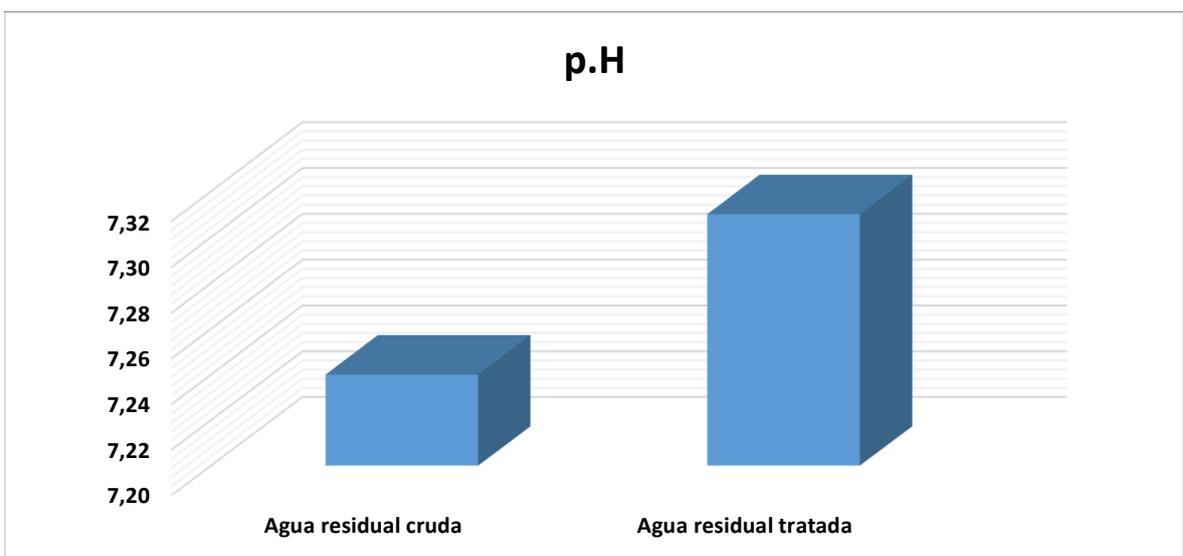


Figura 13: Comportamiento del p.H

4.6.3. COMPORTAMIENTO DE SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN

Los valores de sólidos totales en suspensión a la entrada (P-1) y a la salida (P-2) del biodigestor prefabricado fueron 61.4 mg/l y 21.5 mg/l respectivamente, como se puede observar en la Figura 14. Este parámetro se utilizó para evaluar la calidad general del agua después de un proceso de tratamiento. Un alto valor de sólidos suspendidos es inaceptable e indica que el tratamiento es ineficiente.

En la Figura 15, se puede observar que en el biodigestor se produjo el 65% de remoción de sólidos totales en suspensión.

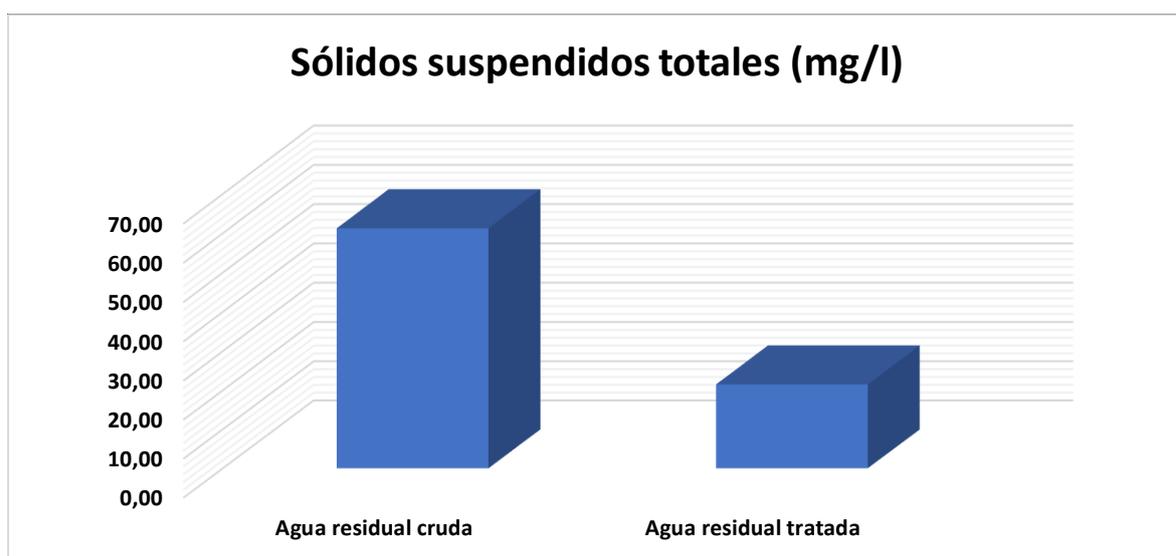


Figura 14: Comportamiento de sólidos suspendidos totales

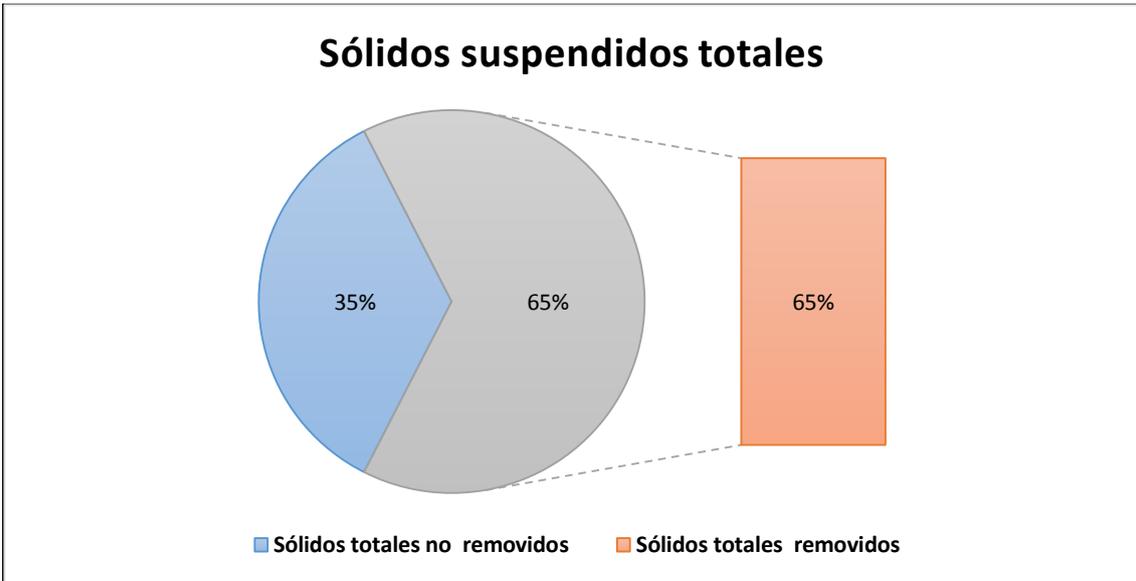


Figura 15: Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales

4.6.4. COMPORTAMIENTO DE DBO

La DBO a la entrada (P-1) y a la salida (P-2) del biodigestor prefabricado fue de 204 mg/l y 113 mg/l respectivamente, como se puede observar en la Figura 16. Los valores de este ensayo representaron la cantidad de oxígeno en mg/l necesaria para que los microorganismos estabilicen la materia orgánica por acción bioquímica aeróbica en una muestra de agua incubada.

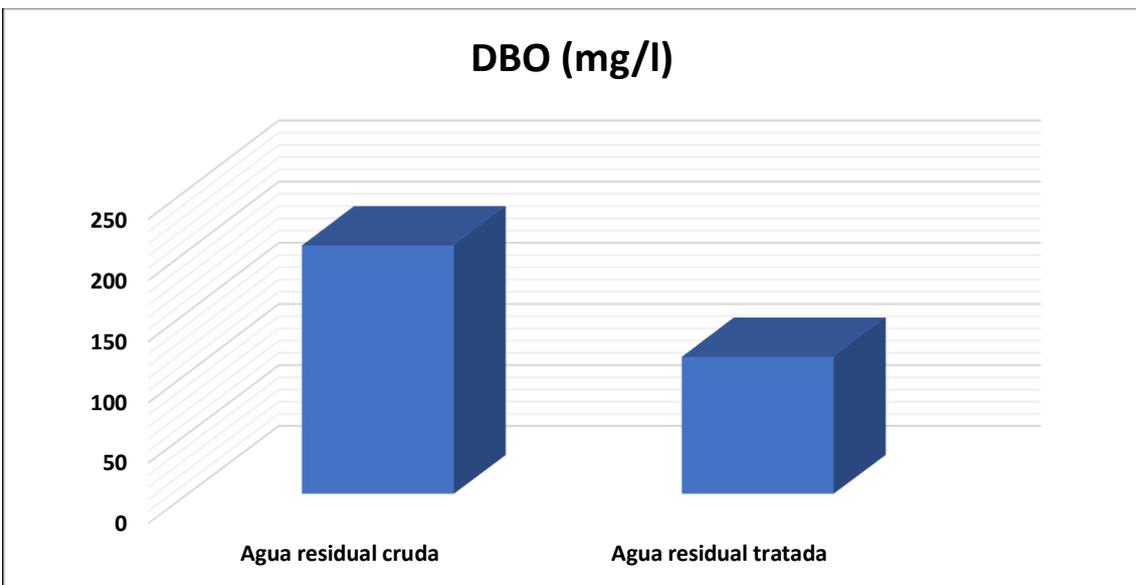


Figura 16: Comportamiento de la DBO

En el biodigestor se produjo el 44.6 % de remoción de DBO, como se puede apreciar en la Figura 17.

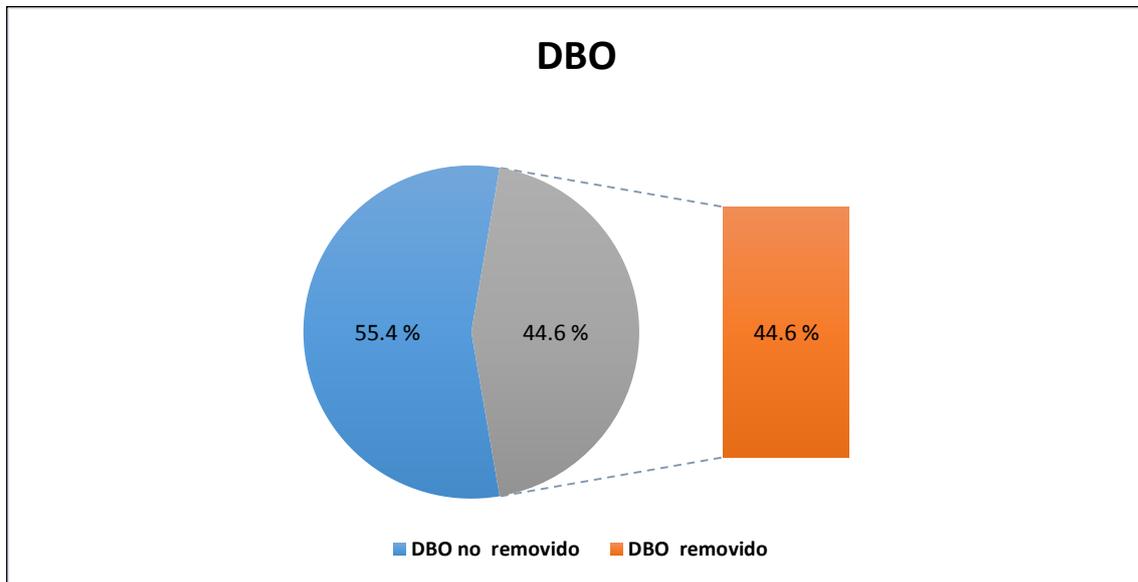


Figura 17: Porcentaje de remoción de la DBO

4.6.5. COMPORTAMIENTO DE LA DQO

Con la DQO medimos la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual. Fue, por tanto, una medida representativa de la contaminación orgánica del efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que nos dio una idea muy real del grado de toxicidad del mismo. La DQO a la entrada (P-1) y a la salida (P-2) del biodigestor prefabricado fueron de 256.8 mg/l y 310.9 mg/l respectivamente, como se puede apreciar en la Figura 18.

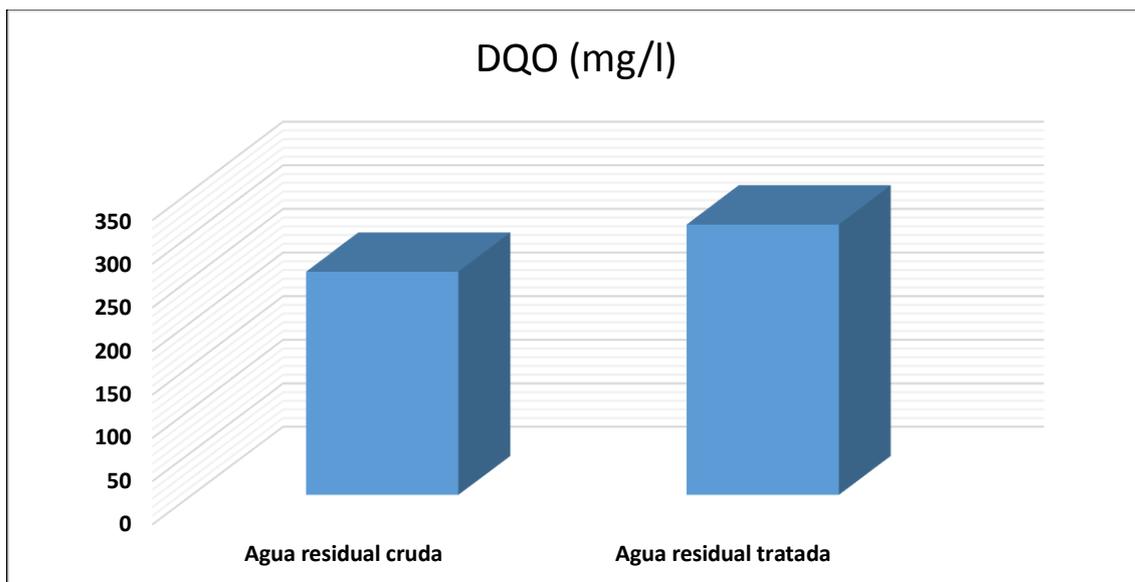


Figura 18: Comportamiento de la DQO

Esto indicó que en el biodigestor no se produjo remoción de DQO, por el contrario el valor se incrementó en un porcentaje de 21.1 %. Este tipo de tratamiento no fue efectivo en la disminución de la demanda química de oxígeno. Esto pudo haberse producido por la propia naturaleza de la materia orgánica que contenga el agua, o bien, por la ineficiencia del funcionamiento del biodigestor durante el tratamiento.

4.6.6. COMPORTAMIENTO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES

En la Figura 19, se puede observar la cantidad de coliformes termotolerantes a la entrada (P-1) y a la salida (P-2) del biodigestor prefabricado. Estos valores fueron de 330×10^3 NMP/100 ml y 230×10^3 NMP/100ml respectivamente. Esto indicó que en el biodigestor se produjo el 30 % de remoción de coliformes termotolerantes (Figura 20).

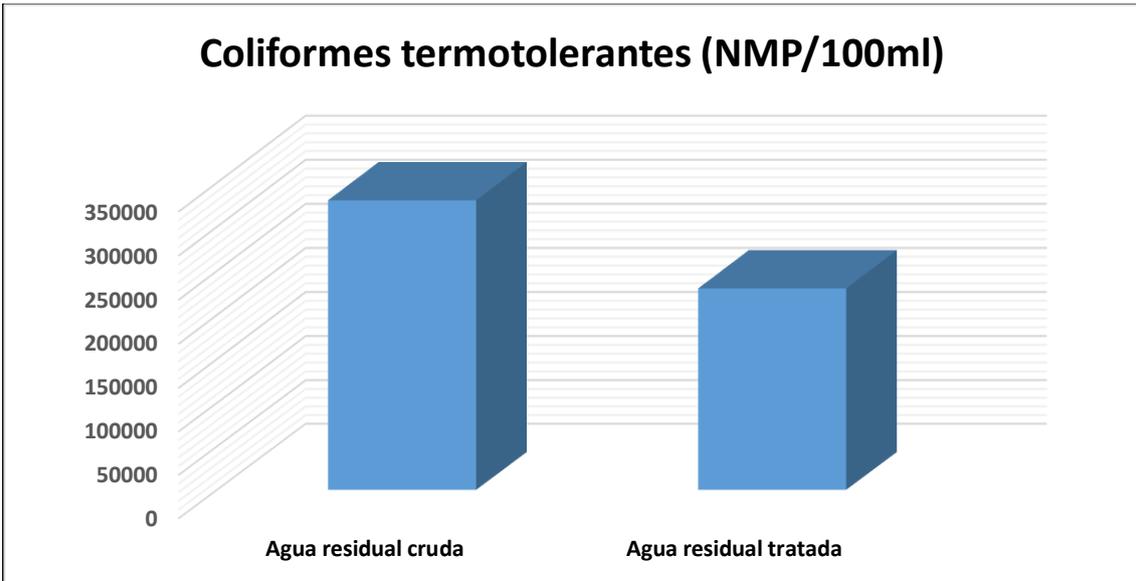


Figura 19: Comportamiento de los Coliformes Termotolerantes

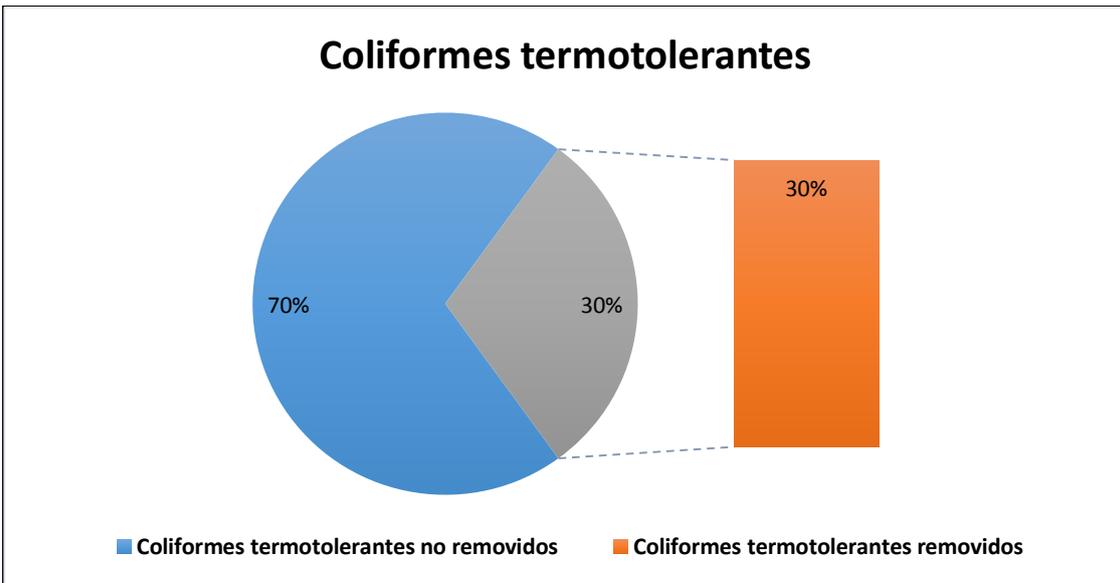


Figura 20: Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes

La presencia y extensión de contaminación fecal fue un factor importante en la determinación de la calidad de agua. Las heces contienen una variedad de microorganismos y formas de resistencia de los mismos, involucrando organismos patógenos, los cuales son un riesgo para la salud pública al estar en contacto con el ser humano.

El examen de muestras de agua para determinar la presencia de microorganismos del grupo coliforme que habitan normalmente en el intestino humano y de otros animales de sangre caliente, dio una indicación para estimar el grado de contaminación fecal.

De acuerdo a los resultados de los análisis, las aguas residuales tratadas y no tratadas tuvieron un alto contenido de coliformes termotolerantes, por lo tanto estuvieron contaminadas.

4.6.7. COMPORTAMIENTO DE ACEITES Y GRASAS

La cantidad de aceites y grasas a la entrada (P-1) y a la salida (P-2) del biodigestor prefabricado fue de 4.1 mg/l y 7.8 mg/l respectivamente, como se puede observar en la Figura 21. Esto indicó que en el biodigestor no se produjo remoción de aceites y grasas. Por el contrario hubo un aumento de 90 % de aceites y grasa en el agua tratada. Esto pudo deberse a la falta de mantenimiento y limpieza adecuada y/o a la alta concentración de aceites y grasas que tuvieron los lodos que permanecieron dentro del biodigestor.

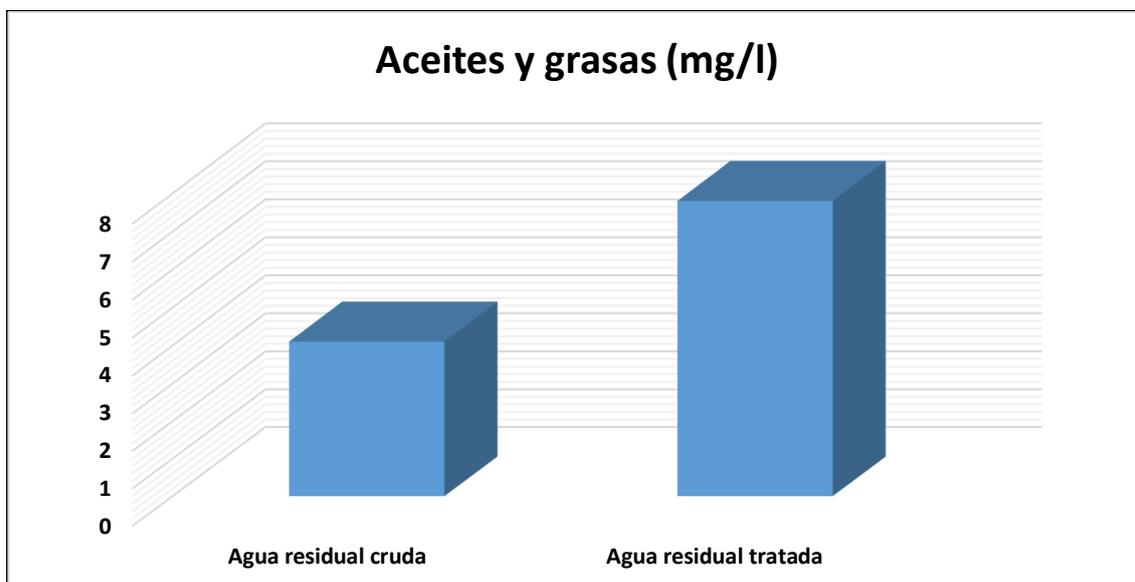


Figura 21: Comportamiento de aceites y grasas

Las grasas y aceites han generado muchos problemas en el tratamiento de residuos porque son inmiscibles con el agua, entonces van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del

tratamiento de un agua residual.

4.7. EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DE LAS AGUAS TRATADAS CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

4.7.1. ACEITES Y GRASAS

El resultado de aceites y grasas obtenido del agua tratada del biodigestor fue de 7,8 mg/l. por lo que estuvo dentro de los límites máximos permisibles para los efluentes PTAR cuyo valor no debe sobre pasar los 20 mg/l (Figura 22).

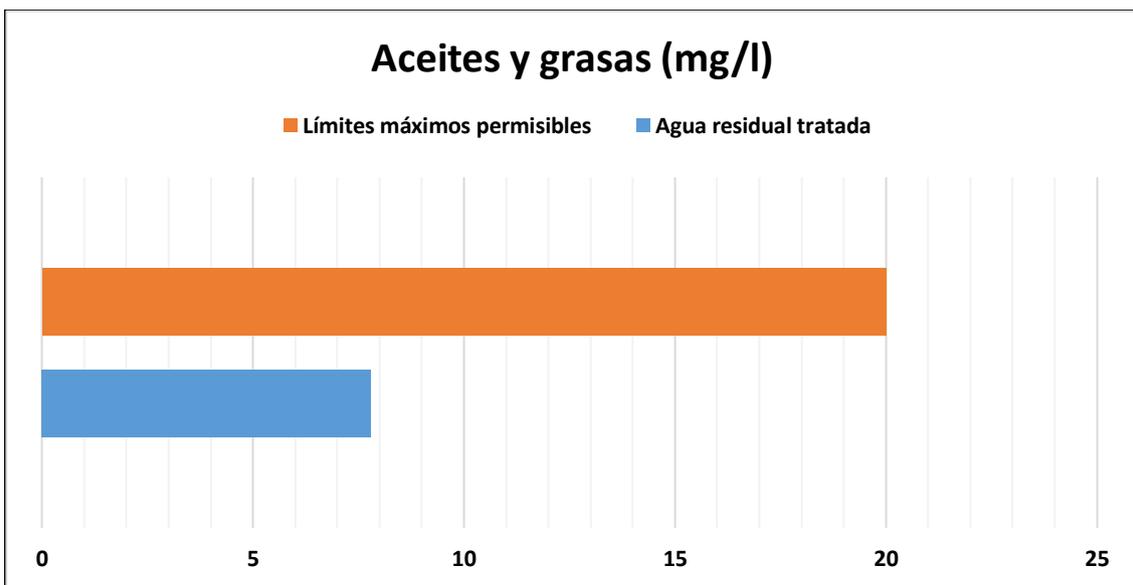


Figura 22: Comparación de aceites y grasas del agua residual tratada y LMP.

4.7.2. DBO

El resultado de DBO obtenido del agua tratada del Biodigestor prefabricado fue de 113 mg/l por lo que se excedió en un 13 % a los límites máximos permisibles para los efluentes PTAR cuyo valor no debe sobre pasar los 100 mg/l (Figura 23).

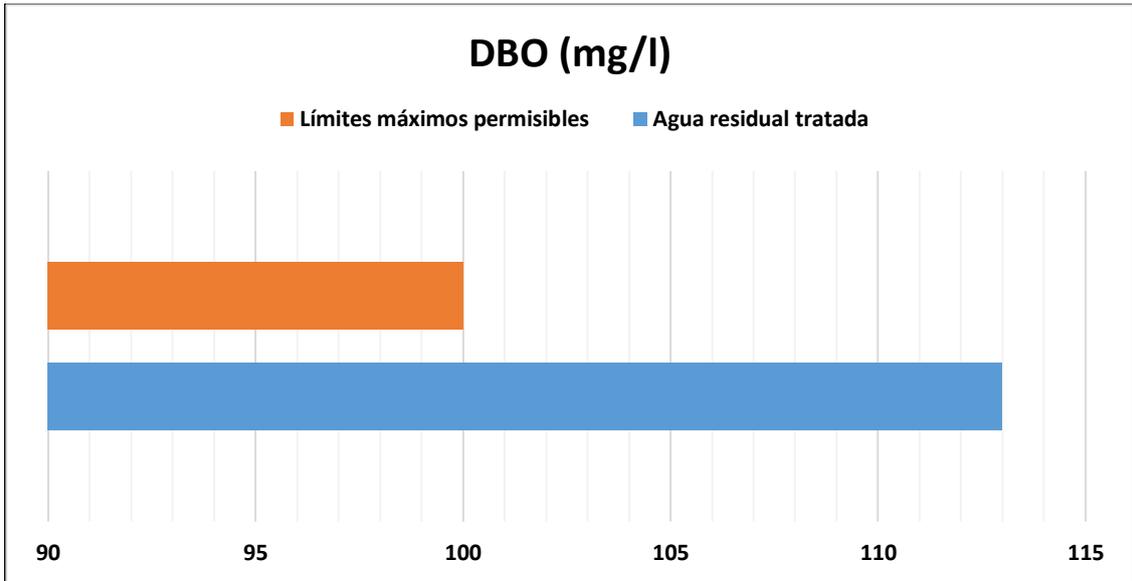


Figura 23: Comparación de la DBO entre el agua residual tratada y LMP

4.7.3. DQO

El resultado de DQO obtenido del agua tratada del Biodigestor prefabricado fue de 310.9 mg/l por lo que se excedió en un 55.5 % a los límites máximos permisibles para los efluentes PTAR cuyo valor no debe sobre pasar los 200 mg/l (Figura 24).

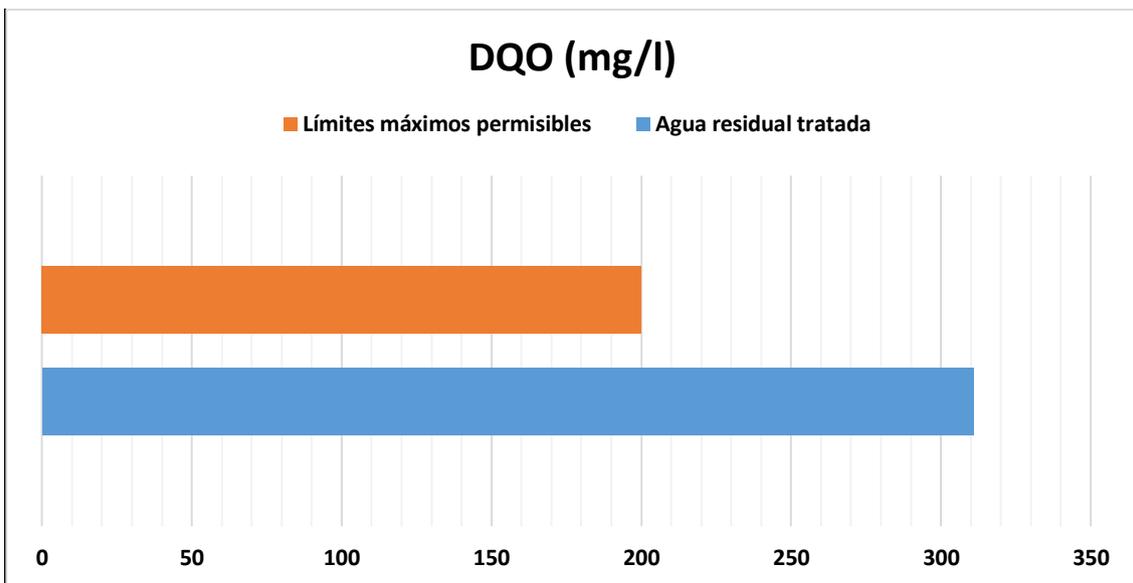


Figura 24: Comparación de la DQO del agua residual tratada y LMP

4.7.4. pH

El resultado de pH del agua tratada fue de 7.31 por lo que estuvo dentro del rango de los límites máximos permisibles para los efluentes PTAR cuyo valor debe oscilar entre 6.5 a 8.5 (Figura 25).

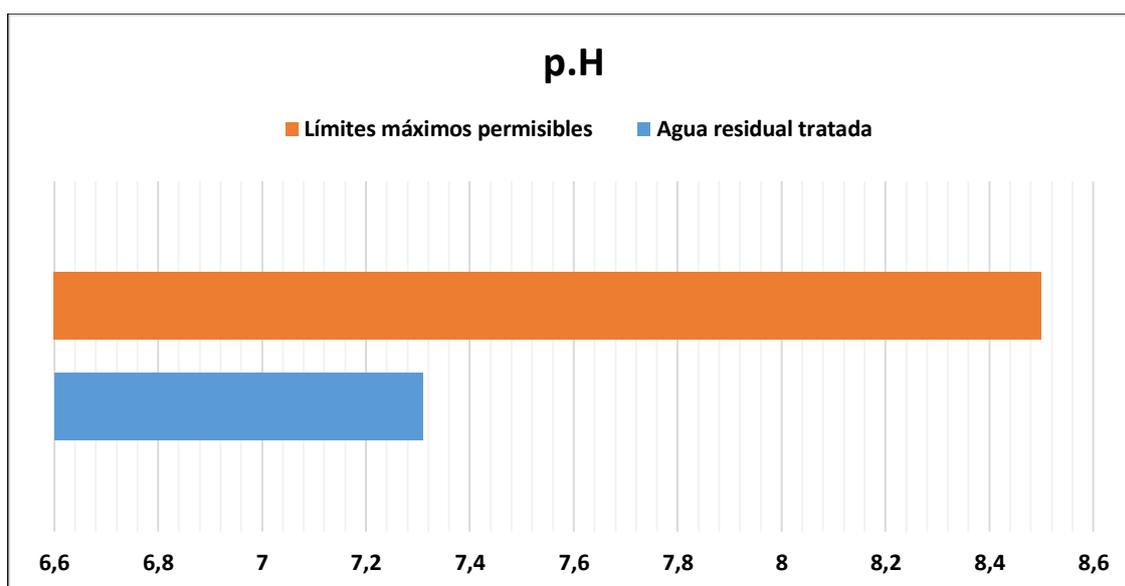


Figura 25: Comparación de p.H del agua residual tratada y LMP

4.7.5. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

El resultado de SST obtenido del agua tratada del biodigestor prefabricado fue de 21,5 mg/l por lo que estuvo dentro del rango de los límites máximos permisibles para los efluentes PTAR cuyo valor no debe sobre pasar los 150 mg/ L (Figura 26)

4.7.6. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

El resultado de coliformes termotolerantes del agua tratada del biodigestor prefabricado fue de 230×10^3 NMP/100 ml por lo que sobrepasa a los límites máximos permisible para los efluentes PTAR cuyo valor no debe exceder los 10×10^3 mg/ l (Figura 27).

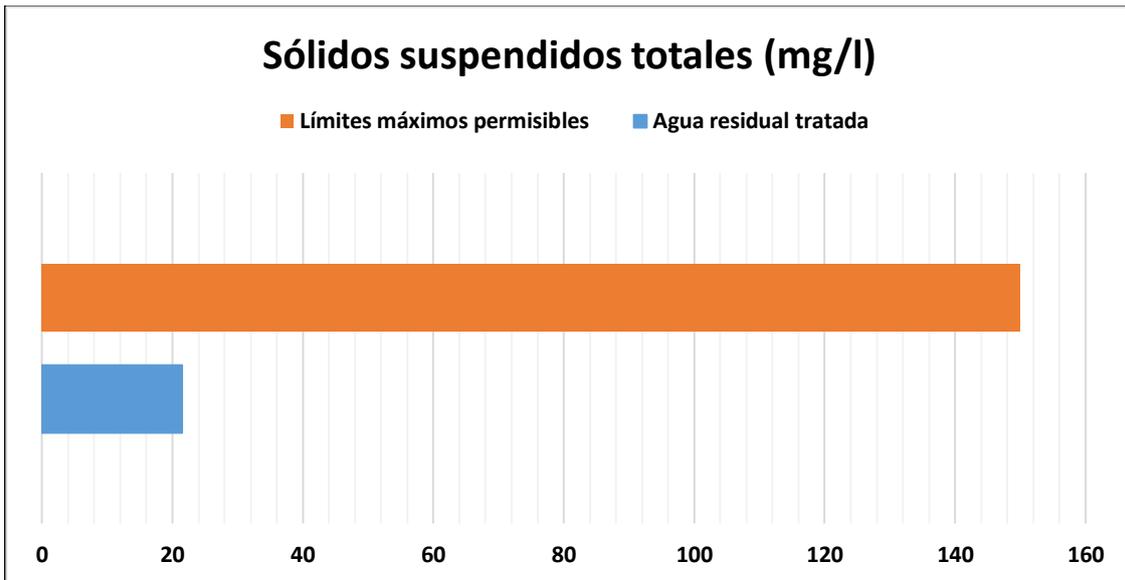


Figura 26: Comparación SST del agua residual tratada y LMP

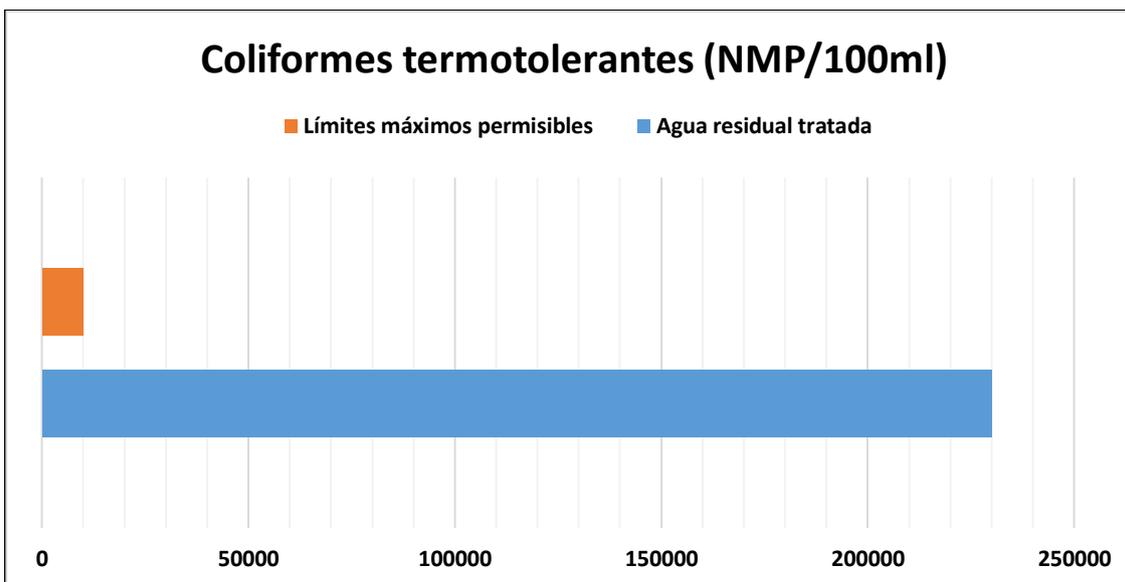


Figura 27: Comparación de Coliformes termotolerantes del agua residual tratada y LMP

4.7.7. TEMPERATURA

La temperatura del agua tratada del biodigestor prefabricado fue de 13.8° C por lo que estuvo dentro de los límites máximos permisibles para los efluentes PTAR cuyo valor no debe exceder los 35°C (Figura 28).

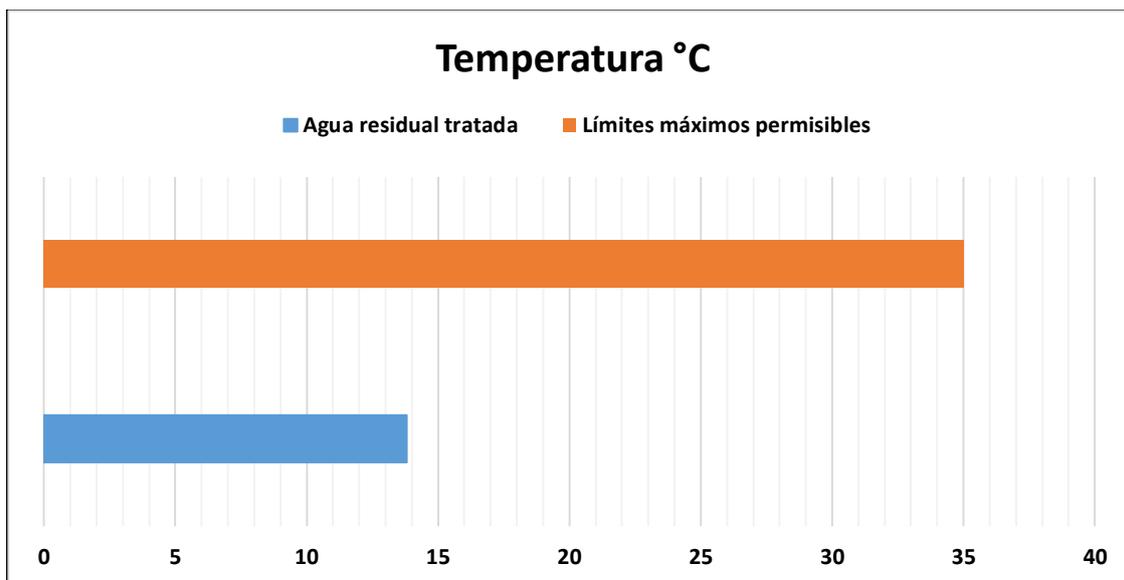


Figura 28: Comparación de temperatura entre el agua residual tratada y LMP

En la Tabla 13, se pueden apreciar los resultados del análisis de cada parámetro evaluado de las aguas residuales tratadas comparándolas con los límites máximos permisibles (D.S 003-2010- MINAM) y determinando su cumplimiento.

Tabla 13: Resultados de la calidad de Efluente a la salida comparando con LMP del D.S 003-2010- MINAM

Parámetros	Unidades	Resultados afluente a la entrada	Resultados efluente a la salida	D.S 003-2010 MINAM (LMP)	Cumple con LMP
Aceites y grasas	mg/l	4.1	7.8	20	Sí
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	330 000	230 000	10000	No
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	204.0	113.0	100	No
Demanda química de oxígeno	mg O ₂ /L	256.8	310.90	200	No
pH	Unidad pH	7.24	7.31	6.5 - 8.5	Sí
Sólidos suspendidos totales	mg/L	61.4	21.5	150	Sí
Temperatura	°C	13.60	13.8	< 35	Sí

4.8. VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS AGUAS TRATADAS POR EL BIODIGESTOR CON EL RANGO DE EFICENCIA OFRECIDA POR LA EMPRESA FABRICANTE

La ficha técnica del biodigestor prefabricado ofrece un rango de eficiencia en los siguientes parámetros: Demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales.

Se realizó la verificación del cumplimiento comparando los resultados de los análisis de las aguas tratadas por el biodigestor con lo ofrecido por la empresa fabricante.

Los resultados indicaron que en ambos parámetros sí cumple como se puede apreciar en la Tabla 14.

Tabla 14: Resultados de la calidad de efluente comparando con la eficiencia ofrecida por la empresa fabricante del biodigestor.

Parámetro	Eficiencia ofrecida por la empresa	Eficiencia del biodigestor Cotaruse	Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno	40 - 60 %	44.6 %	Sí
Sólidos Suspendidos Totales	60 - 80 %	65 %	Sí

4.9. LODOS

El biodigestor prefabricado tuvo una válvula por donde se extrajeron los lodos. Estos se evacuan periódicamente (cada 12 meses) al realizar el mantenimiento de la unidad.

En la Tabla 15, se pueden apreciar los resultados del análisis de lodos. Estos lodos producidos en los procesos de tratamiento de las aguas residuales domésticas del biodigestor de la subestación eléctrica Cotaruse, no cumplen con los límites máximos permisibles de cuatro parámetros importantes para la determinación de calidad de aguas (DBO, DQO, Sólidos suspendidos totales, aceites y grasas). Por lo tanto, los resultados se interpretarían como lodos con una contaminación alta.

Tabla 15: Resultados de la calidad de lodos a la salida comparando con LMP del D.S 003-2010- MINAM

Parámetros	Unidades	Lodos	D.S 003-2010-MINAM (LMP)	Cumple con LMP
Aceites y grasas	mg/l	540.1	20	No
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	2300	10000	Sí
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	4350	100	No
Demanda química de oxígeno	mg O2/l	42524	200	No
p.H	unidad de pH	7.52	6.5-8.5	Sí
Sólidos suspendidos totales	mg/l	63105	150	No
Temperatura	°C	12.7	<35	Sí

V. CONCLUSIONES

- El biodigestor prefabricado fue instalado en la subestación eléctrica Cotaruse en Apurímac a 4103 m.s.n.m, en sustitución al uso de fosas sépticas, las cuales existen en la mayoría de subestaciones en el país.
- Las agua residuales tratadas por el biodigestor no cumplen con los límites máximos permisibles para efluentes en los siguientes parámetros DBO, DQO, Coliformes termotolerantes, por tal motivo no deben ser vertidos en cuerpos de aguas como ríos, lagos o mar.
- El biodigestor prefabricado no podría considerarse como un biodigestor propiamente dicho porque no se dio la digestión anaerobia en forma eficiente y por lo tanto no se comprobó la producción de biogás, ni bioabonos óptimos para la agricultura.
- Según la ficha técnica, este tipo de biodigestor prefabricado produce una mínima cantidad de gas que son evacuados por el mismo sistema de ventilación del módulo sanitario, sin representar molestia alguna para el usuario. Sin embargo, no se comprobó la producción de gas en el biodigestor de la investigación.
- El biodigestor, tal como estuvo funcionando en el momento de la investigación, no puede ayudar a resolver el problema del manejo de aguas residuales domésticas en zonas rurales que no cuentan con alcantarillado.
- Los resultados de los análisis indicaron que los lodos obtenidos tienen alto grado de contaminación y no pueden ser utilizados sin un tratamiento previo.
- De los resultados obtenidos y la falta de comprobación en producción de gas, este equipo sería considerado como un tanque sedimentador, más no como un biodigestor.
- La empresa fabricante del biodigestor ofrece una eficiencia de remoción solo en los siguientes parámetros DBO y SST. Los resultados obtenidos del análisis de las aguas tratadas de la subestación estuvieron dentro de los rangos ofrecidos.

VI. RECOMENDACIONES

- Se deben realizar más investigaciones sobre biodigestores prefabricados con el fin de comprobar la generación de biogás y su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.
- Para comprobar la producción de gas, se recomienda realizar el Batch Test.
- Se recomienda un sistema de control de temperatura dentro del biodigestor para aumentar la eficiencia. Se sugieren controlarla usando serpentines de agua caliente dentro del digestor, con el objetivo de aumentar la temperatura del efluente.
- Por los resultados obtenidos respecto a las grasas hubo mayor cantidad a la salida que a la entrada al biodigestor, es muy probable que esté conectado a una cocina o algún sitio que genere grasa en grandes cantidades por lo que se recomienda instalar una trampa de grasa antes de la entrada de las aguas residuales al biodigestor.
- La opción del reúso del lodo no se recomienda. Por los resultados, tuvo un alto grado de contaminación por su contenido elevado en parámetros como sólidos suspendidos totales, aceites y grasas. Su reúso dependerá de la eficiencia del método de desinfección.
- Para la instalación del biodigestor, se recomienda que la tubería de ingreso tenga una pendiente mínima de 2 por ciento para tener un buen arrastre de sólidos con líquidos.
- Un biodigestor mejorado en su sistema de ingeniería, que cuente con una adecuada degradación anaerobia para que se den eficientemente todas sus fases, acompañado de una implementación en el sistema de control de temperatura, sería recomendable para zonas rurales.
- Es necesario capacitar a un obrero de la subestación eléctrica Cotaruse para la correcta operación, mantenimiento y limpieza del biodigestor. Además de instruir a los trabajadores acerca de que productos deben evitar vertir a los lavaderos y retrete. Productos como detergentes, pesticidas, ácidos que si se vierten, impedirían que se realice una digestión anaerobia y con ello un tratamiento de aguas eficiente.

- Para complementar el tratamiento, principalmente en la remoción de coliformes, se recomienda realizar un tratamiento secundario como la instalación de un humedal artificial.
- Se recomienda más investigaciones de biodigestores prefabricados por parte de organismos tales como INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual), para garantizar la calidad del biodigestor mediante la fiscalización del producto donde se respeten los derechos de los consumidores.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCALDE, M Y ARCUSA, G. 1999. Por un sistema de saneamiento más sostenible. En BoletínCF+S.

APHA. 2005. Standard Methods for the examination of water and wastewaters, 21 th edition, American Public Health Association, Washington.

BARRERO, F. 2004. Sistemas de energía eléctrica. Thomson Editores. Madrid, España.

BETETA, T. y GONZÁLEZ, J. 2005. Construcción y uso de biodigestores tubulares plásticos. Guía técnica nº 7. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua .24 p.

BLUNDI C.E. 1988, Aplicação de métodos alternativos para a determinação de materia orgânica em águas residuárias. Tesis para Doutoradoem Hidráulica e Saneamento. São Carlos. Brasil.

CÁRDENA, J. 2012. Evaluación de la calidad de biogás y biol en biodigestores utilizando estiércol de vaca y residuos orgánicos del comedor pre-tratados con la técnica del bokashi en la UNALM. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina Facultad de Ciencias. Perú.

CAMPOS POZUELO, A.E. 2001. Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestion con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. Tesis Doctoral, Universidad de Lleida.

CASTILLO, G. 2012. Evaluación de codornaza y gallinaza de granjas avícolas para la producción de biogás y bioabono mediante digestión anaeróbica. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.

CEPIS. 1996. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales.

DUQUE, D., GALEANO, U. y MANTILLA, G. 2004. Evaluación de un digestor tipo Plug Flow. Livestock Research for Rural Development.

ESCALER, M. I. 1997. Eliminación biológica de nutrientes mediante el proceso discontinuo de fangos activados. Tesina de especialidad, ETSECCPB, UPC.

ENRIQUEZ, G. 2005. Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión. Editorial Limusa. Madrid, España.

FLOTATS, X., CAMPOS, E. Y BONMATI, A. 1997. Aprovechamiento energético de residuos ganaderos. España.

GOTAAS, H. 1956. Composting: sanitary disposal and reclamation of organic wastes. Editorial Geneva. World Health Organization. Suiza.

HAYES, J. D., STRANGE, R. C., AND PERCY-ROBB, I. W. 1979. Biochemistry. Estados Unidos.

HERNÁNDEZ, J., HIDALGO, G. (2000). Evaluación de tres metodologías para reducir los niveles de Contaminantes en efluentes de tratamiento primario de las aguas residuales del procesamiento de café en Costa Rica. Trabajo de Graduación. Universidad EARTH. Guácimo, Costa Rica.

KENNEDY, J. Y BERG D. V. 1982. Anaerobic digestion of piggery waste using a stationary fixed film reactor.

ITINTEC. 1983. Biodigestores, manejo y operación. Lima, Perú.

KIELY, G. 1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entorno, tecnologías y sistemas de gestión. Mc Graw – Hill/Interamericana. España.

GUEVARA, A. 1996. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú.

MARTÍ, J. 2008. Biodigestores familiares. Guía de diseño y manual de instalación. Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano. GTZ (Cooperación Técnica Alemana). Bolivia.

MARTINEZ, J. 2009. Diseño de un modelo de Biodigestor para el uso de familias rurales en el Perú. Trabajo de Investigación para optar el Título de Ingeniero Zootecnista.

METCALF & EDDY. 1985. Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor. Barcelona.

METCALF & EDY. 1996. Ingeniería de las aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. Ed. Mc Graw Hill.

PALOMINO, V. 2007. Tratamiento de residuos sólidos domésticos mediante biodigestores para la obtención de biogás y bioabonos. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.

PAVLOSTATHIS, G., GIRALDO-GÓMEZ, E. 1991. Kinetics of anaerobic treatment: critical review.

PINTO, L. 2012. Aprovechamiento de aguas residuales domésticas para producción de biogás y biol mediante digestores de carga diaria. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina Facultad de Ciencias. Perú.

RAMAHLO R., S. 1996. Tratamiento de aguas residuales. 1ª edición. Editorial Reverté. España.

REE. 2009. El suministro de electricidad: Un equilibrio entre generación y consumo. Domènech e-learning multimedia, S.A. España.

ROMERO, J.A. 1999. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. 1ª Edición. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia.

SASSE, L. 1984. La planta de biogás: bosquejo y detalle de plantas sencillas. Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien (GATE). Alemania.

SAN JUAN, E. 2008. Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante la implementación de un sistema piloto de biodigestión. Perú.

SAWYER, CLAIR N. 2001. Chemistry For Environmental Engineering, 4th ed. New York: Mc Graw Hill.

SORIA, M., FERRERA-CERRATO, R., ETCHEVERS, J., ALCÁNTAR, G., TRINIDAD, J., BORGES, L. & PEREYDA, G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. Terra .

SOUBES, M. 1994. Microbiología de la digestión anaerobia. III Taller y Seminario latinoamericano “Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales”, Montevideo-Uruguay.

SALAZAR, I. 2005. Sistema Tohá: una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. Tesis. Universidad Austral De Chile.

SEOANEZ, M. 1995. Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Ediciones Mundi Prensa.

TCHOBANOGLIOUS, G. 2000. Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y Reutilización. Editorial McGraw-Hill. MADRID.

TEBBUTT T.H.Y. 1977. Principles of water quality control. 2a. Ed. Oxford.

TORRES, A. 2013. Influencia del abono bocashi sobre la producción de biogás y biol en biodigestores tipo batch. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina Facultad de Ciencias. Perú.

VARGAS, L. 1992. Los biodigestores, alternativa de tratamiento para residuos pecuarios. Tesis. Universidad del Valle, Santiago de Cali.

VARGAS, M. 2006. Introducción a las energías alternativas con experimentos. La Paz, Bolivia.

VAN HAANDEL, A. y LETTINGA G. 1994. Anaerobic Sewage Treatment. A practical guide for regions with a hot climate. Editorial John Wiley and sons. Gran Bretaña.

VINCENT, T. 1997. Digestión anaerobia, bases cinéticas y microbiológicas. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM



de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5º.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

469446-6

AMBIENTE

Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

**DECRETO SUPREMO
Nº 003-2010-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3º de la Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el numeral 32.1 del artículo 32º de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33º de la Ley Nº 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7º del Decreto Legislativo Nº 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permissible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;

Que el artículo 14º del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo Nº 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28º el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,

implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118º de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11º de la Ley Nº 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1º.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2º.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- **Límite Máximo Permissible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- **Protocolo de Monitoreo:** Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

Artículo 3º.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

Artículo 4º.- Programa de Monitoreo

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPÍ.

Artículo 5°.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6°.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
 Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
 Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
 Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	de mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	de mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales Suspensión	en mL/L	150
Temperatura	°C	<35

469446-2

Designan responsable de brindar información pública y del contenido del portal de internet institucional del Ministerio

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo Nº 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2º de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3º de la citada Ley, señala que el Estado tiene la obligación de entregar la información que demanden las personas en aplicación del principio de publicidad, para cuyo efecto se designa al funcionario responsable de entregar la información solicitada;

Que, asimismo, de acuerdo a lo previsto en el artículo 5º de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 070-2008-MINAM, se designó a la señorita Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

Que, por razones del servicio y considerando la renuncia al cargo que desempeñaba en el Ministerio del Ambiente la servidora citada en el considerando precedente, resulta necesario designar al personal responsable de brindar información en el marco de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y responsable del Portal de Internet Institucional;

Con el visado de la Secretaría General y de la Oficina de Asesoría Jurídica; y

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo Nº 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo Nº 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Designar al abogado Hugo Milko Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM.

Artículo 2°.- Todos los órganos del Ministerio del Ambiente, bajo responsabilidad, deberán facilitar la información y/o documentación que les sea solicitada como consecuencia de lo dispuesto en el artículo precedente, dentro de los plazos establecidos en la normatividad vigente.

Artículo 3°.- Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

Artículo 4°.- Notificar la presente Resolución a todos los órganos del Ministerio del Ambiente, al Órgano de Control Institucional y al responsable designado.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
 Ministro del Ambiente

469445-1

Anexo 2: Análisis Agua Residual cruda y tratada y Lodos Diciembre 2015

INFORME DE ENSAYO N° 3-25025/15

Pág. 1/2

Solicitante : **RED DE ENERGIA DEL PERÚ S.A.**
 Domicilio Legal : Av. Juan de Arona N° 720 Dpto. 601 – Urb. Chacarilla – Santa Cruz – San Isidro – Lima
 Producto Declarado : **AGUA RESIDUAL**
 Lugar de muestreo : Subestación Cotaruse
 Fecha de muestreo : 2015 – 12 – 02
 Método de muestreo : NTP-ISO 5667-10-2012. Calidad de agua. Muestreo. Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales.
 Acta de Inspección : DA – 429 - 2015
 Cantidad de muestra para ensayo : 01 muestra x 24 L aprox.
 Forma de presentación : En frascos de plástico y vidrio, cerrados, preservados y refrigerados.
 Identificación de la muestra : Según se indica
 Fecha de recepción : 2015 – 12 – 02
 Fecha de inicio del ensayo : 2015 – 12 – 02
 Fecha de término del ensayo : 2015 – 12 – 10
 Ensayo realizado en : Laboratorio de Microbiología / Ambiental
 Identificada con : **H/S 15018977 (10865)**
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84	
	ESTE	NORTE
P-1 INGRESO DE AGUAS NEGRAS	18L0683104	8392564
P-2 DESFOGUE DEL BIODIGESTOR	18L0683162	8392546
P-3 SALIDA DE LODO RESIDUAL	18L0683170	8392540

Ensayos	Muestras / Resultados		
	P-1 INGRESO DE AGUAS NEGRAS	P-2 DESFOGUE DEL BIODIGESTOR	P-3 SALIDA DE LODO RESIDUAL
Coliformes totales (NMP/100mL)	170 000 000	3 300 000	49 000
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	330 000	230 000	2 300
Escherichia coli (NMP/100mL)	330 000	230 000	2 300

Ensayos	Muestras / Resultados		
	P-1 INGRESO DE AGUAS NEGRAS	P-2 DESFOGUE DEL BIODIGESTOR	P-3 SALIDA DE LODO RESIDUAL
Aceites y Grasas (mg/L) (LD: 0,50 mg/L)	4,1	7,8	540,1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	204,0	113	4 350
Demanda Química de Oxígeno (mg O ₂ /L) (LD: 10,0 mg O ₂ /L)	256,8	310,9	42 524
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (LD: 5,00 mg/L)	61,4	21,5	63 105
(2) Temperatura (°C)	13,6	13,8	12,7
(2) pH	7,24	7,31	7,52

LD: Límite de detección
(2) In situ



INFORME DE ENSAYO N° 3-25025/15

Pág. 2/2

Métodos:

Coliformes totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 9221 B, 22 nd Ed. 2012. Multiple – Tube Fermentation technique for Members of the Coliform group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part. 9221 E1, 22 nd Ed. 2012. Multiple- tube fermentation technique for members of the coliform group fecal coliform procedure. Thermotolerant Coliform: test (EC medium)

Escherichia coli: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part. 9221 F1. 22 nd. Ed. 2012. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Escherichia coli Test (EC-MUG Medium).

Aceites y grasas: EPA Method 1664, Revision B 2010 n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW- APHA AWWA-WEF. Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 - Day BOD Test.

Demanda Química de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012. Chemical Oxygen Demand (COD) Close Reflux, Colorimetric Method.

Sólidos suspendidos: SMEWW- APHA AWWA-WEF. Part 2540 D, 22 nd Ed. 2012 Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 – 105°C.

(2) pH: SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part. 4500-H⁺B. 22 nd Ed. 2012 pH Value. Electrometric Method. (Medición en campo)

(2) Temperatura: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part. 2550 B, 22 nd Ed. 2012 Temperature. Laboratory and Field Method. (Medición en campo)

OBSERVACIONES

Informe de ensayo emitido en base a resultados de nuestros laboratorios sobre muestras tomadas por el Organismo de Inspecciones de CERPER S.A. Prohibida la reproducción total o parcial de este Informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los análisis no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 26 de Diciembre de 2015
KC

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

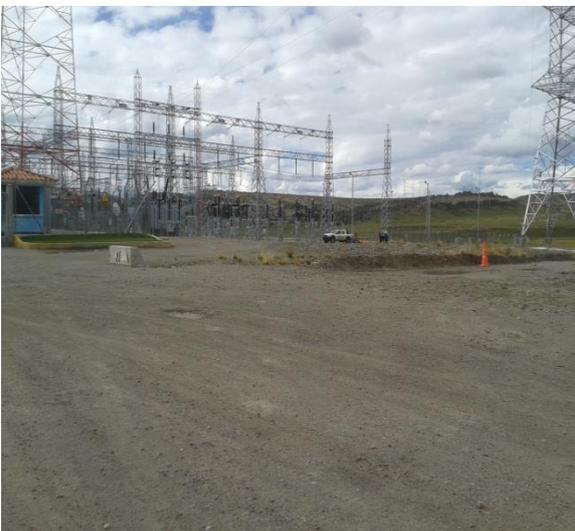
ING. ROSA PALOMINO LOO
C.I.P. N° 40302

JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

Anexo 3: Fotografías

Fotografías de campo

- Area de investigación (Sub estación Eléctrica Cotaruse ubicada en la carretera Puquio-Abancay Km 294 s/n, Distrito de Cotaruse, Apurímac.)



- Personal de apoyo de la subestación con las investigadoras



- Toma de muestras del biodigestor



- Colocación de muestras en el cooler y etiquetado



- Embalaje y transporte de las muestras



- Biodigestor prefabricado y sus instalaciones

