

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**“MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES “SAN JOSÉ” PARA SU REÚSO
CON FINES AGRÍCOLAS-CHICLAYO-2015”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO SANITARIO**

AUTOR:

Bach. GUTIERREZ QUIROZ ARTURO FIDEL

ASESORA:

Ing. FLORES ALBORNOZ JUDITH ISABEL

HUARAZ – ANCASH – PERÚ

OCTUBRE - 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**“MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES “SAN JOSÉ” PARA SU REÚSO
CON FINES AGRÍCOLAS-CHICLAYO-2015”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO SANITARIO**

AUTOR:

Bach. GUTIERREZ QUIROZ ARTURO FIDEL

ASESORA:

Ing. FLORES ALBORNOZ JUDITH ISABEL

HUARAZ – ANCASH – PERÚ

OCTUBRE - 2019



ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS, PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el auditorium de la FCAM-UNASAM, para la Ceremonia de Sustentación de la Tesis, que presenta el señor Bachiller: **ARTURO FIDEL GUTIÉRREZ QUIROZ**.

Tesis Titulada: **“MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “SAN JOSÉ” PARA SU REUSO CON FINES AGRÍCOLAS – CHICLAYO - 2015”**

En seguida, después de haber atendida la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas lo declaramos:

..... *A probado*

Con el calificativo de:

..... *15 (Quince)*

En consecuencia, queda en condiciones de ser **APROBADO** por el Consejo de Facultad y recibir el Título Profesional de:

INGENIERO SANITARIO

De conformidad con el Art. 113° numeral 113.9 del reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario – Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario – Rector N° 432-2016-UNASAM del 28-12-2016).

Huaraz, **30** de **Noviembre**del 2018.


Ing. Gregorio Santiago Saenz Pohl
Presidente


Ing. Kiko Félix Depaz Celi
Vocal


Msc. Rosario Adriana Polo Salazar
Secretaria


Msc. Judith Isabel Flores Albornoz
Asesor



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,
PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI.
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: GUTIERREZ QUIROZ ARTURO FIDEL

Código de alumno: 05.1514.1.AH

Teléfono: 943456366

Correo electrónico: artfgq@gmail.com

DNI: 43846598

2. Modalidad de trabajo de investigación:

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

"MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "SAN JOSÉ" PARA SU REÚSO CON FINES AGRÍCOLAS-CHICLAYO-2015"

5. Facultad de: *Ciencias del Ambiente*

6. Escuela, Carrera o Programa: Ingeniería Sanitaria

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: Flores Albornoz Judith Isabel

Teléfono: 964467006

Correo electrónico: ing.yifa@gmail.com

D.N.I: 40034758

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I

43846598

Fecha:

11 / 10 / 2019

DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y a mis hermanos por ser parte de ella.

Arturo Fidel Gutiérrez Quiroz

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida.

A mis padres por ser quienes guían mi camino, y me apoyan de manera incondicional en todos los retos que se me presentan.

Arturo Fidel Gutiérrez Quiroz

DECLARATORIA DE AUTORIA

Yo, Arturo Fidel Gutiérrez Quiroz, estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería sanitaria de la facultad de ciencias del ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo, declaro que el trabajo académico titulado “MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “SAN JOSÉ” PARA SU REÚSO CON FINES AGRÍCOLAS-CHICLAYO-2015” presentado en 169 folios, para la obtención del título profesional de ingeniero sanitario, es de mi autoría.

Por lo tanto, declaro lo siguiente:

- He mencionado todas las fuentes empleadas en el presente trabajo de investigación identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes de acuerdo a lo establecido por las normas de elaboración de trabajo académico.
- No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquellas expresadamente señaladas en este trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado completa ni parcialmente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
- Soy consciente de que mi trabajo puede ser revisado electrónicamente en búsqueda de plagios.
- De encontrar uso de material intelectual ajeno sin el debido reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el procedimiento disciplinario.

Huaraz, 11 de octubre de 2019



Arturo Fidel Gutiérrez Quiroz

DNI: 43846598

ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
DECLARATORIA DE AUTORIA.....	iii
ÍNDICE.....	iv
RELACIÓN DE TABLAS	viii
RELACIÓN DE FIGURAS	x
RELACIÓN DE GRÁFICOS.....	xi
RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiii
ABSTRACT	xiv

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad problemática.....	4
1.2. Antecedentes	4
1.2.1. Antecedentes internacionales.....	4
1.2.2. Antecedentes nacionales	8
1.3. Teorías relacionadas con el tema	11
1.3.1. Aguas residuales domesticas	11
1.3.2. Composición del agua residual domestica.....	13
1.3.3. Características típicas de las aguas residuales domesticas	13
1.3.4. Características físicas del agua residual	14
1.3.5. Características químicas de las aguas residuales.....	18
1.3.6. Características biológicas del agua residual	20

1.3.7. Tratamiento preliminar	21
1.3.8. Tratamiento secundario	23
1.3.9. Tratamiento terciario	35
1.3.10. Tecnología de tratamiento para cumplir los estándares de calidad.....	41
1.3.11. Tratamiento de aguas residuales en el Perú	44
1.3.12. Parámetros de análisis de los límites máximos permisibles	46
1.3.13. Reúso de aguas residuales.....	46
1.4. Marco legal	48
1.4.1. Ley N° 29338, Recursos Hídricos.	48
1.4.2. D.S. N° 001-2010-AG Reglamento de la ley de recursos híbridos.	49
1.4.3. Análisis del Marco legal del reúso de las aguas residuales con fines agrícolas.	49
1.5. Formulación y planteamiento del problema.....	54
1.5.1. Formulación del Problema.....	54
1.5.2. Planteamiento del problema	55
1.6. Justificación	56
1.7. Hipótesis	56
1.8. Objetivos	57
1.8.1. Objetivo General.....	57
1.8.2. Objetivos Específicos	57

CAPITULO II

MARCO METODOLÓGICO	58
2.1. Variables	58
2.1.1. Variable independiente	58
2.1.2. Variable dependiente	58
2.2. Operacionalización de variables	59

2.3. Metodología	61
2.4. Tipo de estudio	61
2.4.1. Tipo de Investigación	61
2.4.2. Tipo de Diseño de Investigación	62
2.4.3. Alcance de la investigación	62
2.5. Diseño	63
2.6. Población, muestra y muestreo	63
2.6.1. Población	63
2.6.2. Muestra	63
2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	64
2.8. Métodos de análisis de datos	64
2.8.1. Ordenamiento y clasificación	64
2.8.2. Registro manual	64
2.8.3. Proceso computarizado	65
2.8.4. Análisis documental.....	65
2.8.5. Conciliación de datos.....	65
2.8.6. Tabulación de cuadros con cantidades y porcentajes	65
2.8.7. Comprensión de gráficos	66
2.9. Procesamiento y análisis estadístico de la información	66
2.9.1. Composición de las aguas residuales.....	71
2.9.2. Origen de las aguas residuales y ubicación de los sitios de muestreo	73
2.9.3. Calidad del agua	74
2.9.4. Segunda etapa: propuesta de diseño conceptual.....	76
2.9.5. Parámetros de rediseño	77
2.9.6. Consideraciones de diseño.....	80
2.10. Ámbito de estudio.....	86

2.10.1. Ubicación	86
2.10.2. Temperatura	90

CAPITULO III

RESULTADOS	91
3.1. Tratamiento preliminar propuesto.....	91
3.2. Tratamiento primario propuesto.....	94
3.3. Tratamiento secundario propuesto	95
3.3.1. Diseño de laguna aireada	95
3.3.2. Diseño de laguna facultativa.....	104
3.4. Tratamiento terciario propuesto	111
3.4.1. Laguna de maduración o pulimento	111
3.5. Lecho de secado de lodos propuesto	119
3.6. Blance de masas del tren de tratamiento propuesto	121
3.7. Análisis del costo del tren de tratamiento propuesto	124

CAPITULO IV

DISCUSIÓN.....	130
-----------------------	------------

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
5.1. Conclusiones	135
5.2. Recomendaciones	137

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
ANEXOS	143
ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO.....	144
ANEXO 2: FICHA DIARIA DE CONTROL OPERACIONAL PARA EL SISTEMA DE LAGUNAS AEROBIAS, FACULTATIVAS MADURACIÓN.....	148

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1 Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual	11
Tabla 2 Compuestos olorosos asociados al agua residual bruta	16
Tabla 3 Objetivo de los procesos de pre tratamiento.....	21
Tabla 4 Clasificación del tipo de tratamiento secundario.....	24
Tabla 5 Tipos de sedimentación que intervienen en el tratamiento del agua residual....	26
Tabla 6 Procesos de tratamiento avanzado y eficiencia de remoción.....	35
Tabla 7 Límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.....	46
Tabla 8 Marco legal para el tratamiento de aguas residuales, al 2015	53
Tabla 9 Parámetros de calidad microbiológica recomendados para la reutilización de aguas, al 2015	54
Tabla 10 Operacionalización de variables	59
Tabla 11 Comparación de la concentración de patógenos en el efluente para riego	67
Tabla 12 Características generales de la infraestructura de la PTAR San José.....	68
Tabla 13 Calidad promedio del afluente y efluente de la PTAR en el 2013 medida por el laboratorio de EPSEL S.A.	70
Tabla 14 Parámetros de agua residual al ingreso de la PTAR.....	71
Tabla 15 Parámetros del efluente de la PTAR San José.....	72
Tabla 16 Propuesta de diseño conceptual de la PTAR	77
Tabla 17 Unidades y capacidad de tratamiento de las aguas	79
Tabla 18 Resumen de la información de diseño	80
Tabla 19 Nivel de tratamiento propuesto para el rediseño de la PTAR San José.....	81
Tabla 20 Matriz de la tecnología de tratamiento	81

Tabla 21 Datos para el diseño del decantador circular	94
Tabla 22 Datos para el diseño de la laguna aireada	95
Tabla 23 Cálculo de la DBO Soluble.....	97
Tabla 24 Cálculo de DBO particulado.....	98
Tabla 25 Cálculo de oxígeno requerido	99
Tabla 26 Cálculo de requerimiento oxigenación	99
Tabla 27 Cálculo de potencia de aireadores	101
Tabla 28 Cálculo de dimensiones de la laguna.....	101
Tabla 29 Datos para el diseño de la laguna facultativa.....	104
Tabla 30 Criterios de diseño (según RNE - NORMA OS.090).....	105
Tabla 31 Dimensiones de la laguna facultativa	106
Tabla 32 Remoción de DBO y Coliformes en la laguna facultativa	107
Tabla 33 Datos para el diseño de la laguna de maduración.....	111
Tabla 34 Cálculo de periodo de retorno de la laguna de maduración.....	112
Tabla 35 Calculo remoción de coliformes en la laguna de maduración	113
Tabla 36 Calculo remoción de DBO efluente de la laguna de maduración.....	115
Tabla 37 Calculo área total de la laguna de maduración	116
Tabla 38 Cálculo de dimensiones de la laguna de maduración	117
Tabla 39 Datos para el cálculo del lecho de secado	119
Tabla 40 Calculo de la demanda para el lecho de secado.....	119
Tabla 41 Dimensiones del lecho de secado	120
Tabla 42 Costo de inversión y operación para diversos procesos de tratamiento	124
Tabla 43 Estimación del costo de construcción una PTAR.....	125
Tabla 44 Estimación del costo de operación y mantenimiento	126
Tabla 45 Concentración de patógenos en el efluente de una PTAR para riego.....	128

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1 Sectorización de los colectores de la ciudad de Chiclayo y su derivación a las PTAR San José y Pampa de Perros (Fuente: EPSEL S.A.).....	78
Figura 2 Tren de procesos de la planta de tratamiento San José	86
Figura 3 Mapa del Perú.....	87
Figura 4 Mapa de Lambayeque	87
Figura 5 Mapa del Distrito de San José	88
Figura 6 Mapa de la Ubicación de la PTAR San José en la Ciudad de Dios	88
Figura 7 Mapa general de la PTAR San José	89
Figura 8 cámara de rejas finas - Tamiz Step Screen.....	93
Figura 9 Principio de funcionamiento	93
Figura 10 Diseño de la laguna aireada.....	103
Figura 11 Diseño de la laguna facultativa	110
Figura 12 Diseño de la laguna de maduración.....	117

RELACIÓN DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales	45
Gráfico 2 Valores de DBO5 a la salida de la PTAR vs parámetro establecido en el ECA-3, D1.....	75
Gráfico 3 Valores de coliformes registrados a la salida de la PTAR vs Parámetro establecido en el ECA-3, D1.....	76
Gráfico 4 comparación de costos de diferentes PTARs	127
Gráfico 5 Comparación del efluente de la PTAR propuesta con la normatividad para el reúso de agua residual con fines agrícolas en cultivos de consumo directo	129
Gráfico 6 Comparación del efluente de la PTAR propuesta con la normatividad para el reúso de agua residual con fines agrícolas en otros cultivos	129
Gráfico 7 Remisión de la BDO en el tren de tratamiento	132
Gráfico 8 remoción de los coliformes fecales el tren de tratamiento	133

RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Medidor de caudal - canaleta Parshasll.....	144
Fotografía 2 Estructura de pre tratamiento automatizado no activo.....	144
Fotografía 3 Laguna anaerobia de la PTAR San José	145
Fotografía 4 Laguna facultativa de la PTAR San José	145
Fotografía 5 Canal de salida de la PTAR San José.....	146
Fotografía 6 Compuerta de salida de la PTAR San José	146
Fotografía 7 Compuerta de salida de la PTAR San José	147
Fotografía 8 Vista panorámica de las lagunas de la PTAR San José	147

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio tiene como objetivo determinar en qué medida el mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San José, operada por la Entidad Prestadora de Servicio de Saneamiento de Lambayeque-EPSEL SA, se relaciona con el reúso del agua residual tratada en la agricultura, en ese sentido, a fin de mejorar la calidad del del efluente se realizó el rediseño de la PTAR San José.

La propuesta de mejora analizada, se enfocó a resolver la problemática del deficiente tratamiento del agua residual, cuyo efluente es captado por la comunidad campesina de San José (sector Gallito y San José) para regar más de 1 700 hectáreas de cultivos, toda vez que las características microbiológicas del efluente de la PTAR San José excede por mucho los valores máximos establecidos en la normativa ambiental vigente, que regula la calidad del agua residual tratada para el reúso en la agricultura.

La alternativa de solución planteada, modifica el actual ten de tratamiento, ello posibilita, cumplir con la normatividad aplicable para el reusó del agua residual tratada con fines agrícolas, para dar solución a la problemática mencionada se ha adoptaron metodologías de diseño de tratamiento de aguas residuales por lagunas propuestos por: Métodos Empíricos Yáñez, Maranis y Métodos Cinéticos.

Palabras clave: calidad de agua residual, lagunaje, reúso de agua residual con fines agrícolas, sistema de tratamiento.

ABSTRACT

The objective of this study is to determine to what extent the improvement of the San José Wastewater Treatment Plant, operated by the Sanitation Service Provider of Lambayeque-EPSEL SA, is related to the reuse of wastewater treated in the agriculture, in that sense, in order to improve the effluent quality, the redesign of the San José WWTP was carried out.

The proposal for improvement analyzed, focused on solving the problem of poor treatment of wastewater, whose effluent is captured by the peasant community of San José (Gallito and San José sector) to irrigate more than 1,700 hectares of crops, since The microbiological characteristics of the San José WWTP effluent far exceed the maximum values established in current environmental regulations, which regulates the quality of the treated wastewater for reuse in agriculture.

The proposed solution alternative modifies the current treatment system, this makes it possible to comply with the applicable regulations for the reuse of wastewater treated for agricultural purposes, to solve the aforementioned problem, wastewater treatment design methodologies have been adopted by ponds made by: Empirical Methods Yáñez, Maranis and Kinetic Methods.

Keywords: wastewater quality, lagoon, reuse of wastewater for agricultural purposes, treatment system.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El agua es el compuesto más abundante de la naturaleza y cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie terrestre, en contra de lo que pudiera parecer, diversos factores limitan su disponibilidad para el uso humano; más del 97% del agua total del planeta se encuentra en los océanos y otras masas salinas, por lo que su utilización es limitada, del 3% restante más del 2% se encuentra en estado sólido, como hielo resultando prácticamente inaccesible. En términos generales sólo el 0.62% de toda el agua en el planeta es apta para el hombre y sus actividades domésticas, agrícolas e industriales, este volumen de agua se encuentra en lagos, ríos y acuíferos subterráneos.

El uso del recurso agua provoca un efecto sobre el ecosistema de donde se extrae y donde se utiliza; uno de los ejemplos más claros y contundentes, en el caso del agua para consumo humano es: un mayor suministro de agua significa una mayor generación de aguas residuales, ahora bien si entendemos por desarrollo sustentable, toda actividad económica que permita compatibilizar el uso de los recursos con la conservación de los ecosistemas, entonces se debe propiciar el balance entre la explotación de las fuentes de agua y el tratamiento de las aguas residuales.

A la mayoría de nosotros nos parece natural tener acceso al agua potable, la usamos para todo, la dejamos correr, siempre estuvo ahí y siempre estará, como el aire que respiramos, sin embargo en tan sólo dos décadas se ha duplicado el consumo de agua en nuestro planeta, hoy más de 1,500 millones de personas en el mundo no pueden gozar de este privilegio, se afirma que para el año 2025 la demanda de agua potable será el 56% mayor al suministro disponible (ONU, 2015).

(Kadlec y Knight, 2016) señala que, las aguas servidas son aquéllas que resultan del uso doméstico o industrial, otras denominaciones son: aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales, en general por haber sido utilizadas en procesos de transformación y/o limpieza, estas aguas constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo, en muchas ocasiones están formadas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces las aguas de lluvia y las infiltraciones del terreno, estas aguas residuales presentan composiciones muy variadas y son generadas principalmente por las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general, de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Con relación a la alternación de la calidad del agua, según (Rodríguez, 2014) se considera que el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas.

Un estudio realizado por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass) en el 2016 muestra que de solo el 32,7% de las aguas servidas recibió algún tipo de tratamiento antes de su descarga en un cuerpo receptor; lo cual significa que 528,3 millones de m³ de aguas residuales sin tratar se volcaron directamente a un cuerpo receptor (SUNASS, 2016).

Otro estudio realizado por Sunass en el 2015, señala que, de acuerdo a la evaluación de las 143 plantas de tratamiento administradas por las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) a nivel nacional al 2007 permitió conocer que 16 de ellas se encuentran inoperativas por diversas causas y al menos 50 (de las que se tiene información) presentan alguna deficiencia de mantenimiento (arenamiento, exceso de lodos, maleza y macrófitas). Además, 43% de las plantas reciben un caudal mayor al de diseño (Sunass, 2015).

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en el Plan Nacional de Saneamiento 2006-2015, determinó que para cumplir la meta 10 de los Objetivos de Milenio en el 2015, la cobertura de agua a nivel nacional debería subir a 82%, saneamiento a 77% y la cobertura de tratamiento de aguas residuales recolectadas por los sistemas de alcantarillado deberá llegar a 100% en el ámbito urbano, el mencionado documento estima que para alcanzar la meta en tratamiento de aguas residuales al 2015, a partir del nivel de cobertura alcanzado en el año 2005, se requiere por parte de las EPS una inversión de US\$1 948 millones en ampliación y de US\$ 30 millones en rehabilitación de los sistemas existentes.

La contaminación de las fuentes naturales de agua superficial y subterránea a causa de actividades poblacionales (rurales y urbanas), actividades productivas, pasivos ambientales y actividades ilegales, así mismo, la desigual distribución espacial del recurso hídrico y el incremento de los períodos de estiaje, vienen forzando la necesidad de propuestas innovadoras que contribuyan a la solución de la problemática de escases del recurso hídrico.

En este contexto, las aguas residuales adecuadamente tratadas se constituyen en una potencial fuente agua para desarrollar actividades económicas, el reusar el agua residual tratada tiene ser vista como la mejor alternativa para atender la demanda del recurso hídrico de usos no potables.

El producto final del presente estudio constituirá una propuesta de solución para mejorar la calidad del efluente de la PTAR que es destinada al riego de los cultivos de la comunidad

campesina de San José, con la propuesta de rediseño de la PTAR existente se busca cumplir con los estándares calidad para el reúso del agua residual tratada.

1.1. Realidad problemática

En el Perú las prácticas de manejo de las aguas residuales no son planeadas ni controladas adecuadamente, generan volúmenes considerables de infiltración, con el peligro de contaminar los acuíferos que se utilizan para el abastecimiento de agua potable en las ciudades, se constituyen en una fuente difusa de contaminación continua.

De otro lado, el manejo de los recursos hídricos en el Perú presenta dificultades, debido a la escasa disponibilidad y a la baja calidad del agua para el abastecimiento poblacional, riegos agrícolas y actividades industriales; originándose de esta manera una competencia por el recurso hídrico entre el uso poblacional y las distintas actividades económicas que dependen de ella.

El problema de la contaminación de los recursos hídricos en Perú ha obligado a la búsqueda de alternativas de soluciones económicamente viables. Para el tratamiento de las aguas residuales y que estas sean resudas en actividades económicas como la agricultura, para reducir de esta manera el estrés hídrico que provoca el deterioro de las fuentes de agua dulce.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes internacionales

(Escobar Rojas, Tobar Bonilla y Romero Cuellár 2016) en el estudio denominado “Diseño de un sistema experto para reutilización de aguas

residuales tratadas” realizado con el objetivo de desarrollar un herramienta para apoyar a la toma de decisiones en proyecto de reutilización de aguas residuales domésticas tratadas, el mencionado estudio tuvo como factores el índice de escasez y la eficiencia en DBO5 de una planta de tratamiento de aguas residuales, la herramienta fue validada a través de un caso de estudio en la PTAR del municipio de Nátaga, Huila, Colombia. En el caso de estudio, se utilizó el balance hídrico, análisis de calidad de agua y encuesta a expertos para establecer la estructura del sistema de lógica difusa, el cual fue implementado en Matlab. Los resultados indican una eficiencia del tratamiento de 88.7%, un índice de escasez de 28.5, que corresponde a un índice de escasez medio alto y por tanto el sistema experto recomienda la reutilización de agua residual tratada con un 92.2% lo que se califica como una reutilización confiable justificada. El estudio concluye que el sistema experto o herramienta es adecuado para identificar fuentes alternas de recursos hídricos y esta información puede ayudar a los tomadores de decisiones en la implementación de políticas de gestión integral del recurso hídrico.

(Bernal, y otros 1995) en el estudio denominado “ Guía de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domesticas por métodos naturales”, presentado el Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales, señalan que las diferentes características sociales, topográficas, tecnológicas, demográficas, económicas y climatológicas, entre otros, de pequeñas y medianas zonas urbanas en Colombia y América Latina representan un reto a la hora de seleccionar tecnologías sostenibles para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, creando la necesidad de desarrollar herramientas que faciliten la toma de decisiones para la implementación de estos sistemas, a fin de dar solución a la problemática señalada, desarrollaron una investigación sobre selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando sistemas naturales con énfasis en los aspectos tecnológicos. En el mencionado estudio se propuso una guía de selección de tecnología que

considera lagunas de estabilización, sistemas de tratamiento en terreno y sistemas de tratamiento con plantas macrófitas que incluyen humedales artificiales y lagunas con plantas acuáticas flotantes como alternativas de tratamiento natural. Para elaborar la guía los investigadores tomaron aspectos tales como: infraestructura de acueducto y alcantarillado, área requerida por la tecnología, características del agua residual y nivel de tratamiento, estándares de vertimiento, condiciones climáticas, características del terreno, disponibilidad de recursos para construcción, operación y mantenimiento, reúso, costos y capacidad y disponibilidad de pago, luego de aplicar los criterios mencionados, se identificaron 9 factores básicos que influyen en el proceso de selección de tecnología para sistemas de tratamiento naturales, los cuales son: demográficos y socioculturales, características del agua residual, climáticos, características del terreno, objetivos de tratamiento, aspectos tecnológicos, disponibilidad de recursos, costos, capacidad y disponibilidad a pagar, dentro de los cuales hay tres criterios claves en la selección de tecnología de sistemas de tratamiento naturales, que son la disponibilidad de terreno, las características del terreno y las condiciones climáticas, estos marcan la diferencia entre las alternativas de tratamiento, siendo que la disponibilidad de área es una variable limitante en la selección de tecnologías de tratamiento naturales debido a que determina la factibilidad de implementación de un sistema de tratamiento.

(Rodríguez, Garcia y Pardo 2014) en el artículo denominado “Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales” publicado en la revista *Tecnura* de la Universidad Distrital de Francisco José de Caldas exponen la problemática de la selección de una adecuada tecnología de tratamiento de las aguas residuales municipales en los países en vías de desarrollo, y desarrollan un recuento de los aspectos técnicos para la adecuada selección como la composición típica del agua residual cruda, la eficiencia de remoción de contaminantes por tipo de tecnología, indicadores de desempeño por tecnología, aspectos ambientales sobre localización y la estrategia espacial para la localización, es así que los autores presentan el desarrollo de

una metodología, construida en base a los aspectos técnicos, económicos y ambientales, concluyendo que de manera específica la ubicación y localización de la PATR, debe cumplir con elementos especiales para la óptima selección de la zona de ubicación, dado que la utilización de recursos naturales, el empleo de energía y minimiza los posibles efectos ambientales en la zona de estudio o de intervención en la implantación de las PTAR, así también el costo de inversión es una variable influyente, pero que es proporcionada mediante recursos económicos de la nación mediante políticas y planes específicos de inversión, pero los costos de operación y mantenimiento, los asume el operador y beneficiario del servicio.

(Cortés, et al., 2017) en el artículo de la revista Tecnología y Ciencias del Agua denominado “Optimización en el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales integrado por tres lagunas de estabilización” presentan un modelo matemático para la optimización de un sistema lagunar integrado por tres lagunas: anaerobia, facultativa y de maduración. El citado modelo tiene como objetivo la minimización del área ocupada por el sistema lagunar (PTAR), para lo cual se tomó como restricciones la calidad del agua en el efluente: demanda bioquímica de oxígeno y el número de coliformes fecales; además, se restringe la dispersión (mayor o igual a 0.05), con el propósito de favorecer el flujo disperso en la laguna facultativa y en la laguna de maduración. Las variables cambiantes en el modelo de optimización son: tiempo de retención y número de mamparas tanto de la laguna facultativa como la de maduración, y la relación largo ancho para la laguna anaerobia. Para la elaboración del modelo matemático, se diseñó un sistema de lagunas, luego se aplicó el modelo matemático propuesto. Los resultados obtenidos muestran una disminución del área de 15.16%.

Salazar y Sánchez (2015) en su investigación “Evaluación y propuesta de rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Comunidad de Churuguzo, Parroquia Tarqui, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay”, para

optar el título de ingeniero civil. Universidad de Cuenca. Tuvo como objetivo contribuir al mejoramiento del saneamiento ambiental en el cantón Cuenca y estudiar distintas soluciones tecnológicas para el tratamiento de aguas residuales en los sectores urbano marginales y rurales del Cantón Cuenca, y realizó la determinación del estado de funcionamiento de los procesos de depuración de la PTAR de la comunidad de Churuguzo, luego planteó soluciones tecnológicas para mejorar la eficiencia de depuración para la planta de tratamiento de estudio, así mismo estudio la sostenibilidad de las soluciones tecnológicas planteadas y propuso una solución integral para el sistema en estudio. Como parte del diseño definitivo también se incluye la propuesta de Operación y Mantenimiento del sistema.

1.2.2. Antecedentes nacionales

Moret (2013) en la investigación denominada “Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrofitas”, para optar el título de ingeniero civil. Universidad de Piura, tuvo como objetivo investigar en base a la literatura existente, un sistema que permita optimizar, de una forma sostenible, la eficiencia de las lagunas de estabilización de la Universidad de Piura, mediante el uso de macrofitas, abundantes en los humedales naturales, establecidas en una forma singular -flotación-.

Esta investigación permitirá su inclusión en un futuro proyecto, ya previsto. En este último, se podrán complementar los necesarios aspectos constructivos, que hagan asequible su replicación, estimada tan necesaria, en la mayoría de los sistemas existentes en la región. La tesis contiene diversos conceptos fundamentales acerca de los sistemas de tratamiento de agua, los problemas que existen en el Perú, las posibles soluciones, el uso de macrofitas que constituyen un filtro biodepurador de enneas (*Typha dominguensis*), sostenible, de bajo costo y eficiente. La mencionada Tesis concluye

mencionado aspectos constructivos preliminares adaptados a las propias características de las lagunas y a un presupuesto moderado.

López y Herrera (2015) en su investigación “Planta de tratamiento de aguas residuales para reusó en riego de parques y jardines en el Distrito de la Esperanza, Provincia Trujillo, La Libertad”, para optar el título de ingeniero civil. Universidad Privada Antenor Orrego, tuvo como objetivo principal, diseñar una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), para destinar el agua tratada al riego de parques y jardines en el Distrito de La Esperanza. Además de proporcionar al estudiante y / o profesional interesado en el tema, el conocimiento, pasos y / o metodología para el diseño; Por lo cual se proporciona la información suficiente, para poder llevar a cabo el proyecto. Se podrá encontrar y entender convenientemente en esta Tesis, cuáles son los estudios básicos necesarios a realizar, para comenzar a diseñar una Planta de tratamiento de Agua Residual - PTAR.

Se establece también los parámetros básicos de diseño; Además conocer las diferentes alternativas para el tratamiento de agua residual que se pueden plantear o proponer inicialmente, que luego serán discutidas, evaluadas, y finalmente seleccionar la más adecuada. También contiene, cálculos de dimensionamiento, costos de construcción y operación de la Planta de tratamiento de Agua Residual - PTAR. Se menciona además el estudio de factibilidad económica del proyecto y se brinda los requerimientos previos al arranque, operación y mantenimiento de la PTAR.

(Mayorga, 2014) en su investigación “Determinación de la calidad bacteriológica en los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chilpina - Arequipa y cultivos hortícolas (abril-junio 2014)”, para optar el título de biólogo. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. determinar la calidad bacteriológica en los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chilpina en la ciudad de Arequipa y

cultivos hortícolas durante los meses de Abril- Junio del 2014, mediante la determinación de la presencia de Coliformes Totales, Coliformes Fecales, *Escherichia coli*, *Enterococos* y *Salmonella sp* en 1 muestra del efluente de la PTAR Chilpina y 5 muestras de agua procedentes de los canales de regadío a 56, 400, 770, 1000 y 1080 m de distancia de la PTAR Chilpina, mientras que para cultivos hortícolas se analizaron 30 muestras de cultivos de 5 especies (perejil, espinaca, acelga, zanahoria y papa) de la zona agrícola colindante a la PTAR en el distrito Socabaya, provincia de Arequipa, departamento y región de Arequipa, mediante las cuales se determinó su calidad bacteriológica, de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 003-2010-MINAM; D.S. N° 002-2008-MINAM y NTS N° 071 - MINS/DIGESA-V.0.1 Para la muestra proveniente del efluente de la PTAR Chilpina se registró 18×10^5 NMP/100ml para Coliformes Fecales la cual cumple con la norma establecida. En las muestras de canales de regadío se registró como valor mínimo y máximo 17×10^5 y 13×10^7 NMP/100 ml de Coliformes Totales; 40×10^4 y 50×10^4 NMP/100 de Coliformes Fecales; 6×10^3 y 9×10^4 ; NMP/100 para *E. coli* y 70×10^5 y 74×10^6 NMP/100 ml de *Enterococos* respectivamente, mientras que para *Salmonella sp* se determinó su ausencia, concluyéndose que estas aguas no son aptas para riego ya que superan los Estándares de Calidad Ambiental.

En el caso de cultivos hortícolas las muestras de perejil provenientes del canal de regadío 1 (56m de distancia) indican valores máximos para Coliformes Totales, Coliformes Fecales, *E. coli* de $93 \times 10^2 < 3$ a $9, 27 \times 10^3$ NMP/100, en contraste con los demás cultivos los cuales presentaron total homogeneidad en sus valores. Mientras que para *Salmonella sp* se determinó su ausencia en todas las muestras Por lo tanto se concluye los cultivos hortícolas no cumplen con lo que establece la norma, no siendo aptos para el consumo humano.

1.3. Teorías relacionadas con el tema

1.3.1. Aguas residuales domesticas

Se origina principalmente en la vivienda y el comercio, son las aguas residuales de centros urbanos. Las variaciones existentes en la composición de las aguas residuales, están en función de las condiciones socioeconómicas de la población, el clima y otros factores típicos de cada localidad. Generalmente las aguas residuales presentan altas concentraciones de cloruros, sulfatos, nitrógeno, fósforo, sólidos y materia orgánica (Metcalf & Eddy 1995).

Tabla 1 Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual

CONTAMINANTES	RAZÓN DE LA IMPORTANCIA
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar a al desarrollo de depósitos de fango y de condición anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar en entorno acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y de la DQO (Demanda Química de Oxígeno). Si se descargan el entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son

CONTAMINANTES	RAZÓN DE LA IMPORTANCIA
	<p>nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.</p>
<p>Contaminantes prioritarios</p>	<p>Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.</p>
<p>Materia orgánica refractaria</p>	<p>Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los hallan presentes en el agua residual.</p>
<p>Metales pesados</p>	<p>Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.</p>
<p>Sólidos inorgánicos disueltos</p>	<p>Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua de suministros como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.</p>

Fuente: Metcalf & Eddy (1995).

1.3.2. Composición del agua residual domestica

De la misma manera que en las aguas naturales, se miden principalmente en las aguas residuales las características físicas, químicas y biológicas, para establecer las cargas orgánicas y de sólidos que transportan, determinar efectos del vertimiento a cuerpos de agua y seleccionar las operaciones y procesos del tratamiento que resultarán más eficaces y económicos.

Van Haandel y Lettinga (1994) sostienen que los constituyentes más importantes de los residuos líquidos confieren al agua residual propiedades físicas, químicas o biológicas indeseables. Según (Alaerts 1995), la composición del agua residual está determinada por el caudal y por su fuente.

Las aguas residuales consisten básicamente en agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos son la fracción más pequeña (menos del 0.1% en peso), pero representan el mayor problema a nivel de tratamiento. El agua provee únicamente el volumen y el transporte de los sólidos (Sterling, 1987).

1.3.3. Características típicas de las aguas residuales domesticas

Las aguas servidas que provienen de las viviendas, oficinas y negocios, se denominan aguas residuales domésticas, las agua depuradas como consecuencia de una actividad industrial se denominan aguas residuales industriales, ahora bien, si tenemos en consideración la composición física de cada una podemos estimar que entre el 40 a 70 % aproximadamente son tipo orgánicos.

En ese contexto, Menéndez & Pérez (2007) afirma: “El nivel de contaminación de las aguas residuales se mide a partir del conocimiento de

la concentración de los distintos constituyentes de un agua residual que pueden ser considerados contaminantes” (p. 2).

1.3.4. Características físicas del agua residual

➤ **Sólidos Totales:**

Metcalf & Eddy (1995) define a los sólidos totales “como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105 °C” (p. 59)

➤ **Sólidos Sedimentables**

Metcalf & Eddy (1995) nos dice que los solidos sedimentables se define como:

Aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos (...) expresado en unidades de mg/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. (p. 59).

➤ **Sólidos Disueltos**

Para definir a los sólidos disueltos, resulta necesario señalar que estos son la fracción filtrable de los sólidos totales, es así que Metcalf & Eddy (1995) nos dice que:

La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0.001 y 1 micrómetro. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. No es posible eliminar la fracción coloidal por sedimentación. Normalmente, para eliminar la fracción coloidal es necesaria la oxidación biológica o la coagulación complementadas con la sedimentación. (p.60)

➤ **Sólidos Disueltos**

Los sólidos volátiles representan la fracción orgánica de los sólidos, los cuales se volatilizan a temperaturas de 550 ± 50 °C. Los residuos de calcinación se conocen como sólidos fijos y constituyen la porción inorgánica o mineral de los sólidos, es así que Metcalf & Eddy (1995), señalan que:

Cada una de las categorías de sólidos comentadas hasta ahora puede ser a su vez, dividida en función de su volatilidad a 550 ± 50 °C. A esta temperatura la fracción orgánica se oxidará y desaparecerá en forma de gas, quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas. De ahí que se emplearan los términos “Sólidos volátiles” y “Sólidos fijos” para hacer referencia, respectivamente, a los componentes orgánicos e inorgánicos (o minerales) de los sólidos en suspensión. (...). El análisis de sólidos volátiles se emplea habitualmente para determinar la estabilidad biológica de fangos en agua residuales. (p. 62)

➤ **Olores**

Para Metcalf & Eddy (1995) los olores se origina de la liberación de los gases durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, es así que el agua residual reciente tiene un olor particular, algo desagradable, pero que resulta más tolerable que el del agua residual séptica, que se origina principalmente por la presencia de sulfuro de hidrógeno producido por la reducción de sulfatos a sulfuros por acción de microbiana anaerobia.

Asimismo, Metcalf & Eddy (1995) afirman que “ La problemática de los olores está asociada como la principal causa de rechazo a la implantación e instalaciones de tratamiento de aguas residuales” (p.63). En el siguiente cuadro podemos apreciar la asociación de los compuestos orgánicos a olores característicos

Tabla 2 Compuestos olorosos asociados al agua residual bruta

Compuestos olorosos	Fórmula química	Calidad del olor
Aminas	$\text{CH}_3\text{NH}_2, (\text{CH}_3)_3\text{H}$	A pescado
Amoníaco	NH_3	Amoniacal
Diaminas	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2, \text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$	Carne descompuesta
Sulfuro de hidrógeno	H_2S	Huevos podridos
Mercaptanos (p.e. metilo y etilo)	$\text{CH}_3\text{SH}, \text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{SH}$	Coles descompuestas
Mercaptanos (p.e. butilo y crotilo)	$(\text{CH}_3)_3\text{CSH}, \text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{SH}$	Mofeta
Sulfuros orgánicos	$(\text{CH}_3)_2\text{S}, (\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$	Coles podridas
Eskatol	$\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$	Materia fecal

Fuente: Metcalf & Eddy (1995)

➤ **Temperatura**

La temperatura del agua residual suele ser más cálida que el agua de abastecimiento, debido principalmente a la incorporación de aguas calientes provenientes de las casas e industrias.

La temperatura es un parámetro muy importante en las plantas de tratamiento de aguas residuales por su efecto sobre las operaciones y procesos de tratamiento ya que modifica la concentración del oxígeno disuelto y las velocidades de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana. Así también la temperatura del agua residual puede alterar la vida acuática de un cuerpo de agua receptor. (Romero 2004).

La temperatura óptima para la actividad bacterial es de 25°C a 35°C. La digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50°C. Cuando la temperatura es menor de 15°C la digestión metanogénica es muy lenta, y a temperatura de 5°C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar. (Romero 2004).

La densidad, viscosidad y tensión superficial disminuyen al aumentar la temperatura, o al contrario cuando esta disminuye, estos cambios modifican la velocidad de sedimentación de partículas en suspensión y la transparencia de oxígeno en procesos biológicos de tratamiento. (Romero, 2004).

➤ **Turbiedad**

Para Metcalf & Eddy (1995) la turbiedad mide la propiedades de transmisión de la luz de un agua, es un pámetro empleado para indicar la calidad de aguas en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La turbiedad se mide en mediante la comparación entre la intensidad de luz dispersa en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia.

➤ **pH**

El pH es un parámetro considerado como físico-químico, en las aguas residuales domésticas el rango de pH varía entre 6.5-8.0. En las plantas de tratamiento es un parámetro de operación importante, ya que su variación puede modificar la composición biológica de las aguas residuales (tratamiento biológico) y así también puede alterar el efecto de los compuestos químicos adicionados para el tratamiento (tratamiento químico). El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre pH 5 y 9. (Romero, 2004)

Romero (2004) afirma que la concentración del ión hidrogeno en el agua resiaual “ alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. Aguas residuales con pH menos de

sies, en tratamiento biológico, favorecen en crecimiento de hongos sobre las bacterias.”

1.3.5. Características químicas de las aguas residuales.

Los constituyentes químicos de las aguas residuales son con frecuencia clasificados como en inorgánicos y orgánicos.

➤ Compuestos Inorgánicos

Los compuestos inorgánicos agregados a las aguas durante su uso son:

Sales, generalmente se encuentran en solución y contribuyen a aumentar la salinidad del agua. El aumento de sales disueltas durante cada uso del agua puede alcanzar los 300-350 mg/lit. Nutrientes, el nitrógeno agregado en las proteínas principalmente y el fósforo en compuestos orgánicos y los detergentes son nutrientes que promueven el crecimiento de organismos productores autótrofos en aguas receptoras de desechos. Las aguas residuales domésticas e industriales son ricas en nutrientes. El nitrógeno y el fósforo, reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. Debido que el nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas, se necesita conocer datos sobre la presencia de este nutriente a la hora de evaluar la tratabilidad del agua residual mediante procesos biológicos. (López, Espigares y Pérez 1978)

Trazas de elementos, minerales como el hierro, calcio, potasio, cobre, sodio, magnesio, etc. son esenciales a la actividad microbiana. En ocasiones especialmente en desechos industriales, hay deficiencia de uno o más de estos elementos y la actividad microbiológica es inhibida. En el tratamiento de desechos de industrias es importante conocer cual o cuales micro-elementos son deficientes. (López, Espigares y Pérez 1978)

Tóxicos, afectan a los microorganismos y a los procesos de tratamiento y provienen de productos farmacéuticos, químicos y biocidas. Algunos tóxicos comunes como plomo, cromo, zinc, mercurio, cianuro, ácidos, derivados del petróleo y biocidas. Alcalinidad es una medida de su capacidad de neutralizar ácidos. Las aguas residuales domésticas son generalmente alcalinas, concentraciones de 50-200 mg/l- CaCO_3 son comunes. En las aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio o de ion amonio. Su capacidad para neutralizar ácidos y prevenir cambios bruscos de pH la hace importante en el tratamiento de aguas residuales. (López, Espigares y Pérez 1978)

➤ Gases

En aguas residuales los gases son producto de la descomposición biológica de la materia orgánica, los gases en aguas residuales son:

Oxígeno Disuelto, se disuelve desde la atmósfera y de la actividad fotosintética de algas. Existe muy poco oxígeno disuelto en el desagüe fresco y ninguno en aguas residuales sépticas.

Dióxido de Carbono (CO_2), la concentración es función del pH y el equilibrio químico del agua, también se encuentran monóxido de carbono (CO). El CO_2 en aguas es producido durante la respiración de microorganismos en aguas residuales y como producto de la descomposición biológica. (Morgan y Sagastume 1999)

Metano (CH_4), de la descomposición anaerobia de materia orgánica. Se encuentra en condiciones anaerobias donde hay descomposición en condiciones anóxicas. (Morgan y Sagastume 1999)

Amoniaco (NH₃, NH₄), las distribuciones dependen del pH de las aguas. Valores altos del pH favorecen la presencia del gas NH₃, especialmente por encima del 9.

Es resultado de la descomposición biológica de compuestos nitrogenados. (Morgan y Sagastume 1999)

Sulfuro de Hidrógeno (H₂S), alteran el pH de las aguas y producen corrosión de los alcantarillados. El H₂S se produce en condiciones anaerobias cuando predomina la formación de ácidos y no hay producción de metano. (Morgan y Sagastume 1999)

➤ **Compuestos Orgánicos**

Para Romero (2004) la composición orgánica del agua residual se debe en gran parte a la presencia de sólidos, es así que afirma:

Los sólidos suspendidos de un agua residual pueden contener un 75% de materia orgánica; los sólidos disueltos un 40% . La materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno (CHON) principalmente; con las proteínas (40 – 60%), los carbohidratos (25 – 50%) y las grasas y aceites (10%) como grupos más importantes. Concentraciones grandes de materia orgánica, en aguas residuales, se miden mediante la DBO, la DQO, y el COT. (p.60)

1.3.6. Características biológicas del agua residual

En general las características biológicas de aguas residuales se miden en pruebas para organismos indicadores como el NMP y conteo total de bacterias. Romero (2004) afirma que “Las bacterias constituyen el grupo más importante de microorganismos en el tratamiento de aguas residuales, utilizan

sustrato en solución, son heterótrofos o autótrofos, aerobias, anaerobias o facultativas” (p. 191).

En el amplio grupo de bacterias que están presentes en el agua residual, están los Coliformes, y dentro de este, los del género *Escherichia* y *Aerobacter* con presencia de 2×10^{11} organismos por persona por día, en los excrementos humanos, la presencia de coliformes en el agua es un indicador de contaminación. En esa misma línea, dentro del grupo de los coliformes tenemos a la *Escherichia coli* de origen fecal exclusivamente, siendo este organismo indicador por excelencia de contaminación fecal. (Romero, 2004, p. 193)

1.3.7. Tratamiento preliminar

Noyola, Morgan, & Güereca (2013) señalan que el tratamiento preliminar hace referencia a la “(...) eliminación de aquellos componentes que puedan provocar problemas operacionales y de mantenimiento en el proceso de tratamiento o en los procesos auxiliares. (...) El tratamiento se efectúa por medio de cribas o rejillas, desarenadores, flotadores o desgrasadores.” (p. 24)

Tabla 3 Objetivo de los procesos de pre tratamiento

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasas
Pre aeración	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico

Fuente: (CEPIS/OPS-OMS. 2002.)

➤ **Rejas**

Son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas, cuya finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente largas que estén en suspensión o flotantes. Las rejas, por lo general son la primera unidad de una planta de tratamiento. Este proceso nos permite proteger contra obstrucciones las válvulas, bombas, equipos de aireación, tuberías y otras partes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

El tipo de reja es definido por el espaciamiento libre existente entre las barras, que dependen de la finalidad que se pretenda lograr, las rejas finas por los problemas de operación que presentan suelen ser mecanizadas, a continuación, se presenta un listado de los tipos de rejas según su espaciamiento:

- Rejas Gruesas: 40 hasta 100 mm o más
- Rejas Medias: 20 hasta 40 mm
- Rejas Finas: 10 hasta 20 mm
- Rejas Rotativas Finas: 0.25 a 2.5 mm

➤ **Tanques de Compensación**

Estos tanques sirven para disminuir los efectos de la gran variación del caudal o de concentración de las aguas residuales, Metcalf & Eddy (1995), afirman que:

Las principales ventajas que produce la homogenización de los caudales son las siguientes: (1) mejora del tratamiento biológico, ya que eliminan o reducen las cargas de choque, se diluyen las sustancias inhibitoras, y se consigue estabilizar el pH; (2) mejora de la calidad del efluente y del rendimiento de los tanques de sedimentación secundaria al trabajar con cargas de sólidos constante; (3) reducción de las superficies necesarias para la filtración del efluente, mejora de los rendimientos de los filtros y posibilidad de conseguir ciclos de lavado más uniformes , y

(4) en el tratamiento químico, el amortiguamiento de las cargas aplicadas mejora el control de la dosificación de los reactivos y la fiabilidad del proceso.(p. 234)

➤ **Desarenadores**

Los desarenadores son unidades destinadas a retener la arena y otros detritos minerales inertes y pesados que se encuentran en las aguas residuales. Los desarenadores pueden ser diseñados como canales con velocidad controlada o como tanques de sección cuadrada o circular y de área adecuada y de la sedimentación de las partículas a remover. Pueden ser equipados con mecanismos especiales. Generalmente se prevé la construcción de dos desarenadores en paralelo, de modo que el retiro de una unidad de operación, para limpieza o reparación, no impida el trabajo de la otra, aunque sobrecargada, para Romero (2004) afirma que “Los desarenadores protegen el equipo mecánico del desgaste anormal y reducen la formación de depósitos pesados en tuberías, canales y conductos (...)” (p. 293)

1.3.8. Tratamiento secundario

Dentro de las etapas que forman el proceso de limpieza de las aguas residuales, "el tratamiento secundario tiene el objetivo de limpiar el agua de aquellas impurezas cuyo tamaño es mucho menor a las que se pueden captar por la decantación y las rejillas, para ello. los sistemas se basan en métodos mecánicos y biológicos combinados". Estos sistemas al manejar aspectos biológicos son afectados por factores externos, como son los climáticos, por lo que se tienen que estudiar sus características y adaptación al sitio del proyecto, para poder hacer una elección adecuada. (Radie B. Edward y

Hardenberg 1987). A continuación, se presenta una lista de los principales objetivos del tratamiento secundario o tratamiento biológico.

- Remover la materia orgánica, representada por la DBO₅, del 75 al 98% de remoción.
- Remover los sólidos suspendidos totales (SST) con remociones del 75 al 98%.
- Remover microorganismos patógenos y parásitos (>99%).
- Remover o reducir el contenido de nutrientes.
- Alcanzar la estabilización (digestión) de los sólidos volátiles de las aguas residuales.
- Aprovechamiento de los subproductos como biogás.

Tabla 4 Clasificación del tipo de tratamiento secundario

Filtración biológica	Lodos activados	Lagunas	Otros
<ul style="list-style-type: none"> - Baja capacidad (filtros clásicos) - Alta capacidad: <i>Filtros comunes</i> <i>Biofiltros Aero-filtros</i> <i>Accelo-filtros</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Convencional - Alta capacidad - Contacto estabilización - Aeración prolongada 	<ul style="list-style-type: none"> - Estabilización: <i>Aerobia</i> <i>Facultativa</i> <i>Maduración</i> - Aireada: <i>Mezcla completa Aireada facultativa</i> <i>Facultativa con aeración mecánica</i> <i>Difusión de aire</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Anaeróbicos: <i>Contacto Filtro anaerobio</i> <i>Reactor anaeróbico de flujo ascendente</i> - Oxígeno puro: <i>Unox / linde</i> - Discos rotatorios

Fuente: (MVCS 2008)

➤ **Sedimentación**

El primer tratamiento importante que sufren las aguas residuales después de las procedentes fases preliminares es, generalmente, la sedimentación de los sólidos suspendidos en un tanque adecuado en el que se mantienen las aguas por un lapso de 0.5 a 3 horas o más, que es suficiente para permitir que el 40 a 65% de los sólidos finamente divididos, se pose en el fondo del tanque, del cual se extraen por medio de colectores mecánicos, en forma de lodos. En esa línea Metcalf & Eddy (1995) afirman que “(...) Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales.” (p. 274).

En la actualidad, los requerimientos de tratamiento a nivel secundario han otorgado a la sedimentación primaria un rol menor. No obstante, muchos de los procesos unitarios de tratamiento secundario son capaces de manejar los sólidos orgánicos solo si se ha llevado a cabo una buena remoción de arena y escoria durante el tratamiento.

La mayor parte de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales son de naturaleza pegajosa y flocculan en forma natural. Las operaciones de sedimentación primaria son esencialmente del Tipo 2 sin la adición de coagulantes químicos ni operaciones de mezclado mecánico y flocculación (Tabla 5).

Tabla 5 Tipos de sedimentación que intervienen en el tratamiento del agua residual

Tipo de fenómeno de sedimentación	Descripción	Aplicación / Situaciones en que se presenta
De partículas discretas (Tipo 1)	Se refiere a la sedimentación de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan como entidades individuales y no existe interacción sustancial con las partículas vecinas.	Eliminación de las arenas del agua residual
Floculante (Tipo 2)	se refiere a una suspensión bastante diluidas de partículas que se agregan, o flocculan, durante el proceso de sedimentación. Al unirse, las partículas aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad.	Eliminación de una fracción de los sólidos y suspensión del agua residual bruta en el tanque de sedimentación primaria, y en la zona superior de los decantadores secundarios. También elimina los flóculos químicos de los tanques de sedimentación
Retardada, también llamada zonal (Tipo 3)	Se refiere a suspensiones de concentración intermedia, en las que las fuerzas entre partículas son suficientes para entorpecer la sedimentación de las partículas vecinas. Las partículas tienden a permanecer en posiciones relativas fijas, y la masa de partículas sedimenta como una unidad. se desarrolla una interfase sólido -	Se presenta en los tanques de sedimentación secundaria empleados en las instalaciones de tratamiento biológico

Tipo de fenómeno de sedimentación	Descripción	Aplicación / Situaciones en que se presenta
Compresión (Tipo 4)	<p>líquido en la parte superior de la masa que sedimenta.</p> <p>Se refiere a la sedimentación en la que las partículas están concentradas de tal manera que se forma una estructura, y la sedimentación solo puede tener lugar como consecuencia de la compresión de esta estructura. La compresión se produce por el peso de las partículas, que se van añadiendo constantemente a la estructura por sedimentación desde el líquido sobrenadante.</p>	<p>Generalmente, se produce en las capas inferiores de una masa de fango de gran espesor, tal como ocurre en el fondo de los decantadores secundarios profundos y en las instalaciones de espesamientos de fango.</p>

Fuente: Metcalf & Eddy (1995).

La sedimentación primaria puede llevarse a cabo en tanques rectangulares alargados o en tanques circulares, es así que Metcalf & Eddy (1995) afirman que:

En los tanques rectangulares, la espuma se retira utilizando unas rastras de lodo que, de manera alternada, después de recorrer el tanque por el fondo, regresan a su punto de partida recorriendo la superficie del agua, lo que se aprovecha, como se dijo para remover la espuma. La materia flotante se desplaza de esta manera hasta un sitio donde se colecta, ubicado a cierta distancia hacia atrás del vertedor del efluente, y allí es retirado al pasar sobre un vertedor de espuma o por medio de una rastra transversal. (p. 259)

➤ **Flotación**

La flotación es un proceso de separación líquido-sólido utilizando para la remoción de partículas o sólidos suspendidos en aguas residuales. Se usa principalmente para la separación de grasas, aceites, material fibroso y otros sólidos de densidad baja. Como la mayoría de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales tiene un peso específico cercano a 1.0, la adhesión de las burbujas de aire a los sólidos, o su entrapamiento al interior del floc, hacen que las partículas floten fácilmente. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 277)

Se logra que los sólidos en suspensión floten a la superficie del tanque cuando se aplican presiones en el rango de 2.8- 4.2 Kg./cm², bien sea a las aguas residuales directamente o al efluente recirculante del tanque de flotación. Dichas presiones deben aplicarse en presencia de exceso de aire. El aire se disuelve en el agua a dichas presiones y luego se desprende de la solución de aguas residuales cuando se descarga la mezcla a presión en el fondo del tanque de flotación. El desprendimiento del aire ocurre en la forma de finas burbujas las cuales se adhieren o quedan inmersas en los sólidos suspendidos. La mezcla partículas- aire asciende entonces a la superficie del tanque de donde se remueven los sólidos mediante un mecanismo recolector de lodos. (Romero, 2004, p. 345 - 350)

➤ **Precipitación Química**

Es un tipo de tratamiento primario que lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad de modificar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, para así facilitar su eliminación. Se agrupa en tres procesos, como son la coagulación, floculación y sedimentación. (Metcalf & Eddy 1995)

La coagulación, en esta etapa las fuerzas entre las partículas de los contaminantes se reducen o eliminan mediante la adición de productos químicos, lo que permite la interacción de partículas mediante el movimiento molecular y la agitación física. La mezcla rápida permite la dispersión en el agua residual del producto químico utilizado en el tratamiento y promueve el choque de partículas, lo que hacen que las partículas se agrupen para formar otras de mayor tamaño, es decir la coagulación. Los productos químicos añadidos para promover dicha segregación se denominan coagulantes y tiene dos propósitos básicos, el primero de estabilizar las partículas, lo que permite la integración y lo segundo es promover la agrupación de partículas reforzando así la floculación.

La floculación, se produce después de un periodo de mezcla rápida ya que necesario disminuir la velocidad de la mezcla para que se formen flóculos más grandes. (Si la velocidad de la mezcla es alta los flóculos continúan siendo destruidos por excesivo contacto físico).

La sedimentación, debido al tamaño de las partículas sigue siendo necesaria algo de mezcla para que exista contacto entre las masas de sólidos y promover así la formación de flóculos que sedimentan rápidamente. Durante la precipitación, los sólidos se separan del líquido normalmente por sedimentación, Durante la precipitación, los sólidos se separan del líquido normalmente por sedimentación, lo que debe resultar en dos capas claramente visibles: una sólida y otra líquida, que pueden ser separadas fácilmente.

La precipitación química se realiza la mayor parte de las veces utilizando hidróxido de sodio, compuestos de sulfato (alumbre o sulfato férrico) o sulfuros (sulfuro de sodio o sulfuro de hierro). La adición de estos compuestos a aguas residuales portadores de metales forma

hidróxido de metal o sulfuros de metal respectivamente, y la solubilidad en el agua de estos es limitada.

Esta técnica se utiliza para remover la mayoría de los metales de las aguas residuales, y algunas especies aniónicas como sulfato y fluoruro. Los compuestos orgánicos en las aguas residuales pueden formar complejos de metal y reducir la eficacia de este tipo de tratamiento, en cuyo caso probablemente se necesite realizar estudios a nivel laboratorio o de proyecto piloto para determinar los métodos de tratamiento apropiados para romper el complejo y hacer que se precipite el metal. Frecuentemente este problema puede resolverse utilizando mejores técnicas de separación de residuos. (Rafael y Rojas , 2012)

➤ **Tanque Imhoff**

Los tanques Imhoff son unidades compactas de tratamiento de aguas residuales en las cuales se combinan los procesos de sedimentación y de digestión anaeróbica de los sólidos suspendidos removidos.

Su desarrollo se produjo en la búsqueda del mejoramiento en las condiciones de funcionamiento de los tanques sépticos en los cuales la eficiencia del proceso se ve seriamente afectada porque en una misma cámara se realizan los procesos de sedimentación y digestión.

La finalidad y uso de los tanques Imhoff son las mismas que las de un proceso de tratamiento primario, pues los niveles de remoción de sólidos suspendidos y de DBO son bajos comparados con los niveles logrados en los sistemas más completos de tratamiento biológico. (OPS/CEPIS/05.163 2005)

➤ **Lodos activados**

El lodo activado es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor. Los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque aireador o reactor. (Charpentier 2014)

La reducción de la DBO y sólidos en suspensión en el proceso convencional del lodo activado que incluye predecantación y sedimentación final, puede variar desde 80 a 95% y la reducción de las bacterias coliformes de 90 a 95%. Además, el costo de construcción de una planta de lodo activado puede ser competitivo con otros tipos de plantas de tratamiento que producen resultados comparables. Sin embargo, los costos unitarios de operación son relativamente altos. El método de lodo activado es un tratamiento biológico secundario que emplea la oxidación para descomponer y estabilizar la materia putrescible que queda después de los tratamientos primarios. (Charpentier 2014)

➤ **Filtros Biológicos**

El proceso de filtración biológica puede definirse como un sistema de lechos compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos, de alta relación área/volumen, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales de manera continua.

A lo largo de la profundidad del lecho del filtro biológico, la comunidad biológica sufre cambios que están en función de la variación de la carga orgánica del agua residual, el pH, la temperatura la

disponibilidad del oxígeno disuelto, entre otros, la flora de bacterias de la película superficial es similar a la de los lodos activados. (Romero 2004)

El aire proporciona el oxígeno requerido para la respiración endógena de los microorganismos y para la oxidación de la materia orgánica que toman como alimento. Originalmente los filtros eran diseñados basados en cargas hidráulicas y orgánicas que produjeran una remoción el 80 – 90% de la DBO del afluente. En la actualidad los sistemas de filtros percoladores pueden clasificarse como filtros convencionales o de tasa baja, filtros de tasa intermedia, filtros de tasa alta y filtros de tasa súper alta. (Romero 2004)

➤ **Lagunas de Estabilización**

La tecnología de lagunas de estabilización es uno de los métodos naturales más importantes para el tratamiento de aguas residuales. Las lagunas de estabilización son fundamentalmente reservorios artificiales, que comprenden uno o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. El tratamiento primario se lleva a cabo en la laguna anaerobia, la cual se diseña principalmente para la remoción de materia orgánica suspendida (SST) y parte de la fracción soluble de materia orgánica (DBO). La etapa secundaria en la laguna facultativa remueve la mayoría de la fracción remanente de la DBO soluble por medio de la actividad de algas y bacterias heterotróficas. El principal objetivo de la etapa terciaria en lagunas de maduración es la remoción de patógenos y nutrientes (principalmente Nitrógeno). Las lagunas de estabilización son la tecnología de tratamiento de aguas residuales con mayores ventajas de costo-efectividad para la remoción de microorganismos patógenos (Romero 2004).

Así también, con relación al tratamiento del agua residual mediante lagunas de estabilización CONAGUA (2016) señala que:

Cuando el agua residual es descargada en una laguna de estabilización se realiza, en forma espontánea, un proceso de auto purificación o estabilización natural, en el que tienen lugar fenómenos de tipo físico, químico y biológico. En esta simple descripción se establecen los aspectos fundamentales del proceso de tratamiento del agua que se lleva a cabo en las lagunas de estabilización:

Es un proceso natural de autodepuración

La estabilización de materia orgánica se realiza mediante la acción simbiótica de bacterias, algas, y otros organismos superiores

Se presentan procesos físicos de remoción de materia suspendida

Se efectúan cambios químicos en la calidad del agua que, entre otros aspectos, mantienen las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación, y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables y en algunos casos, nutrientes

Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas residuales. Por lo tanto, las lagunas de estabilización se consideran, y pueden proyectar, como un método de tratamiento de la materia orgánica y de remoción de los patógenos presentes en el agua residual (p.1)

Lagunas Anaerobias, se emplean generalmente como primera unidad de un sistema cuando la disponibilidad de terreno es limitada o para el tratamiento de aguas residuales domésticas con altas concentraciones y desechos industriales, para CONAGUA (2016) las lagunas anaerobias se diseñan para tratar aguas residuales con altas concentraciones de materia orgánica, esta unidad de tratamiento

posibilita la sedimentación de sólidos y la remoción de materia orgánica en ausencia de oxígeno.

No es recomendable el uso lagunas anaerobias para temperaturas menores de 15°C y presencia de alto contenido de sulfatos en las aguas residuales (mayor a 250 mg/l.)

Debido a las altas cargas de diseño y a la reducida eficiencia, es necesario el tratamiento adicional para alcanzar el grado de tratamiento requerido. El efluente de la laguna anaerobia es por lo general de color amarillo a café oscuro. (p.2-3)

Lagunas Facultativas, es un estanque cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias en presencia de oxígeno y en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia. Para CONAGUA (2016) su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas debe ser:

- Como laguna única (caso de climas fríos en los cuales la carga de diseño es tan baja que permite una adecuada remoción de bacterias) o seguida de una laguna secundaria y terciaria (normalmente referida como laguna de maduración), y
- Como una unidad secundaria después de lagunas anaerobias o airadas para procesar sus efluentes a un grado mayor.

Lagunas Aireadas, las lagunas de estabilización aireadas de forma artificial, son una mejora del proceso, se emplean generalmente como primera unidad de un sistema de tratamiento en donde la disponibilidad

del terreno es limitada o para el tratamiento de desechos domésticos con altas concentraciones o desechos industriales cuyas aguas residuales sean predominante orgánicas. El uso de las lagunas aireadas en serie no es recomendable. (CONAGUA 2016).

1.3.9. Tratamiento terciario

El principal objetivo del tratamiento terciario es llegar a cumplir el estándar de calidad de agua efluente de la planta de tratamiento para no generar contaminación al receptor o ser adecuada para su reutilización, según sea el caso. Muchas veces suele pasar el agua residual del tratamiento secundario con algunos microorganismos patógenos, o agua tratada con mal olor, mal color y con diferentes características con las que no sería adecuado reutilizarse, es por ello que se debe tener un tratamiento final para dar seguridad a las comunidades.

De acuerdo al tipo de reutilización, se debe cumplir con la eliminación de ciertos microorganismos, es así que los tratamientos pueden pasar de los más a menos estrictos. Para reducir la concentración de microorganismos propios del agua residual, pueden utilizar los métodos como: cloración, filtros con material apropiado, radiación UV, etc. (Metcalf & Eddy 1995).

Tabla 6 Procesos de tratamiento avanzado y eficiencia de remoción

PROCESO	EFICIENCIA REMOCIONAL							
	SS	DBO	DQO	NH ₃	Norg	NO ₃	PO ₄	STD
Arrastre de amoníaco Filtración				85-98				
Múltiple	80-90	50-70	40-60		20-40			
Diatomea	95-99							

PROCESO	EFICIENCIA REMOCIONAL							
	SS	DBO	DQO	NH ₃	Norg	NO ₃	PO ₄	STD
Micro filtro	50-80	40-70	30-60		20-40			
Destilación	99	98-99	95-98		90-98	99	99	95-99
Flotación	60-80				20-30			
Congelación	95-98	95-99	90-99		90-99	99	99	95-99
Aplicación en suelo	95-98	90-98	80-90	60-80	80-95		60-90	
Osmosis inversa	95-98	95-99	90-95	95-99	95-99	95-99	95-99	95-99
Porción		50	40				99	10
Carbón activado	80-90	70-90	60-75		50-90			
Precipitación	60-80	75-90	60-70		60-50		90-95	20
Precip. Química en lodo activado	80-95	90-95	85-90	30-40	30-40	30-40	30-40	10
Intercambio iónico		40-60	30-50	85-98	80-95	80-90	85-98	
Electroquímico	80-90	50-60	40-50	80-85	80-85		80-85	
Electrodialisis				30-50		30-50	30-50	40
Oxidación química		80-90	65-70	50-80				
Asimilación bacteriana	80-5	75-95	60-80	30-40	30-40	30-40	10 - 20	
Des nitrificación						60-95		
Lagunas		50-75	40-60	50-90	50-90	50-90	50	
Nitrificación - desnitrificación						60-95		

Fuente: (CEPIS/OPS-OMS. 2002.)

➤ Sistema de Cloración

Existen varias formas de cloración del depósito que pueden pasar por un sistema automático de medición y control de la dosificación de cloro

libre en el depósito mediante sonda de cloro libre o de redox o dosificación de cloro proporcional al caudal de agua depurada mediante la instalación de un contador- emisor de impulsos. La cloración del agua residual es el sistema más sencillo y económico para un tratamiento terciario de reutilización de agua para riego de jardines y plantas. Como desventaja cabe destacar el hecho de que requiere el empleo y manipulación de un producto químico como el hipoclorito de sodio. Además, ciertas plantas ornamentales, hortalizas o cultivos frutícolas pueden ser susceptibles a ser dañadas. También cabe destacar que este sistema supone siempre el empleo de un depósito exclusivo para realizar la cloración ya que siempre es necesario un tiempo de contacto adecuado del agua clorada para asegurar la desinfección. (OPS-COSUDE/01-07 2007).

El cloro es un oxidante poderoso, es el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, incluyendo su fácil dosificación y bajo costo. En esa misma línea, la OPS-COSUDE/01-07 (2007) nos indica que el uso de cloro como desinfectante tiene las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Destruye los organismos patógenos del agua en condiciones ambientales y en un tiempo corto.
- Es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo.
- La determinación de su concentración en el agua es sencilla y de bajo costo.
- En las dosis utilizadas en la desinfección de las aguas, no constituye riesgo para el hombre ni para los animales.
- Deja un efecto residual que protege el agua de una posterior contaminación

Desventajas:

- Es muy corrosivo.
- Puede producir sabor desagradable en el agua, incluso en concentraciones que no significan riesgo para el consumidor.
- Su manejo y almacenamiento requiere ciertas normas de seguridad, para evitar riesgos en la salud de los operadores. El cloro, en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas verde, dos y media veces más pesado que el aire.

Algunas de sus sales también tienen poder desinfectante. Las más usadas son el hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio, cuya eficiencia bactericida es idéntica a la del cloro y que producen reacciones similares en el agua. Se emplean en plantas pequeñas, piscinas y pozos, pues los hipocloradores son más sencillos y económicos. (OPS-COSUDE/01-07 2007)

➤ **Radiación Ultravioleta**

En este caso la desinfección se realiza mediante un equipo UV que proporciona una desinfección inmediata y más efectiva que la cloración, ya que la desinfección se realiza de forma instantánea mediante el paso de agua por el equipo de tratamiento ultravioleta lo que favorece este tipo de tratamiento terciario cuando no se disponga de espacio suficiente para un tratamiento con cloro o con ozono. Metcalf & Eddy (1995) afirman que:

Se ha podido comprobar que una correcta dosificación de rayos ultravioletas es un eficaz bactericida y viruicid, además de no contribuir a la formación de compuestos tóxicos. (...) Se ha comprobado que la radiación ultravioleta no constituye un desinfectante efectivo para aguas residuales que presentan altas concentraciones de sólidos. (p.399-401)

Ventajas:

- Actúa sobre una amplia gama de microorganismos, ya que los rayos Ultravioleta inactivan los ácidos nucleicos (ADN y ARN). Pueden eliminar bacterias comunes, esporulados y virus.
- No reacciona con los constituyentes del agua y, por tanto, no forma derivados ni cambia las condiciones organolépticas del agua.
- El proceso es sencillo y de bajo costo.
- El proceso no necesita tanques de mezcla o de contacto.

Desventajas:

- La penetración de los rayos en el agua está limitada por el color y la turbiedad, por lo que el agua debe ser completamente clara.
- Con el transcurso del tiempo, las lámparas pueden ensuciarse, lo que reducirá la capacidad de penetración de los rayos.
- La vida útil de las lámparas es muy limitada.

➤ Ozonización

El ozono es un poderoso oxidante y desinfectante con una velocidad de esterilización superior a la de un tratamiento convencional con cloro. El uso de ozono para desinfectar no produce sólidos disueltos, no se afecta por el pH del agua, es un efectivo bactericida y virucida. (Metcalf & Eddy 1995)

Ventajas del Ozono:

- Se considera que el ozono es el desinfectante de mayor eficiencia microbicida y requiere tiempos de contacto bastante cortos. Se ha demostrado que cuando el ozono es

transferido al agua mediante un mezclador en línea sin movimiento, las bacterias son destruidas en dos segundos. Por ello, el tiempo de contacto en la ozonización no tiene mayor importancia.

- La velocidad con que el ozono mata a las bacterias es bastante mayor que la del cloro, debido a que, si bien ambos son oxidantes, el mecanismo de acción es diferente. El ozono mata a la bacteria por medio de la ruptura de la membrana celular. Este proceso, conocido como destrucción de células por lisina, produce la dispersión del citoplasma celular en el agua. En cambio, el cloro debe introducirse a través de la pared celular de la bacteria y difundirse dentro del citoplasma, acción que depende en alto grado del tiempo de contacto
- Otra ventaja frente al cloro es que no imparte al agua color, olor ni sabor. Es más, debido a que ozono al entrar en contacto con el agua se descompone rápidamente, no queda residuo alguno de compuesto químico en el efluente, es decir no hay residuos químicos que requieran ser eliminados antes de la descarga en un cuerpo de agua natural, como si ocurriría con el cloro residual. (Metcalf & Eddy 1995)

Desventaja del Ozono:

- La desventaja más importante del ozono como desinfectante del agua radica en que no tiene poder residual, además de la limitada información sobre la toxicidad de sus productos derivados como los aldehídos,

los ácidos carboxílicos, los bromatos, las cetonas, etc.
(Menéndez y Pérez 2007)

1.3.10. Tecnología de tratamiento para cumplir los estándares de calidad

Para el sistema de tratamiento de aguas residuales se tendrá como objetivo diseñar una planta con pre tratamiento y/o tratamiento primario, tratamiento secundario y finalmente tratamiento terciario. En el caso de pre tratamiento y tratamiento primario se constarán los procesos en cámara de rejillas, desarenadores, o sedimentadores. Para la elección del tratamiento secundario se tomará algunos factores específicos determinantes como el área que ocupe la planta, la eficiencia de remoción, los costos en construcción como mantenimiento y algunos factores generales como la estabilidad y simplicidad. Se analizará la tabla general de Von Sperling, la cual califica los tratamientos secundarios principales bajo diferentes secciones. Von Sperling fue uno de los principales investigadores, que pudo determinar las diferencias de manera cuantitativa y cualitativa, de los sistemas de tratamiento secundario. Dentro de algunas características se encuentran muchos de los requisitos que se asumirá para la instalación de la planta de tratamiento en la urbanización.

Como punto importante se verá cuáles son los sistemas de tratamiento que generan menor área de construcción. Se puede observar que los tratamientos como lagunas facultativas o humedales son las más desfavorables, debido a que se requieren gran cantidad de terreno para recibir la cantidad de agua residual y generar a la vez los procesos de descomposición y estabilización. Estos procesos al no tener mecanismos de ayuda para agilizar la descomposición biológica deben almacenar grandes cantidades de agua, dificultando su uso en zonas residenciales.

Asimismo, los sistemas de lagunaje y humedales cuentan como desventaja producir la proliferación de olores e insectos, estas características son consecuencia de la poca ayuda mecánica que recibe el tratamiento (Peré, 2013).

Ahora bien, si consideramos eliminar los procesos de tratamiento antes mencionados, quedan como opciones a elegir, los tratamientos anaerobios, de lodos activados y filtros percoladores, los cuales pasan al siguiente nivel de análisis, es decir, los costos de construcción.

Si se desea construir una planta de tratamiento de agua residual que genere las menores dificultades de retorno del capital invertido, la opción de un tratamiento secundarios mediante filtros percoladores no es la más adecuada, debido a que la inversión de la planta se contrastaría con el mantenimiento y no llegaría ser alentador para el inversionista o la EPS. En el caso de lodos activados, dicha tecnología también tiene un alto costo de construcción, por lo que no se considera una solución viable, sin embargo, podría ser factible asumir el procedimiento de lodos activados con aireación extendida. A pesar de ser muy buenas opciones los lodos activados convencionales y los tanques SBR, los sistemas son costosos de construir y de mantener en operación, sin perjuicio de que con el crecimiento del número de personas los sistemas de tratamiento de agua residual mecanizados se hacen más viables (Peré, 2013).

Se debe tener en cuenta que hay dos opciones sobre el mantenimiento de las plantas: que se encargué esta tarea a un inversionista privado o que la EPS sea la responsable de operar y mantener la infraestructura. Se sabe que los inversionistas al asumir la construcción de las plantas de tratamiento liberan de esta inversión a las EPS. Es indispensable que las EPS generen un flujo de caja importante que muestre en qué momento la planta de tratamiento genera ganancias con el cobro de tarifas vs el costo de mantenimiento, sin bajar la calidad de este rubro. En el caso de los

inversionistas el costo de la construcción se puede ver reflejada en el costo del bien que genera. Es decir, el costo total de la obra dividida entre el número de habitantes, genera un costo menor a 40 dólares, en el caso más desfavorable como por ejemplo en una habilitación urbana que tiene lento crecimiento poblacional. Es así que 40 dólares por habitante y 200 dólares por familia aproximadamente, con respecto al costo de una casa o departamento de \$30,000 significa 0.13% por habitante y 0.67% por familia del valor referencial, generando un mayor foco de atracción para los inversionistas inmobiliarios, ya que no solo venden una idea de mejora para la calidad de vida de las personas sino generan retorno de inversión a corto plazo.

Regresando al tema técnico, se debe recordar que es muy importante la selección del tratamiento secundario, ya que es aquí donde ocurre la mayor parte de remoción del agua residual. Además, es el punto de mayores problemas en el Perú ya que muchas veces no se cuenta con tratamientos primarios o terciarios, solo se depende del tratamiento secundario, y este no cuenta con un buen mantenimiento.

En la actualidad, también se cuenta con una tecnología que ayuda de manera eficaz al tratamiento de aguas residuales, los biorreactores de membranas. Esta tecnología presenta muchas ventajas con respecto a las tecnologías tradicionales entre ellas la calidad de agua tratada, menor producción de lodos, plantas más compactas, entre otras. Se compone de partes integradas: el reactor biológico responsable por la depuración biológica, la separación física de la biomasa y el agua mediante el sistema de filtración directa con membranas. La gran ventaja con la que cuenta esta tecnología se deriva a las elevadas concentraciones de biomasa con las que se trabaja en el reactor biológico, debido a la membrana que actúa como barrera física y que no deja escapar las bacterias permitiendo un control del tiempo del lodo (Lopetegui, 2014).

1.3.11. Tratamiento de aguas residuales en el Perú

➤ **Diagnostico situacional de los sistemas de tratamiento de agua residuales en el Perú.**

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento -Sunass (2008) en ejercicio de su función supervisora y fiscalizadora de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS), realizó el 2007 un inventario de las plantas de tratamiento de aguas existentes en el Perú, recopiló datos de su estado de operación y mantenimiento y la calidad del servicio que prestan.

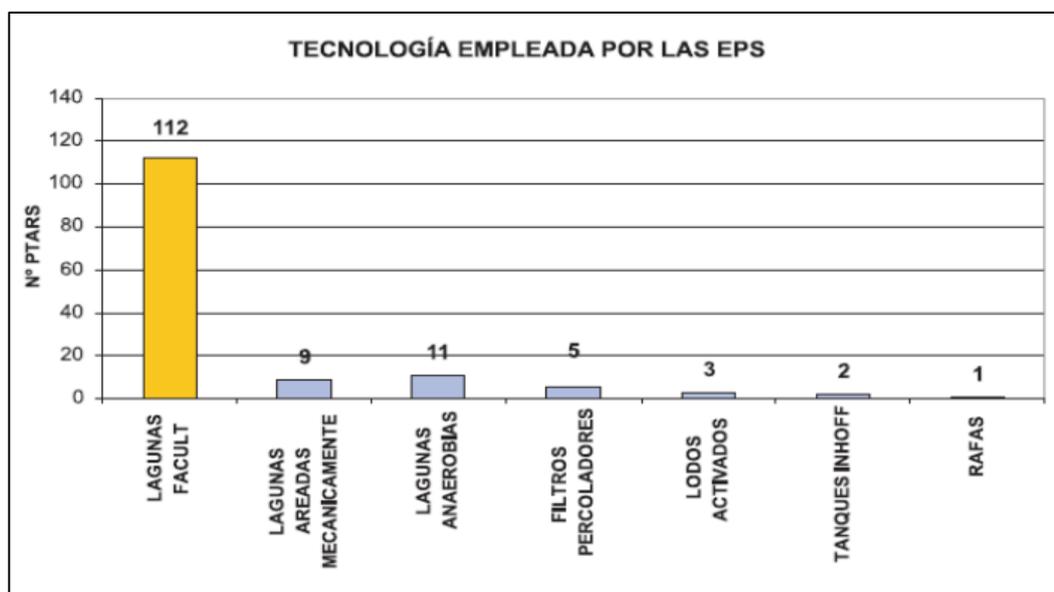
Sobre esa base se ha identificado que en las EPS los principales problemas en la gestión de las aguas residuales son:

- a) El déficit de cobertura de tratamiento
- b) la ineficiencia operativa de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- c) Las causas directas e indirectas de este problema, así como las consecuencias que acarrea, se listan a continuación:
 - i. Principales causas:
 - Insuficiente investigación y desarrollo tecnológico en el Perú.
 - Déficit de financiamiento para el tratamiento de las aguas residuales.
 - ii. Principales consecuencias:
 - Incumplimiento de los objetivos de calidad de las PTAR.
 - Bajo volumen de aguas residuales tratadas.

➤ **Insuficiente investigación y desarrollo tecnológico en el Perú**

El inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales en las EPS de Sunass al 2007 muestra que de las 143 PTAR identificadas a esa fecha, 92% se compone de lagunas de estabilización en sus diferentes variedades de comportamiento biológico (anaerobias, facultativas o aireadas), siendo las lagunas facultativas las más empleadas, 78% en 112 PTAR, como se muestra en el gráfico 1.

Gráfico 1 Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Información recopilada por la Sunass de la EPS en setiembre de 2007

En cuanto al resto de tecnologías, solo existen cinco PTAR que operan con filtros percoladores, tres con lodos activados y una con un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). Vale la pena mencionar que la única planta de lodos activados de tipo secuencial (SBR) es la de Puente Piedra y la administra SEDAPAL.

Del mencionado estudio realizado por la Sunass, es importante resaltar que la mayoría de las EPS han invertido o se encuentran invirtiendo en la construcción de lagunas de estabilización del tipo facultativo por el bajo costo de inversión, operación y mantenimiento y a la elevada eficiencia en la remoción de materia orgánica en comparación con otras tecnologías.

1.3.12. Parámetros de análisis de los límites máximos permisibles

Según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (2010). El Límite Máximo Permissible 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.

Tabla 7 Límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas

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	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: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, 2010

1.3.13. Reúso de aguas residuales.

El efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales, es una materia prima valiosa por su contenido de nutrientes y materia orgánica, la

cual debe ser valorada y aprovechada para reuso de cualquier naturaleza, en vez de verter estas aguas al cauce más cercano.

Para la OMS (1989), las aguas residuales constituyen un problema sanitario, pero a su vez un recurso muy apreciado para el riego; de gran valor económico en áreas desérticas o con estiajes prolongados. Los nutrientes presentes en las aguas residuales tienen valor como fertilizantes y aumentan el rendimiento de los cultivos. La aplicación de aguas residuales previamente tratadas, al suelo, campos de cultivo, constituye en sí un tratamiento adicional que mejora la calidad de las mismas. Las aguas residuales domésticas son aprovechadas en muchas áreas del mundo, para:

- Riego agrícola (a veces directamente y a veces por extracción de ríos a las cuales se han descargado).
- Riego de árboles y plantas en corredores de transporte.
- Riego de césped, por ejemplo, en campos de fútbol.

➤ **Manejo de Lodos.**

El lodo es un subproducto que se genera en todos los procesos de tratamientos de aguas residuales. El lodo producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales suele ser líquido o líquido semisólido.

El lodo estabilizado generado del tratamiento de las aguas residuales, es valioso como fuente de nutrientes y como acondicionador del suelo, puede emplearse en la agricultura o como fertilizante de estanques en acuicultura. El uso de los lodos debe de fomentarse en donde sea posible, siempre y cuando se provea de la protección de la salud. La materia orgánica del lodo estabilizado mejora el suelo porque:

- Permite una mayor retención de la humedad.
- Adiciona al suelo los nutrientes necesarios para las plantas.
- Incrementa la actividad biológica del suelo.
- Evita o al menos disminuye la necesidad de fertilizantes químicos.

1.4. Marco legal

En los últimos años en el Perú se ha generado gran contaminación de los recursos hídricos, es por ello que se trató de formalizar y regular los vertimientos los cuerpos receptores. El gobierno comenzó a trabajar la gestión integral de los recursos hídricos y del ambiente, dando como resultado:

1.4.1. Ley N° 29338, Recursos Hídricos.

Es aquí donde toma protagonismo la Autoridad Nacional del Agua (ANA). La ley de recursos Hídricos, la misma que deroga la ley N° 17752, ley de aguas, así como el Decreto legislativo N° 1007 (Norma que promueve la irrigación de tierras eriazas con aguas desalinizadas); el decreto legislativo N° 1081 (Norma que crea el sistema Nacional de Recursos Hídricos); y el Decreto legislativo N° 1083 (Norma que promueve el aprovechamiento eficiente de la conservación de los Recursos Hídricos). El reglamento faculta a la Autoridad Nacional del Agua (ANA), a dictar disposiciones para su implementación. Esta ley tiene XII títulos además de un título preliminar referido a los principios que regulan el uso y la gestión integrada de recursos hídricos.

La ley comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a ésta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulta aplicable. La ley regula el uso y gestión integrada del agua, la actuación del estado y los particulares en dicha gestión, así como los bienes

asociados al agua. Los bienes asociados con lo que se detallan en los artículos 5 y 6 de la ley.

1.4.2. D.S. N° 001-2010-AG Reglamento de la ley de recursos híbridos.

El Reglamento es bastante extenso, pues en sus XII Títulos contiene 287 artículos, 9 disposiciones complementarias finales y 10 disposiciones complementarias transitorias. El Título I trae las Disposiciones Generales mientras que el Título II se ocupa extensamente (en 10 Capítulos) del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos. El Título III se refiere al Uso de los Recursos Hídricos, el Título IV (en 8 Capítulos) trata de los Derechos de Uso de Agua. El Título V se dedica en 13 Capítulos a la Protección del Agua, mientras que el Título VI se dedica a Régimen Económico por el Uso del Agua. El Título VII se ocupa de la Planificación de los Recursos Hídricos y el Título VIII a la Infraestructura Hidráulica. El Título IX está dedicado a las Aguas Subterráneas y el Título X a las Aguas Amazónicas. El Título XI se ocupa de los Fenómenos Naturales y finalmente, el Título XII a las Infracciones y Sanciones.

1.4.3. Análisis del Marco legal del reúso de las aguas residuales con fines agrícolas.

Actualmente, se cuenta con una serie de requisitos en el marco legal que buscan mejorar la calidad de los efluentes hídricos y mejorar la calidad ambiental. En el caso del tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, se puede visualizar dos escenarios: La calidad del agua al salir de la planta de tratamiento y el estándar que debe alcanzar el tratamiento para no perjudicar al uso del receptor.

El agua que sale de la planta de tratamiento es regulada mediante los Límites Máximos Permisibles (LMP) para darle seguridad de haber cumplido con un tratamiento adecuado, siendo este un factor decisivo para la elección de las tecnologías para tratar el agua residual ya que solo algunas llegan a ciertos grados de purificación. En el caso de los estándares para no perjudicar al receptor tenemos a los Estándares de Calidad Ambientales para Agua (ECA), los cuales se encargan de clasificar a los receptores según las funciones que desempeñan. Un ejemplo para visualizar los ECA, es ver la diferencia que resultaría depositar agua residual tratada en un río y que kilómetros más adelante servirá para el uso agrícola, con un río que tendrá como función kilómetros más adelante tratar agua para ser potabilizada

Con respecto a los valores de ECAs y los LMP, se puede determinar que usos se pueden dar para el tratamiento de aguas residuales, además se ha conocido los parámetros que la ley peruana dispone para el bienestar de la salud y el medio ambiente. En el Perú, en zonas como la costa, la agricultura se ve limitada por la escasez de agua y suelos con malas propiedades para el cultivo. Se sabe que desde el 2008, el 77% del área irrigada con aguas residuales en Lima son destinadas a la agricultura y la acuicultura, a pesar que sólo representa el 44% del total de actividades realizadas (Moscoso y Alfaro, 2008).

Ello significa que el uso de la agricultura emplea considerable área y a la vez requiere gran dotación de agua. Se conoce en la actualidad, que el riego de zonas agrícolas tiene dos caminos definidos. El primer camino es el riego con agua de río siendo este procedimiento con consentimiento de las autoridades locales del agua y sus comisiones correspondientes.

A pesar de ello, se puede ver como el agua captada aún contiene ciertos niveles de contaminación, los cuales son ignorados. El segundo camino es el riego informal con agua residual, teniendo como resultado productos agrícolas con grandes características perceptibles, como vegetales de gran

tamaño o colores muy definidos. Dichas características se deben al contenido de nutrientes del agua residual, como el nitrógeno, potasio y fósforo, sin embargo, también se debe recordar que un gramo de heces contiene virus, bacterias, parásitos y huevos de gusanos. Por esta razón, los alimentos regados por aguas residuales tienen un nivel de contaminación muy alta.

Para Moscoso (2016) especialista en el tratamiento de aguas residuales y su reutilización, señala la gran importancia de mantener rangos de calidad para el agua residual en el uso agrícola. Señala las directrices sobre la calidad de las aguas residuales y las normas para el aprovechamiento según un número máximo admisible de bacterias coliformes fecales. Es muy importante concentrarse con mayor detalle en los coliformes fecales, debido a que los coliformes totales no son buenos indicadores ya que no todos son fecales. Los coliformes fecales son indicadores menos satisfactorios de virus excretados y tiene uso limitado para tratar protozoarios y helmintos.

En 1971, el grupo de expertos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en aprovechamiento de efluentes reconoció que las normas californianas eran muy estrictas. Un ejemplo es el Departamento de Salud Pública del Estado de California donde sus normas permitían solo 23 o 2.2 coliformes totales por cada 100 ml según el cultivo de regado y el método de riego empleado, luego se cambiarían los parámetros a 100 coliformes por cada 100 ml.

Más adelante el OMS, el Banco Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el Centro Internacional de Investigadores para el Desarrollo (Canadá), el Centro Internacional de Referencia sobre Disposición de Desechos (Suiza), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la Agencia de Protección Ambiental

de los Estados Unidos y muchas instituciones de gobiernos y académicas juntaron esfuerzos para generar una base epidemiológica más racional para las directrices sobre el riego con aguas residuales. (Moscoso 2016)

En últimos estudios, se ha generado una mayor flexibilidad en los estándares de los coliformes fecales, tomando mayor protagonismo los huevos de helminto, debido a que constituyen mayor peligro en zonas públicas, en especial en zonas donde las helmintiasis son endémicas.

El panorama peruano muestra problemas de riego en zonas rurales e informalidad de zonas agrícolas. En muchos casos, no se llegan a determinar los parámetros exactos para el agua de riego en la agricultura que se está expuesto a cualquier tipo de daño a la salud. Otro problema es que el agua de río, muchas veces contiene minerales o metales pesados por acumulación de residuos de mineras o industrias.

Las ideas antes mencionadas sobre la reutilización de las aguas residuales, son bosquejos de ideas para buscar soluciones ante la problemática mayor. Países como Israel, tienen planes integrales a largo plazo para utilizar las aguas residuales tratadas en zonas agrícolas, lo cual han convertido su escasez de agua en un incentivo a desarrollar una de las mejores tecnologías para el mejoramiento en el riego agrícola. Uso de riego por goteo y otras técnicas son empleadas para determinar su mejoramiento en los proyectos. Las áreas verdes dentro de las zonas urbanas, determinan la calidad y educación de los pobladores con respecto a sus espacios comunes.

A continuación, en la tabla 8 se muestra el marco legal para el tratamiento de aguas residuales en el Perú.

Tabla 8 Marco legal para el tratamiento de aguas residuales, al 2015

MARCO LEGAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
Ley de Recursos Hídricos - Ley 29338 (Publicada el 31 de marzo de 2009)
Reglamento de la Ley Recursos Hídricos D.S. N° 001-2010-AG (Publicado el 24 de marzo de 2010)
D.S. N° 002-2008-MINAM. Aprueban los Estándares de Calidad de Agua (ECA) para el Agua
D.S. N° 023-2009-MINAM. Aprueba las disposiciones para la implementación de los
D.S. 003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes PTAR (Publicado el 2010)
Resolución Jefatural N°274-2010-ANA-medidas para la implementación del Programa de
Resolución Jefatural N°202-2010-ANA-Aprueban clasificación de cuerpos de aguas
Resolución Jefatural N°489-2010-ANA-Modifican el Anexo 1 de la R.J. N°202-2010-ANA, en lo
Decreto Supremo N°007-2010-AG Declaran de Interés Nacional la protección de la calidad del
Decreto Supremo N°021-2009-VIVIENDA Valores Máximos Admisibles (VMA) de las
Decreto Supremo N°003-2011-VIVIENDA, Reglamento del D.S. N°021-2009-VIVIENDA
Resolución Jefatural N°182-2011-ANA. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en
Resolución de Consejo Directivo N°025-2011-SUNASS-CD. Aprueba metodología para
Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA. Modifica el D.S. N° 003-2011-VIVIENDA, con la
Reglamento Nacional de Edificaciones (Publicado el 8 de Junio de 2006)
Norma OS 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
Decreto Supremo N°022-2009-VIVIENDA Modificación de la Norma OS. 090 (26.11.2009)
Norma IS 020 Tanques Sépticos

Fuente: elaborado en base a publicación de normas peruanas

Tabla 9 Parámetros de calidad microbiológica recomendados para la reutilización de aguas, al 2015

Categoría	Reutilización aplicada	Grupos expuestos	Nematodos Intestinales (media aritmética número huevos del de por litro)	Coliformes Fecales (media geométrica del número de coliformes por cada 100 ml)	Tratamiento de aguas residuales para llegar a la calidad microbiológica requerida
A	Riego de cultivos de productos que se consumen sin cocinar, de campos de deporte y de parques públicos	Trabajadores, consumidores y público	≤ 1	≤ 1000	Una serie de lagunas de estabilización para conseguir la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente)
B	Riego de cultivos de cereales y especies industriales, forrajes, pastos y árboles.	Trabajadores	≤ 1	Sin estándares recomendables	Retención en lagunas de estabilización durante 8-10 días o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales.
C	Riego localizado de cultivos de la categoría B cuando no haya exposición de público y trabajadores	Ninguno	No aplicable	No aplicable	Pretratamiento dependiendo del sistema de riego

Fuente: elaborado en base a (OMS 1989) y (Sunass 2008)

1.5. Formulación y planteamiento del problema

1.5.1. Formulación del Problema

Uno de los problemas medioambientales más importantes en el país es la contaminación de los cuerpos de agua por el vertido de aguas residuales

domesticas sin ningún tratamiento o con uno deficiente. El impacto y los riesgos que esto tiene en la salud pública y el medio ambiente son evidentes, por ello se debe de buscar mecanismos que ayuden a disminuir la polución. En ese sentido se formula la siguiente interrogante ¿El mejoramiento de la Planta de Tratamiento de San José permitirá el reúso del agua residual tratada para fines agrícolas?

1.5.2. Planteamiento del problema

El crecimiento de la población y su creciente demanda de agua para satisfacer las necesidades vitales y de producción ha generado un aumento exponencial de la necesidad de agua. Si bien el Perú es uno de los países más ricos en recursos hídricos del mundo, nos encontramos en una situación de escasez hídrica, según el Servicio Nacional de Meteorología del Perú, la vertiente del Pacífico, que nace en los andes y abastece de agua al 70% de la población en costa sierra y selva, captura solo el 1.8% de las precipitaciones pluviales de la zona, mientras que el 97.7 % restante es llevado al Atlántico, a través de la vertiente del Amazonas, y el 0.5 % restante al lago Titicaca.

La agricultura hace un uso ineficiente del agua, toda vez que los métodos de riego utilizados en los campos de cultivo son por inundación y que gran parte del agua destinada para el riego de cultivos se pierde debido a las deficientes condiciones de los sistemas de riego.

Resolver la problemática de la escases de agua disponible para el riego de cultivos mediante el reúso del agua residual tratada coadyuvará a reducir la escases de agua de riego en el sector San José, asimismo se reducirá la contaminación de los cuerpos de agua receptores.

Desde la puesta en funcionamiento la PTAR San José, el efluente de agua residual tratada mantiene un mismo patrón y esta es usada por la comunidad campesina de San José para el riego de sus cultivos, la calidad del efluente

genera problemas de contaminación, deteriorando la calidad (agua, suelo, paisaje, entorno) y afecta a los cuerpos de agua que tiene otros usos aguas abajo, tales como preservación de flora y fauna, agrícola, pecuario, y recreativo.

1.6. Justificación

Las plantas de tratamiento de agua residual son diseñadas para reducir la contaminación del ambiente, la correcta operación y/o mantenimiento del sistema permiten cumplir con la normatividad de vertimiento o reúso para actividades económicas.

La PTAR San José inicio su operación hace 16 años, la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Lambayeque S.A. es la encargada de su operación y mantenimiento; dependiendo de esta su correcto funcionamiento y la garantía del cumplimiento de la normativa ambiental.

La infraestructura de la PTAR San José se encuentra deteriorada, las lagunas están colmatadas de lodo, por lo que no trata adecuadamente el agua residual que ingresa, resulta necesario realizar una evaluación integral del funcionamiento para plantear un rediseño a fin de aumentar la capacidad de tratamiento y mejorar la calidad del efluente para cumplir con la normativa vigente de reúso de agua residual tratada para actividades agrícolas.

1.7. Hipótesis

El mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San José se relaciona con el reúso del agua residual tratada con fines agrícolas en Chiclayo 2015.

1.8. Objetivos

1.8.1. Objetivo General

Determinar en qué medida el mejoramiento de la Planta de Tratamiento de San José se relaciona con el reúso del agua residual tratada para fines agrícolas en Chiclayo

1.8.2. Objetivos Específicos

- Plantear el mejoramiento de la PTAR San José, para el reúso con fines agrícolas
- Evaluar la alternativa apropiada para la mejora del proceso de tratamiento de la PTAR San José, para el reúso del agua residual tratada.

CAPITULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Variables

La presente tesis estudia las relaciones entre dos variables en un momento determinado en función a la causa efecto, la variable independiente y la variable dependiente se describe a continuación, así mismo en la tabla 10 se presenta la operacionalización de las variables.

2.1.1. Variable independiente

Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales San José

2.1.2. Variable dependiente

Reúso con fines agrícolas

2.2. Operacionalización de variables

Tabla 10 Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
VI: Mejoramiento de la PTAR San José	Incorporar procedimiento, proceso o diseño para mejorar la calidad del agua residual tratada (https://www.rwlwater.com)	Diseñar el tren de tratamiento para la mejora de la calidad del agua residual tratada	Mejora tecnológica	Eficiencia de la remoción de BDO del tren de tratamiento	Porcentaje
				Eficiencia de la remoción de Coliformes del tren de tratamiento	Porcentaje
VD: Reúso con fines agrícolas	"segundo uso" o "nuevo uso" (Departamento de «español al día» Real Academia Española) Reusar es un concepto que proviene del reciclaje, un término que	Usar el agua residual tratada que cumple con la calidad requerida para el riego de cultivos	Reúso del agua residual tratada con fines agrícolas	Concentración de DBO menor igual al valor máximo para el reúso del agua residual tratada que será reutilizada para el riego.	mg/L

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
	se refiere al aprovechamiento de algo luego de un tratamiento o proceso, es destinado a un uso diferente (https://www.rwlwater.com)			Concentración de Coliformes menor igual al valor máximo para el reúso del agua residual tratada que será reutilizada para el riego.	NM/100mL

Fuente: elaboración propia

2.3. Metodología

El presente estudio pretende responder a la interrogante de si ¿el mejoramiento de la Planta de Tratamiento de San José permitirá el reúso del agua residual tratada para fines agrícolas? Es decir, se tiene como objetivo determinar en qué medida el mejoramiento de la Planta de Tratamiento de aguas residuales San José se relaciona con el reúso del agua residual tratada, para lo cual se compara la calidad del efluente actual con los límites máximos admisibles estipulados en la normatividad vigente; posteriormente se realizará un análisis de la propuesta de mejora del tren de tratamiento de la PTAR para determinar si el planteamiento o alternativa, está o no correlacionado con la mejora de la calidad del efluente para reúso con fines agrícolas y si lo está, de qué manera. En el caso de que las variables se relacionen, se evidenciará una correlación positiva, lo cual indicará que el mejoramiento de la PATR permitirá reusar el agua residual tratada para el riego de cultivos y se cumplirá con la normatividad vigente.

2.4. Tipo de estudio

2.4.1. Tipo de Investigación

El tipo de estudio para la presente investigación es correlacional, toda vez que se busca conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos o variables en una muestra o contexto en particular. De acuerdo a Hernández, Fernández, & Baptista (2014) quienes afirman que “Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular”. (p.93)

2.4.2. Tipo de Diseño de Investigación

El diseño de la investigación es no experimental transeccional de tipo correlacional causal, porque se trabaja con un solo grupo de estudio y los datos obtenidos de los reportes de parámetros físicos, químicos y biológicos del afluente y efluente de la PTAR San José, monitoreada por la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque EPSEL S.A., además de que, durante el desarrollo del estudio, las causas y los efectos ya ocurrieron en la realidad o están dados y se pueden observar. En ese sentido el tipo de diseño de la presente investigación concuerda con lo señalado por Hernández, Fernández, & Baptista (2014) “Diseños transeccionales correlacionales-causales describen relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado, ya sea en términos correlacionales, o en función de la relación causa-efecto”. (p.158).

2.4.3. Alcance de la investigación

La investigación es de alcance explicativo, porque está dirigida a describir el fenómeno investigado y determinar las causas que originan un fenómeno. Al respecto, Hernández, Fernández, & Baptista (2014) sostiene que “Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales” (p. 95)

Enfoque cuantitativo: por su característica de que se sigue un patrón predecible y estructurado, además de tener presente que las decisiones críticas sobre el método se toman antes de recolectar los datos, en esa línea enfoque que se le da al presente trabajo coincide con lo señalado por Hernández, Fernández, & Baptista (2014) que afirman “ (...) En una investigación

cuantitativa se intenta generalizar los resultados encontrados en un grupo o segmento (muestra) a una colectividad mayor (universo o población). También se busca que los estudios efectuados puedan replicarse”. (p. 6)

2.5. Diseño

El diseño la investigación es no experimental correlacional-causal y se limita a describir las relaciones entre dos variables en un momento determinado en función a la causa efecto, la estructura de la relación entre las variables se muestra a continuación:

X1: Y1. Y2, Y3: Z

Donde:

X: mejoramiento de la planta de tratamiento de agua residual

Y: mejora tecnológica

Z: reúso del agua residual tratada con fines agrícolas

2.6. Población, muestra y muestreo

2.6.1. Población

La población para de la presente investigación es la Planta de Tratamiento de Aguas residuales San José que opera la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Lambayeque S.A.

2.6.2. Muestra

La muestra a utilizar para la presente investigación, son las unidades de tratamiento de Aguas residuales San José que opera la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Lambayeque S.A.

2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la presente investigación se tomará fuentes oficiales de información, como es el caso de los reportes de monitoreo anual realizado por la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Lambayeque S.A. a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San José, datos oficiales que son remitidos por EPSEL S.A. a las entidades fiscalizadoras en materia de agua y saneamiento, la memoria anual sobre tratamiento de aguas residuales en las PTAR operadas por EPSEL S.A., tomando en cuenta la recolección de datos remitida por la EPS en respuesta al Oficio N° 386-2013-SUNASS/120, el estudio tarifario de noviembre del 2009 , la verificación efectuada en el campo por la Sunass desde el 28 hasta el 31 de enero de 2014, el reporte de monitoreo de las características del agua residual al ingreso y a la salida de la PTAR San José.

2.8. Métodos de análisis de datos

Al final de la investigación y luego de haber desarrollado toda la metodología, se determinará la eficiencia de toda la planta. Se aplicarán las siguientes técnicas de procesamiento de datos.

2.8.1. Ordenamiento y clasificación

Se aplicará para tratar la información cualitativa y cuantitativa de la planta de tratamiento de agua residual, en forma ordenada, de modo de interpretarla y sacarle el máximo provecho.

2.8.2. Registro manual

Se aplicará para digitar la información de las diferentes fuentes sobre el rediseño de la PTAR. Asimismo, servirá en la recopilación de datos de los reportes de monitoreo de la calidad del afluente y efluente de la PTAR, datos

de campo, como medidas de las unidades de tratamiento existentes, área disponible, ente otros.

2.8.3. Proceso computarizado

Para realizar los cálculos necesarios para el plantear alternativas de solución de rediseño de la PTAR San José, se procesarán las fórmulas de cálculo de diseño con la ayuda de la una hoja de cálculo, software Excel.

2.8.4. Análisis documental

Esta técnica permitirá conocer, comprender, analizar e interpretar cada una de las normas, revistas, textos, libros, artículos de Internet y otras fuentes documentales relacionadas con el diseño de la planta y normativas para el reúso del agua residual.

2.8.5. Conciliación de datos

Los datos de algunos autores serán conciliados con otras fuentes, para que sean tomados en cuenta siempre que se trate de tratamiento de agua residual por sistema lagunares que incluyan un tratamiento primario de similares características.

2.8.6. Tabulación de cuadros con cantidades y porcentajes

La información cuantitativa será ordenada en cuadros que indiquen conceptos, cantidades, porcentajes y otros detalles de utilidad para la investigación y relacionada con el mejoramiento de la PTAR de San José.

2.8.7. Comprensión de gráficos

Se utilizarán los gráficos para presentar información y para comprender la evolución de las alternativas de mejora de la PTAR San José.

2.9. Procesamiento y análisis estadístico de la información

Todas las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento, monitorean frecuentemente la calidad de los afluentes y efluentes de las PTAR que operan y mantienen, para lo cual realizan el monitoreo de parámetros físicos, químicos y biológicos como: la DBO5 total, valores de pH y la concentración de coliformes, entre otros.

EPSEL S.A. opera y mantiene cinco plantas de tratamiento, las cuales son: San José, Pampa de Perros, Pimentel, Santa Rosa y Ciudad de Eten. El efluente de la PATR San José se vierte en un canal de riego, por lo que debiera cumplir con el Estándar de Calidad Ambiental sub categoría D1: Riego de cultivos de tallo alto, aprobado con el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Asimismo, el efluente de la PTAR para ser destinado al riego de cultivos debe de cumplir con las directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura de la Organización Mundial de la Salud.

Además según la Norma Técnica OS 090 del Reglamento Nacional de Edificaciones, se señala como requisito fundamental, previo al diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, es realizar el estudio del cuerpo receptor, teniendo en cuenta las condiciones más desfavorables, es decir, se deben de establecer los niveles de servicio, el cual determinará el grado de tratamiento, en concordancia con las normas legales aplicables, y que en este caso particular debe de cumplir los requisitos de calidad para el aprovechamiento del agua residual tratada, Estándar de Calidad Ambiental, Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales.

En la Tabla 11 se muestra la comparación de la normativa aplicable que regulan los límites máximos permisibles del agua residual tratada, destinada al riego de cultivos, nacional e internacional.

En ese sentido, para recopilar los datos necesarios para realizar la comparación de los parámetros físicos, químicos y biológicos antes mencionados y de esa manera determinar si el efluente de la PATR San José cumple con la normativa vigente, se realizaron visitas de campo para realizar el diagnóstico de la infraestructura existente, determinar el estado situacional de toda la PTAR, realizar mediciones y recopilar data necesaria, la cual se muestra a modo de resumen en la Tabla 12.

Tabla 11 Comparación de la concentración de patógenos en el efluente para riego

Concentración de organismos patógenos y huevos de helmintos en el efluente del tratamiento de aguas residuales (en E. Coli/100mL)							
Tipo de riego	Opción (1)	OMS, 2006 (5)		OMS, 1989 (5)		ECA-AGUA (colif. Termotolerantes)	
		E. COLI	HUEVOS	E. COLI	HUEVOS	Riego de vegetales tallo bajo	Riego de vegetales tallo alto
Cultivo de consumo directo	A	$\leq 10^3$	≤ 1	$\leq 10^3$	≤ 1	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$
	B	$\leq 10^4$	≤ 1	$\leq 10^3$	≤ 1	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$
	C	$\leq 10^5$	≤ 1	$\leq 10^3$	≤ 1	-	$\leq 2 \times 10^3$
	D	$\leq 10^3$	≤ 1	$\leq 10^3$	≤ 1	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$

Concentración de organismos patógenos y huevos de helmintos en el efluente del tratamiento de aguas residuales (en E. Coli/100mL)							
Tipo de riego	Opción (1)	OMS, 2006 (5)		OMS, 1989 (5)		ECA-AGUA (colif. Termotolerantes)	
		E. COLI	HUEVOS	E. COLI	HUEVOS	Riego de vegetales tallo bajo	Riego de vegetales tallo alto
		Depende de la norma nacional	Sin recomendación	$\leq 10^3$	≤ 1	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$
	F	$\leq 10^4$	≤ 1	Sin recomendación	≤ 1	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$
Otros cultivos	G	$\leq 10^5$	≤ 1	Sin recomendación	≤ 1	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$
	H	$\leq 10^6$	Sin recomendación	Sin recomendación	No aplica	$\leq 10^3$	$\leq 2 \times 10^3$

Fuente: Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales Sunass

Tabla 12 Características generales de la infraestructura de la PTAR San José

Características	PTAR San José
Caudal de diseño	800 l/s
Caudal actual	550 l/s
Tipo de Pre Tratamiento	02 cámaras de rejillas automáticas (no operativa)
Medidor de caudal de ingreso	Canaleta Parshall

Características	PTAR San José
Tratamiento Primario	- 05 lagunas primarias anaerobias
Tratamiento Secundario	- 05 lagunas facultativas secundarias.
Tratamiento Terciario	No se realiza
Disposición final de lodos	No se realiza
Disposición final de residuos solidos	No se realiza
Antigüedad de infraestructura	20 años
Disponibilidad de área	125 has.
Estado de emisores	Renovación parcial
Punto de vertimiento	Canal de regadío
Estado de colectores primarios	Malo
Estado de colectores secundarios	Malo
Nombre de Comunidades que utilizan el agua tratada	Comunidad Campesina San José

Fuente: Datos recopilado en la visita de campo a la PTAR Operada rada por EPSEL S.A. (2014)

Para determinar el grado de tratamiento, se realiza la caracterización del agua residual que ingresa a la Planta de Tratamiento de San José, los parámetros necesarios para la caracterización del agua residual se obtienen mediante la recopilación de los reportes de monitoreo del agua residual al ingreso de la PTAR San José, información oficial, de EPSEL S.A., para obtención de datos medio ambientales de la zona de estudio, se recopiló los reportes de Intensidad de luz solar, Viento, Nubosidad, Precipitación Pluvial, y Temperatura, del SENAMHI Lambayeque, registrado durante el 2015.

De esta manera, con la información procesada, se establece un pronóstico de los parámetros físicos, químicos, biológicos, necesarios para el diseño de una planta de tratamiento de agua residual.

Luego de determinado el grado de tratamiento mínimo requerido, que debe de cumplir el agua residual a la salida de la PTAR para ser apta para el riego de cultivos, se procede a la selección de los procesos de tratamiento para el agua residual y los lodos, con especial interés en aprovechamiento de la infraestructura existente, y el área disponible, así mismo se toma en cuenta lo estipulado en la Norma Técnica OS 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobado con el Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, el 08 de junio de 2006, el cual señala que para el diseño de infraestructura de tratamiento de agua residuales lo siguiente: “(...) Se seleccionarán procesos que puedan ser construidos y mantenidos sin mayor dificultad, reduciendo al mínimo la mecanización y automatización de las unidades y evitando al máximo la importación de partes y equipos”.

Tabla 13 Calidad promedio del afluente y efluente de la PTAR en el 2013 medida por el laboratorio de EPSEL S.A.

pH		DBO		Coliformes Termotolerantes	
A	E	A	E	A	E
		Mg/L		NMP/100mL	
7.4	8.1	225	73	3,1 x 10 ⁷	1,8 x 10 ⁵

Fuente: Diagnostico de PTAR Sunass (2014)

2.9.1. Composición de las aguas residuales

La composición de agua residual al ingreso de la planta de tratamiento se muestra en la siguiente Tabla 14, en promedio la DBO5 es al igual 318.95 mg/L y una concentración de promedio de $3.87 \text{ E}+7$ NMP/100ml de coliformes. La composición del agua residual a la salida de la planta de tratamiento se muestra en la Tabla 15, el efluente de la PTAR en promedio tiene una concentración de DBO5 138.46 mg/L y $9.74 \text{ E}+5$ NMP/100 ml de coliformes. En el proceso de tratamiento se remueve en promedio 131 mg/L de DBO5, que representa una remoción del 57% y una reducción de coliformes en el orden de $3.77 \text{ E}+7$ NMP/100ml.

Tabla 14 Parámetros de agua residual al ingreso de la PTAR

MES	Demanda		Cloruros	Potencial	Temperatura
	Bioquímica	Coliformes		de	
	de Oxígeno	Termotolerantes		Hidrógeno	
(DBO5)	(NMP/100mL)	(mg/L)	(pH)	(°C)	
	(mg/L)	(NMP/100mL)	(mg/L)	(Unidad de pH)	(°C)
Enero	298.65	$3.56\text{E}+07$	142.8	7.23	26
Febrero	310.05	$3.78\text{E}+07$	123.5	7.56	24.5
Marzo	303.65	$4.34\text{E}+07$	108.3	7.45	23.5
Abril	300.67	$5.45\text{E}+07$	143.5	7.35	25
Mayo	298.45	$4.43\text{E}+07$	125.6	7.8	21.3
Junio	298.38	$2.42\text{E}+07$	123.9	7.3	19.5

MES	Demanda		Cloruros	Potencial	
	Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Coliformes Termotolerantes		de Hidrógeno (pH)	Temperatura
	(mg/L)	(NMP/100mL)		(Unidad de pH)	(°C)
Julio	356.65	3.67E+07	154.5	7.5	21.3
Agosto	343.34	3.98E+07	176.3	7.45	21
Setiembre	323.45	4.67E+07	134.6	7.43	20.3
Octubre	313.65	3.31E+07	145.6	7.67	19
Noviembre	345.67	2.28E+07	104.5	7.45	20.5
Diciembre	334.76	4.49E+07	132.8	7.25	21.6

Fuente: EPSEL S.A.

Tabla 15 Parámetros del efluente de la PTAR San José

MES	Demanda		Cloruros	Potencial	
	Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Coliformes Termotolerantes		de Hidrógeno (pH)	Temperatura
	(mg/L)	(NMP/100mL)		(Unidad de pH)	(°C)
Enero	119.46	1.07E+06	132.45	6.5	26.5
Febrero	142.623	7.56E+05	142.4	7.2	27.4
Marzo	136.6425	4.34E+05	104.6	7	24.5

MES	Demanda	Coliformes	Cloruros	Potencial	Temperatura
	Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Termotolerantes		de Hidrógeno (pH)	
	(mg/L)	(NMP/100mL)	(mg/L)	(Unidad de pH)	(°C)
Abril	135.3015	1.09E+06	178	7.6	26.3
Mayo	125.349	1.77E+06	154	7.9	19
Junio	173.0604	1.21E+06	109.67	7.2	18.8
Julio	131.9605	7.34E+05	105.56	7.5	19.5
Agosto	120.169	1.59E+06	145.56	7.8	21.5
Setiembre	161.725	4.67E+05	109.56	7.4	20.7
Octubre	119.187	9.93E+05	104.87	7.5	19.8
Noviembre	155.5515	2.28E+05	143	7.6	21.6
Diciembre	140.5992	1.35E+06	104	7.3	23.8

Fuente: EPSEL S.A.

2.9.2. Origen de las aguas residuales y ubicación de los sitios de muestreo

La PTAR San José trata parte de los desagües conducidos por el Emisor Norte y Emisor Norte-Norte y la totalidad del caudal del Emisor Sur, ver Figuran N° 1, esta PTAR recibe en promedio un caudal de 550 l/s. Las coordenadas UTM del Afluyente son Norte 9250632, Este 618027, altitud 12.34 m.s.n.m. Las coordenadas UTM del efluente son Norte 9251261, Este

617684, altitud 11 m.s.n.m., en estas coordenadas se realiza el muestreo por parte de EPSEL S.A.

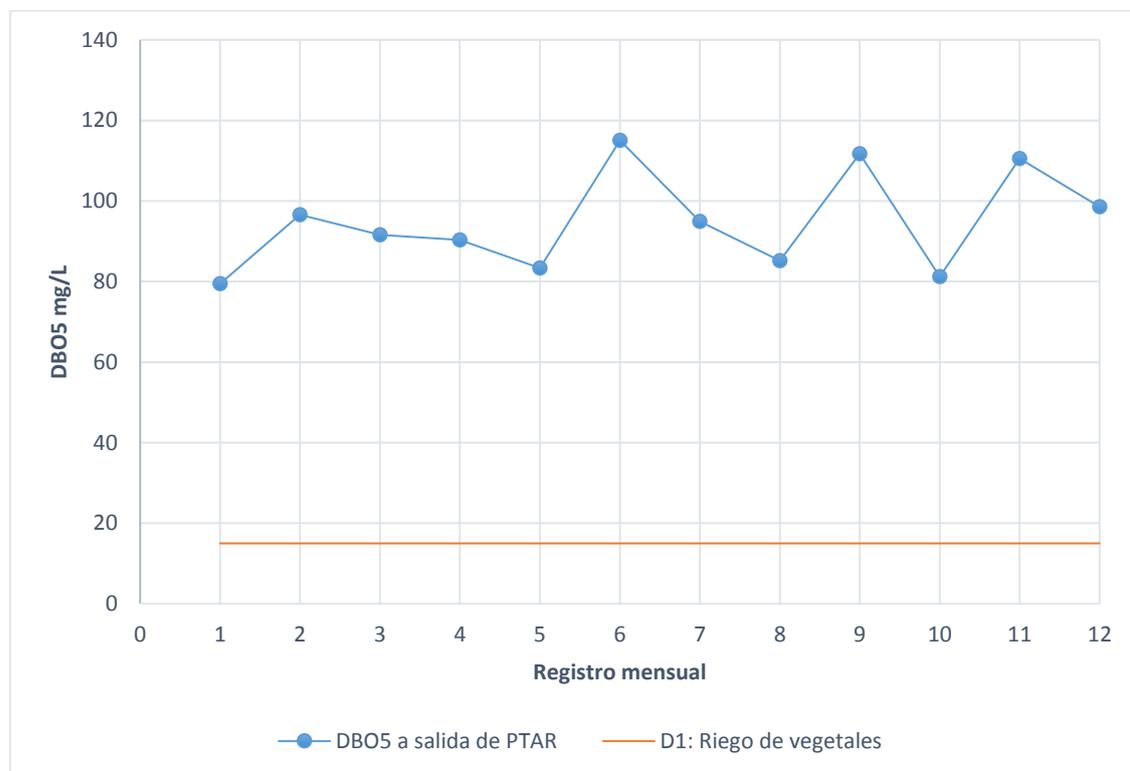
El caudal de agua residual tratada es destinado al riego de cultivos, específicamente en el sector Gallito que pertenece a la comunidad campesina de San José, la entidad prestadora de servicios de saneamiento no registra la cantidad de agua residual a la salida de la PTAR, por lo que no se tiene data de la cantidad de agua usada en el riego y de la cantidad de agua que es deriva al mar. Teniendo en cuenta los parámetros registrados a la salida de la PTAR, y que la configuración del tren de tratamiento no es eficiente en la remoción de BDO5 y coliformes, las condiciones para reúso del agua residual en riego de cultivos establecido en el ECA- Categoría 3, Subcategoría D1: Riego de vegetales, no se cumplen. En ese sentido, resulta necesario realizar un rediseño a la configuración del tren de tratamiento y la evaluación de las unidades de tratamiento instaladas.

2.9.3. Calidad del agua

Respecto a los valores reportados del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), se observa que los valores de este parámetro superan ampliamente el Estándar de Calidad Ambiental, Categoría 3 Riego de vegetales y bebida de animales, Subcategoría D1 Riego de vegetales, establecido en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. En la Figura 1 se observa el amplio margen que existe entre el valor máximo admitido en la norma y lo reportado por EPSEL S.A.

Los reportes de la DBO5, evidencian que la PTAR está trabajando con sobrecarga hidráulica y de materia orgánica.

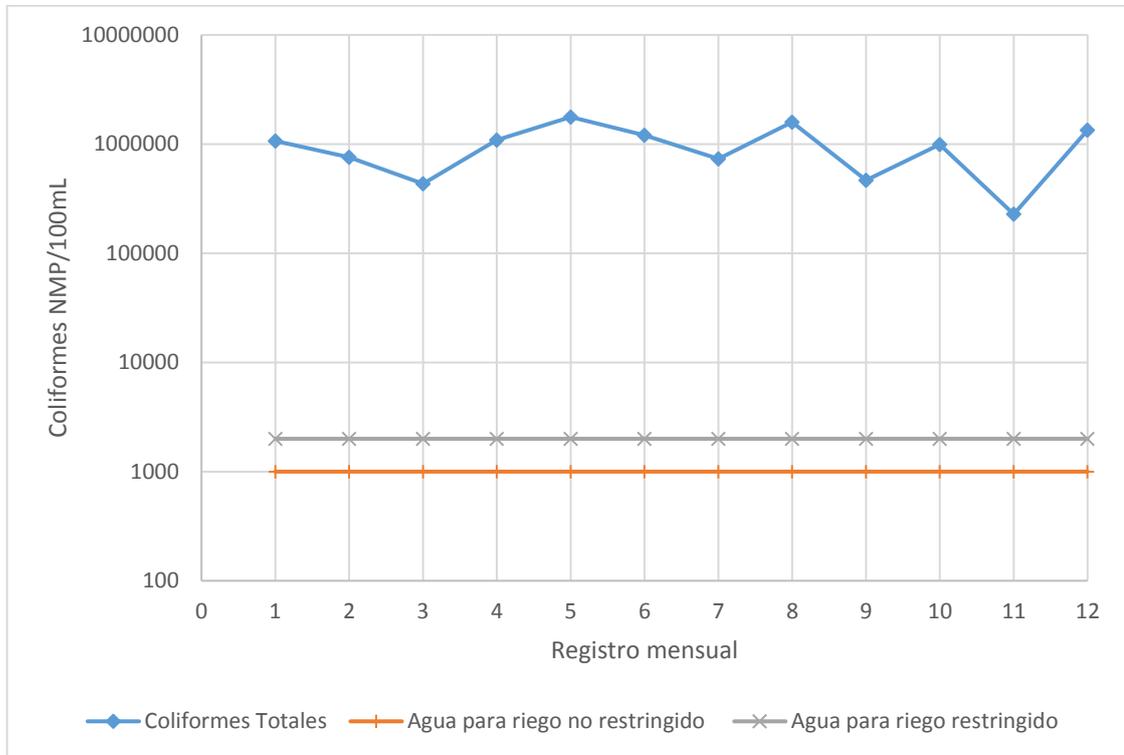
Gráfico 2 Valores de DBO5 a la salida de la PTAR vs parámetro establecido en el ECA-3, D1



Fuente: elaboración propia

Los valores reportados del Coliformes Termotolerantes, se observa que los valores de este parámetro superan ampliamente el Estándar de Calidad Ambiental, Categoría 3 Riego de vegetales y bebida de animales, Subcategoría D1 Riego de vegetales, que según lo establecido en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM el valor máximo para el agua para riego no restringido es 1 000 NMP/100 ml de Coliformes Termotolerantes y para el agua para riego restringido es 2 000 NMP/100 ml de Coliformes Termotolerantes. En la Gráfico 3 se observa el amplio margen que existe entre el valor máximo admitido en la norma y lo reportado por EPSEL S.A.

Gráfico 3 Valores de coliformes registrados a la salida de la PTAR vs Parámetro establecido en el ECA-3, D1



Fuente: elaboración propia

2.9.4. Segunda etapa: propuesta de diseño conceptual

Se propone continuar con el sistema de tratamiento por lagunaje, debido a que se puede aprovechar la infraestructura existente, y se cuenta con área aproximada de 125 hectáreas para realizar la ampliación y la mejora de la PTAR, en la Tabla 16 se muestra el resumen del diseño conceptual del tren de tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 16 Propuesta de diseño conceptual de la PTAR

Tipo de tratamiento	Actual	Diseño conceptual
Preliminar	Cámara de rejas manual	Cámara de rejas automatizadas, desarenador y desengrasador
Primario	Laguna Primaria	Decantador circular mecánico
Secundario	Lagunas Facultativas	Lagunas Aireadas + Lagunas Facultativas
Terciario	No se realiza	Laguas de Maduración
Tratamiento de lodos	No se realiza	Decantación centrífuga + Lecho de secado

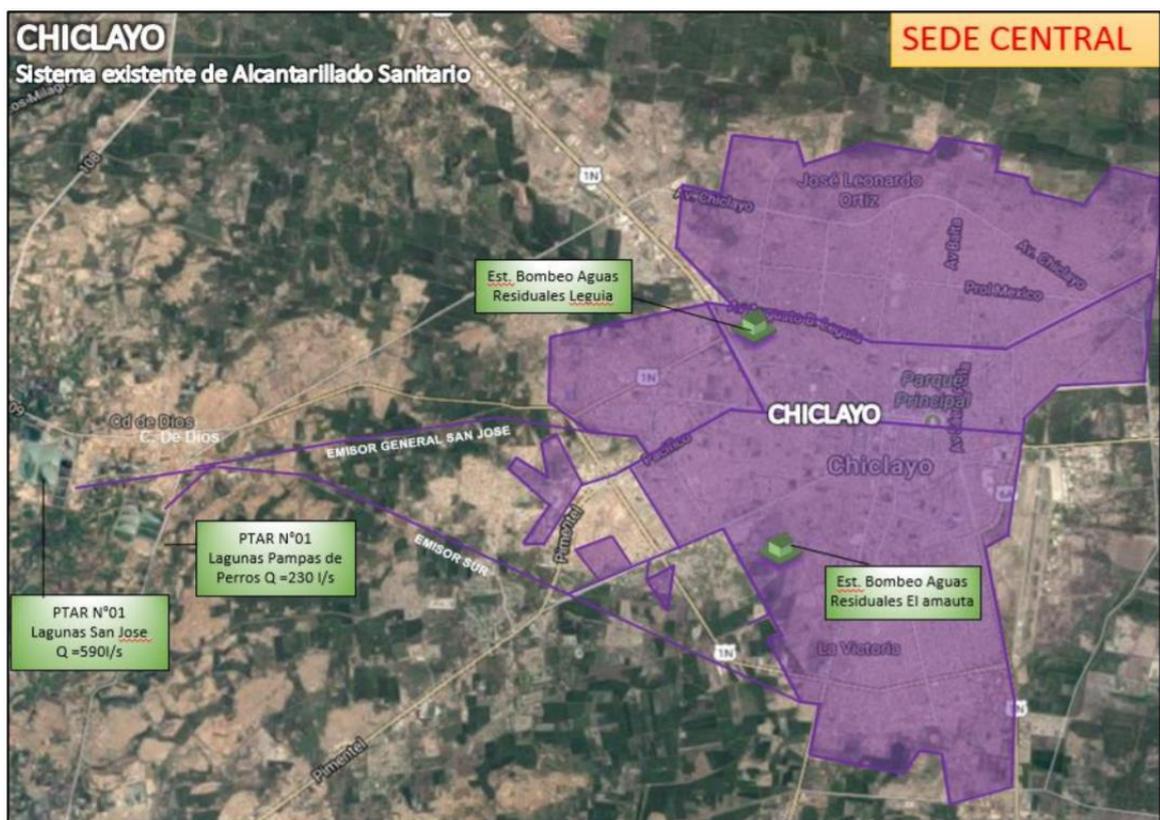
Fuente: Elaboración propia

2.9.5. Parámetros de rediseño

En cuanto al caudal de agua residual generado en la ciudad de Chiclayo, es necesario indicar que para esta ciudad existen dos plantas de tratamiento de aguas residuales que a la fecha tratan el 100 % del agua residual generada en la ciudad, que representa un caudal de 770 l/s, la PTAR Pampa de Perros trata un caudal de 220 l/s trata parte de los desagües que son drenados por el Emisor Norte y Emisor Norte-Norte de la ciudad de Chiclayo, el sistema “Pampa de los Perros” consta de las siguientes estructuras: una cámara de rejas fija, un aforador de tipo Parshall, un canal de ingreso y distribución de las aguas residuales, cuatro lagunas primarias facultativas, dos lagunas facultativas secundarias y dos lagunas de maduración. La PTAR San José trata un caudal de 550 l/s. parte de los desagües drenados por el Emisor Norte y Emisor Norte-Norte y la totalidad del caudal del Emisor Sur. El sistema de tratamiento “San José” está conformado por: pretratamiento de cámara de rejas, sistema de medición de caudales Parshall, además de cinco lagunas

primarias anaeróbicas y cinco lagunas secundarias facultativas. En la Figura 1 se muestra el esquema del sistema de colectores de las aguas residuales de la ciudad que derivan las aguas residuales a la PTAR San José y a la PTAR Pampa de Perros, estas dos plantas tratan el agua residual de la ciudad. En la Tabla 17 se muestra el resumen de las unidades y la capacidad de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad Chiclayo.

Figura 1 Sectorización de los colectores de la ciudad de Chiclayo y su derivación a las PTAR San José y Pampa de Perros (Fuente: EPSEL S.A.)



Fuente: EPSEL S.A.

Tabla 17 Unidades y capacidad de tratamiento de las aguas

Nombre	Unidades de Lagunas (Und.)			Tratamiento de Aguas Residuales (l/s)	% de tratamiento de las Aguas Residuales
	Primarias	Secundarias	Terciarias		
PTAR San José	5	5	...	550	71%
PTAR Pamapa de Perros	4	2	2	220	29%
Total	9	7	2	770	100%

Fuente: Elaborado en base al PMO de EPSEL S.A.

Para la proyección de la capacidad de tratamiento a ser instalada, se estima como año base o el año en el que se inician las operaciones el 2017, y una proyección al año 2042, en que se estima se alcanzará la proyección máxima de tratamiento de agua residual en la PTAR San José con la propuesta de tecnología de tratamiento por lagunaje. En la Tabla 18 se muestra el resumen la estimación de la población y la información de diseño necesaria para la proyección de la infraestructura, en base a los datos obtenidos de EPSEL S.A., considerando la población realmente conectada al servicio de alcantarillado, y a la proyección del aumento de la cobertura de este servicio de las metas de gestión del Plan Maestro Optimizado.

Tabla 18 Resumen de la información de diseño

		Aguas residuales de Chiclayo	
Und		2017	2042
Población estimada	Hab.	449740	672556
% de cobertura		74%	100%
Dotación por habitante	L hab/día	200	200
Caudal de agua residual (l/s) Qmd	l/s	983	1619
DBO 5	mg/L	350	400 (*)
Carga de DBO5	Tn DBO5 /día	29.7	56

(*) Se estima el aumento de la carga en base a la proyección del aumento de la cobertura de alcantarillado y a los reportes del aumento de DBO las otras zonas de la costa de Perú.

Fuente: Elaborado en base al PMO EPSEL 2015-2020

Considerando que la PTAR San José trata el 71 % de las aguas residuales de la ciudad de Chiclayo, se estima que los caudales serán 679 l/s para el inicio de la operación y de 1149 l/s para el final del periodo de diseño.

2.9.6. Consideraciones de diseño

Como ya se ha descrito anteriormente, la propuesta del rediseño de la PTAR San José, debe reducir la contaminación del agua residual, para ser destinada al reúso en el riego de cultivos, considerando las condiciones actuales, la tecnología de tratamiento existente, la disponibilidad de terreno, sin dejar de lado el tratamiento de los lodos generados. Resulta necesario indicar que el cumplimiento de los Valores Máximos Admisibles de descarga

de aguas residuales de la industria debe ser fiscalizado por la EPS, para no afectar el sistema de tratamiento de aguas residuales, en cumplimiento de la normativa vigente. La Tabla 19 muestra en resumen los niveles a ser alcanzados en el efluente de la PTAR San José, a fin de cumplir con la normativa ambiental vigente.

Tabla 19 Nivel de tratamiento propuesto para el rediseño de la PTAR San José

Parámetro	Unidad	Afluente			Efluente	
		Diseño	VMA	Vertimiento al canal	LMP	ECA 3
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	400	500	15	100	15
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	6.00E+07	NE	1.00E+03	1.00E+04	1.00E+03
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7.4	NE	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Aceites y Grasas	mg/L	NE	≤ 50	5	20	5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	600	500	---	150	---
Temperatura	°C	22	NE	35	35	Δ 3

Fuente: Elaborado en base al PMO EPSEL 2015-2020

Tabla 20 Matriz de la tecnología de tratamiento

CRITERIO	SITUACIÓN ACTUAL	ALTERNATIVA
Composición del agua residual		
El agua residual que ingresa a la PTAR es de origen doméstico, y en menor medida de origen industrial. No se he registrado residuos peligrosos o tóxicos	El agua residual tiene origen doméstico, las descargas industriales, son fiscalizadas por la EPS, (VMA)	El agua residual tiene origen doméstico, las descargas industriales, son fiscalizadas por la EPS, (VMA)

CRITERIO	SITUACIÓN ACTUAL	ALTERNATIVA
Uso y disposición final del agua tratada		
El efluente de la PTAR es vertido al canal de regadío del sector Gallitos de la comunidad campesina de San José, las aguas residuales son usadas en el riego de cultivos de arroz, pasto de animales, frutales, entre otros	No cuenta con autorización de reúso del agua residual otorgado por la ANA, no cumple con el ECA 3	Con la propuesta de tratamiento se logrará cumplir con los LMP y ECA 3 para el reúso del agua residual tratada en el riego de cultivos.
Tecnologías de tratamiento		
La tecnología de tratamiento usada en la PTAR San José es la de lagunaje, esta tecnología de tratamiento tiene una probada eficiencia en la remoción de los contaminantes	El tratamiento es deficiente, porque las lagunas están colmatadas de lodos, lo que origina que trabajen sobrecargadas de carga orgánica y carga hidráulica	Se proyecta en función al caudal de 1149 L/S (Qmd), se propone un tratamiento preliminar con rejas automatizadas, desarenador, desengrasador y decantador Primario, el tratamiento secundario será a través de lagunas aireadas, y lagunas facultativas, el tratamiento terciario, mediante lagunas de maduración, para finalizar con la desinfección con cloro
Inversión en la construcción, operación y mantenimiento		
Inversión en el mejoramiento de la PTAR	Desde el inicio de las operaciones la PTAR San José no se han realizado inversiones la mejora.	El nivel de las inversiones será mínimo, ya que se proyecta utilizar la infraestructura existente.
Inversión en la operación y mantenimiento	Desde el inicio de las operaciones la PTAR San José no se han realizado inversiones en el mantenimiento preventivo, se han realizado inversiones en mantenimiento de correctivo, pero están se limitan al deshierbe la los taludes	Los costos de la Operación y Mantenimiento serán los necesarios para el mantenimiento preventivo y correctivo

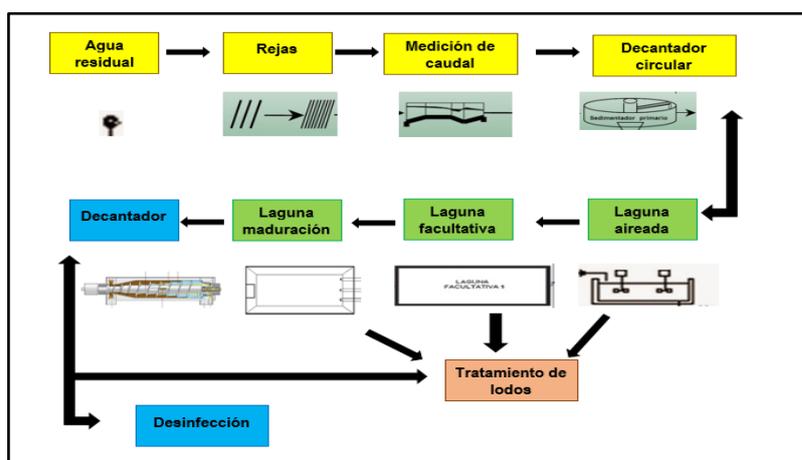
CRITERIO	SITUACIÓN ACTUAL	ALTERNATIVA
Remoción de sólidos suspendidos, sedimentables y flotantes	No se realiza, la PTAR cuenta con una cámara de rejillas que al inicio de las operaciones era automatizada, pero debido al vandalismo, estas han quedado sin equipamiento, pasando a ser rejillas manuales. Todos los sólidos que no son separados en la cámara de rejillas pasan directamente a las lagunas.	Se proyecta la remoción de los sólidos suspendidos, sedimentables y flotantes con la instalación de rejillas automatizadas, un desarenador, un desengrasador.
Remoción de materia orgánica biodegradable	Se realiza en las lagunas facultativas, las cuales se encuentran colmatadas por lodos, aproximadamente el 60 % de la laguna.	La remoción de la BDO se realiza en la laguna aireada
Remoción de nutrientes	La PTAR San José no cuenta con un proceso de remoción de nutrientes	No se proyecta un proceso específico para la remoción de nutrientes (N, P, K), pero parte de la remoción de estos se realizará en la concentración del lodo y su posterior tratamiento para el reaprovechamiento en la agricultura.
Remoción de patógenos	No se realiza	Se proyecta un proceso de cloración como proceso de desinfección
Tratamiento de lodos	No se realiza	Los lodos existentes y los generados en el tren de tratamiento. Se propone un sistema de centrifugación para luego ser dispuestos en un lecho de secado. El lodo será tratado para cumplir con el DS N° 015-2017-VIVIENDA, biosólido de tipo A
Área disponible	Se cuenta con área disponible para la ampliación de la PTAR	Se cuenta con área disponible para la ampliación de la PTAR; adjuntado en el plano de ubicación.
Requerimiento de personal	La PTAR cuenta con operador a tiempo parcial.	Se requerirá de 6 operadores especializados, para la operación y mantenimiento de

CRITERIO	SITUACIÓN ACTUAL	ALTERNATIVA
		la PTAR, además de un técnico electromecánico a tiempo parcial.
Detalles de la tecnología planteada		
Aplicabilidad del proceso	Las condiciones climáticas favorecen a la tecnología de lagunaje	El proceso es aplicable y funcional, al ser una propuesta de mejora con equipamiento a las condiciones actuales
Generación de residuos	Los residuos son los lodos que se encuentran en las lagunas existentes	Los lodos de la decantación centrífuga y del lecho de secado
Aceptación por parte de la comunidad	La comunidad campesina de San José, ha firmado un convenio con EPSEL, mediante el cual se garantiza que el efluente de la PTAR será usado íntegramente para la agricultura.	Se cumplirá el convenio con la comunidad campesina, y la normativa ambiental aplicable.
Requerimientos de área	El sistema de tratamiento actual no ocupa toda el área disponible	Se cuenta con área disponible para la ampliación de la PTAR
Tecnología probada (construcción y equipamiento)	La tecnología actual ha sido probada en otras zonas de la costa del Perú, demostrando eficiencia en el proceso de tratamiento, sin embargo, al no realizar el mantenimiento, la PTAR San José trata deficientemente el agua residual.	Se propone la mejora con la incorporación de aireadores, y lagunas de maduración.
Operación de la PTAR	La operación es la más sencilla de todas las tecnologías de tratamiento de aguas residuales.	La operación requiere de operarios calificados, en cuanto a repuestos de los equipos, estos con comerciables en el Perú.
Entorno e impacto al medio ambiente	La generación de malos olores y de gases de efecto invernadero.	El impacto será una producción casi nula de malos olores, al ser un sistema aerobio
Proceso de tratamiento de la PTAR		

CRITERIO	SITUACIÓN ACTUAL	ALTERNATIVA
Tratamiento preliminar		
Eliminación de componentes que puedan provocar problemas en la operación y mantenimiento o en los equipos instalados	Las rejas automatizadas están inoperativas, y se ha convertido en rejas de operación manual	Se proyecta un sistema de rejas automatizado, e incluye desarenador
La remoción de una parte de los sólidos y materia orgánica suspendida es removida del agua residual utilizando la fuerza de la gravedad como principio	5 lagunas primarias anaerobia	Se proyecta 2 decantadores con dosificación de productos químicos
Tratamiento Secundario		
Remoción de la materia orgánica biodegradable por medios biológicos, principalmente soluble.	4 lagunas facultativas rectangulares 1 laguna facultativa trapezoidal	5 lagunas aireadas 4 lagunas facultativas
Tratamiento terciario o avanzado		
Proceso de tratamiento que se realiza con el fin de eliminar compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica remanente no biodegradable	No cuenta con este nivel de tratamiento	4 laguna de maduración Dosificación de cloro
Tratamiento y disposición final del lodo		
La generación de lodo en el proceso de tratamiento es un factor que se debe de tener en cuenta al momento de la elección de la tecnología de tratamiento del agua residual	No se realiza, las lagunas actualmente se encuentran colmatadas	Los lodos que se generen en el tratamiento preliminar y en el tratamiento primario, secundario pasaran a un lecho de secado.

Fuente: elaboración propia, adaptación de "selección de tecnología de tratamiento de aguas residuales municipales, guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas, elaboración propia (Noyola, Morgan y Güereca 2013)

Figura 2 Tren de procesos de la planta de tratamiento San José



Fuente: elaboración propia

2.10. Ámbito de estudio

2.10.1. Ubicación

La Planta de Tratamiento San José se ubica departamento de Lambayeque, Provincia de Lambayeque, Distrito de San José, a 500 metros del Centro Poblado de Ciudad de Dios, en el Kilómetro 6 de la red vial departamental LA-109 carretera Chiclayo –San José, limita por:

Norte: Limita con el Distrito de Lambayeque.

Sur: Limita con el Distrito de Pimentel.

Este: Limita con los Distritos de José Leonardo Ortiz y Chiclayo.

Oeste: Limita con el Océano Pacífico.

Ubicación De Política:

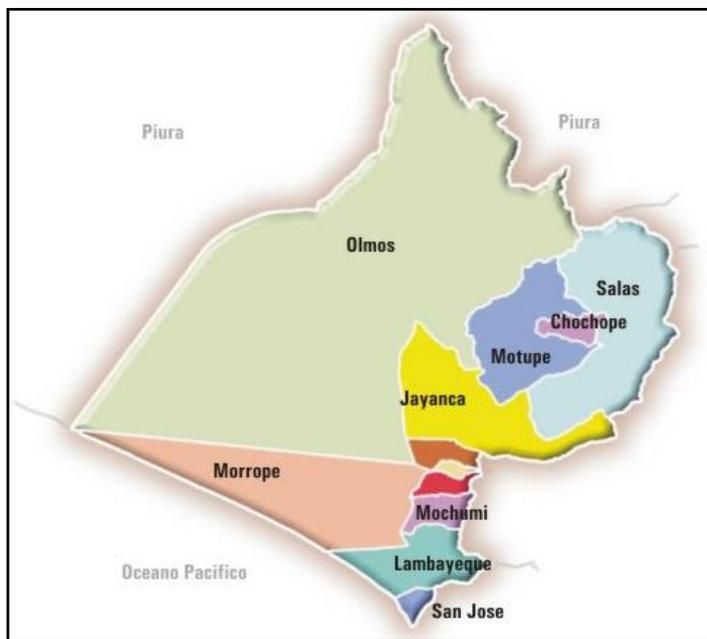
- País : Perú.
- Departamento : Lambayeque.
- Provincia : Lambayeque.
- Distrito : San José.
- Centro Poblado : Ciudad de Dios.

Figura 3 Mapa del Perú



Fuente: tomado de INEI

Figura 4 Mapa de Lambayeque



Fuente: tomado de INEI

Figura 5 Mapa del Distrito de San José



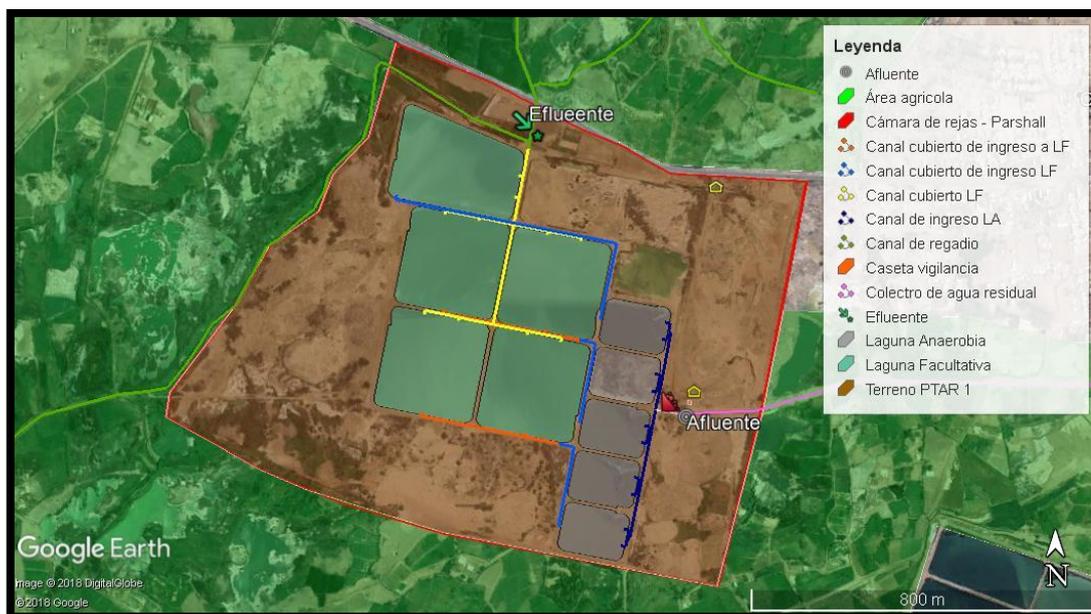
Fuente: tomado de INEI

Figura 6 Mapa de la Ubicación de la PTAR San José en la Ciudad de Dios



Fuente: elaboración propia, tomado de Google earth

Figura 7 Mapa general de la PTAR San José



Fuente: elaboración propia, tomado de Google earth

Para describir la zona en la que se encuentra ubicada la PTAR San José, se señala lo siguiente: El Distrito de San José, pertenece a la Provincia de Lambayeque, con una Población estimada al 2000 de 8 390 habitantes.

San José actualmente se encuentra en la categoría de Caleta o Puerto menor, ya que a partir de diciembre de 1983 las importaciones y exportaciones fueron cerradas por este puerto. La principal actividad de la población es la pesca, cuyo producto por lo general se expende en la ciudad de Chiclayo. La población realiza las actividades de: Pesca 80%, Construcciones Navales para la pesca artesanal 9%, agricultura 10% y otros 1%. El Área Urbana total es de 42.25 Ha.

En condiciones normales, las escasas precipitaciones condicionan el carácter semidesértico y desértico de la angosta franja costera, por ello el clima de la zona se puede clasificar como Desértico Subtropical Árido,

influenciado directamente por la corriente fría marina de Humbolt, que actúa como elemento regulador de los fenómenos meteorológicos.

La temperatura en verano fluctúa Según datos de la Estación Climatológica Reque entre 25.59°C (Dic) y 28.27°C (Feb), siendo la temperatura máxima anual de 28.27°C. además, la temperatura mínima anual de 15.37°C, en el mes de Setiembre, y con una temperatura media anual de 21°C que se corrobora con la información de la Estación Climatológica Pimentel que arroja una temperatura promedio anual de 20.2°C.

Los vientos y brisas persisten casi todo el año, se tiene vientos con velocidad mínima de 3.54 m/seg y máxima de 9.72 m/seg. En meses de invierno los vientos presentan velocidades que llegan a 14 m/seg, con dirección Nor-Este, originando el transporte de arena fina, promoviendo la formación de dunas o médanos. La Humedad relativa varía de 72% a 95%.

2.10.2. Temperatura

Durante el año 2015, la estación meteorológica Lambayeque registro una temperatura máxima de 23.7 °C, en promedio la temperatura máxima para todo el año fue de 21.48 °C, la temperatura mínima fue de 16.2 °C, en promedio todo el año la temperatura mínima fue de 19.68 °C. La estación meteorológica Reque registró una temperatura máxima de 31.5 °C, en promedio la temperatura máxima para todo el año fue de 23.59 °C, la temperatura mínima fue de 13 °C, en promedio la temperatura mínima fue de 17.06 °C.

CAPITULO III

RESULTADOS

3.1. Tratamiento preliminar propuesto

Para el pretratamiento se propone un sistema hidráulico de rejillas finas automatizadas, para ello se implementará una cámara de rejillas finas automatizado de acuerdo al catálogo Tamiz STEP SCREEN® Flexible SSF España S.L.

Principio de funcionamiento:

- Eleva el residuo desde el fondo del canal debido al diseño especial del escalón inferior del tamiz.
- El residuo se transporta suavemente sin problemas debido a la acción del agua a contracorriente.

Plantas nuevas y/o instalaciones existentes:

- Ajuste óptimo a las condiciones hidráulicas particulares (grandes alturas de descarga, canales profundos y estrechos) debido al ángulo de instalación variable.

Capacidad de tratamiento:

- Diseñado para caudales elevados, el tamizado en un único sentido impide que el residuo retenido vuelva al agua residual.

Separación eficiente:

- Eficiencia elevada en la separación de residuo gracias a la luz de paso pequeña (3 - 6 mm) y a la formación de un manto de residuos sobre los escalones.

Limpieza:

- Autolimpieza de las láminas del tamiz debido al propio movimiento de las lamelas, sin necesidad de agua ni cepillos.

Funcionamiento estable:

- Susceptibilidad reducida a las arenas, gravas y piedras debido al lavado del escalón de fondo.

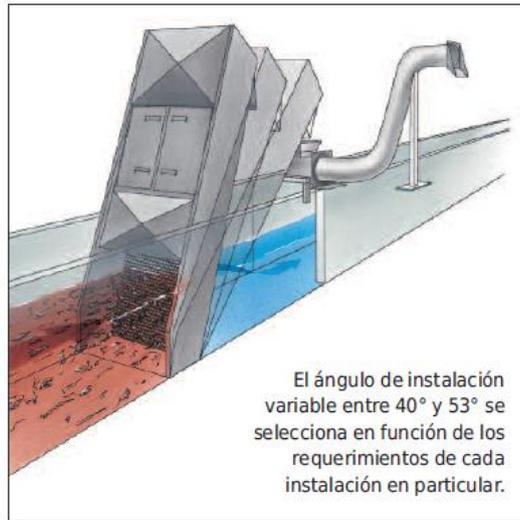
Protección contra la corrosión:

- Fabricado en acero inoxidable decapado en baño ácido y pasivado.

Construcción pivotante:

- Posibilidad de fabricar el equipo con soportes pivotantes para no tener que sacar el equipo del canal o retirar tornillos transportadores y/o prensas de residuo. (HUBER Technology España 2016)

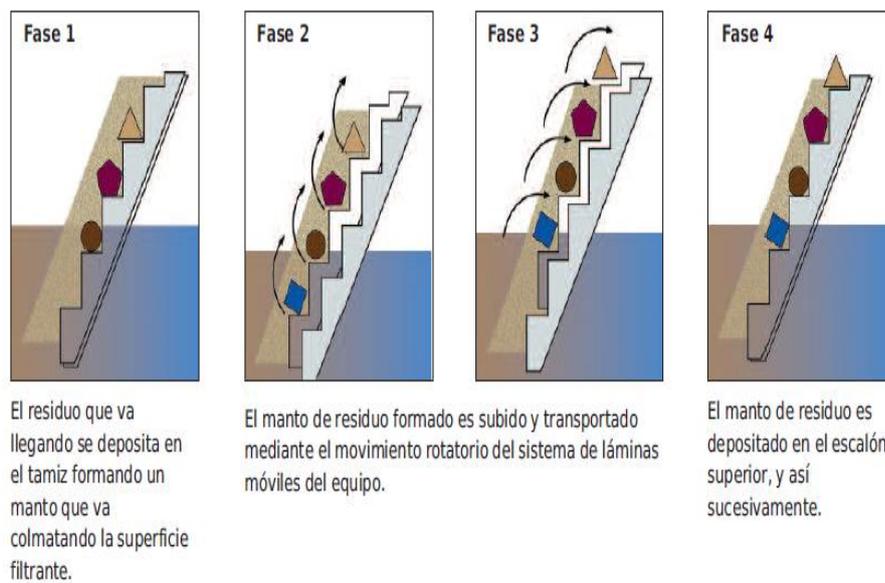
Figura 8 cámara de rejas finas - Tamiz Step Screen



Fuente: catálogo Tamiz STEP SCREEN® Flexible SSF España S.L

- Alta eficiencia de separación
- Para cualquier caudal de tratamiento
- Transporte sencillo y fiable del residuo desde el fondo del canal

Figura 9 Principio de funcionamiento



Fuente: catálogo Tamiz STEP SCREEN® Flexible SSF España S.L

3.2. Tratamiento primario propuesto

Para el tratamiento primario del agua residual que ingresa a la PTAR San José se realizará mediante un decantador circular, los cálculos de este sistema de tratamiento se desarrollan a continuación:

Tabla 21 Datos para el diseño del decantador circular

Q diseño (m3/h)	1149 (l/S)	4136.4
N° líneas tratamiento	2	2
V ascensional (m3/m2.h)	1,0 - 1,5	1.5
Rdo DBO (%)	20-40%	20
t residencia(min)	15-20	20
Rdo SS(%)	50-70	70
(lodo) decantado (min)	15-20	15
DBO5 entrada		400

Fuente: elaboración propia

Superficie

$$S = \frac{\left(\frac{Qd}{n \text{ Líneas}}\right)}{V \text{ ascen}}$$

$$S = 1378.8 \quad m^2$$

Diámetro

$$D = \left(S \frac{4}{\pi}\right)^{0.5}$$

$$D = 41.90 \quad m$$

Volumen

$$V = \frac{Q \text{ diseño}}{N^\circ \text{ líneas}} \times t \text{ resiliencia}$$

$$V = 689.4 \text{ m}^3$$

Profundidad

$$H = \frac{S}{V} \quad H = 2.5 \text{ m}$$

Concentración de sólidos a la salida

$$SS \text{ salida} = \frac{SS \text{ entrada} (100 - Rdo \text{ SS})}{100}$$

$$SS \text{ salida} = 180 \text{ mg/L}$$

Concentración de DBO 5 en la salida

$$DBO5 \text{ salida} = \frac{DBO5 \text{ entrada} (100 - Rdo \text{ DBO5})}{100}$$

$$DBO5 \text{ salida} = 320 \text{ mg/l}$$

3.3. Tratamiento secundario propuesto

El tratamiento secundario propuesto para el rediseños de la PTAR San José se realizará mediante lagunas aireadas y lagunas facultativas, los cálculo de este sistema de tratamiento se desarrollan a continuación:

3.3.1. Diseño de laguna aireada

Tabla 22 Datos para el diseño de la laguna aireada

DATOS DE DISEÑO		CANTIDAD	UND
Caudal Promedio	Qp=	1,149.90	L/s

DATOS DE DISEÑO		CANTIDAD	UND
Pob. Diseño	Pd=	672,556	Hab
	DBO=	320.00	mg/L
	SST=	180.00	mg/L
	pH=	7.40	
	Cf=	38,700,000	NMP/100 ml

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 Cálculo de la DBO Soluble

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Población de Diseño	Pf = 672,556	hab				
Caudal promedio	Qp= 229.98	l/s	$Kbr = Kb * 1.047^{(T - 20)}$	Kbr= 0.77	d ⁻¹	Tasa Mortalidad corregido
Concentración inicial Afluyente (DBO)	So= 320.00	mg/l				
Temperatura	T° = 22.0	°C				
Tasa de Mortalidad a 20°C	Kb = 0.7	d ⁻¹	$S_e = \frac{S_o}{1 + Kbr * t}$	Se= 36.89	mg/l	DBO Soluble
Norma-Tiempo (7- 20) días	t = 10	días				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Cálculo de DBO particulado

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Sólidos Suspendidos	SS= 180.00	mg/l				
Sólidos Volátiles activos	Xva= 0.20		$Xva = DBO5/SS$	DBO5 = 36.00	mg/l	DBO Particulado
Tiempo	t = 10	días	$DBO_{total} = DBO5 + Se$	DBOtotal= 72.89	mg/l	DBO Total
Concentración afluente DBO	So= 320.00	mg/l	$E\% = ((So - DBO_{total}) / So) * 100$	E% = 77.22	%	Eficiencia
Caudal promedio	Qp= 19,870.27	m ³ /d	$Vol.lag = Qp * t$	Vol.lag= 198,702.72	m ³	Volumen de la Laguna
NORMA(3-5m) Altura optima	h= 5.00	m	$\acute{A}rea = (Vol.lag/h)$	A = 39,740.54	m ²	\acute{A}rea de la laguna

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25 Cálculo de oxígeno requerido

CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Qp = 19,870.27	m ³ /d				
So= 320.00	mg/l	$R_o = \frac{a \cdot Q_p \cdot (S_o - S_e)}{1000}$	5,625.39	kgO2/día	Oxigeno requerido
Se= 36.89	mg/l		234.39	kgO2/hora	
a = 1					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Cálculo de requerimiento oxigenación

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Aireadores están. Flotadores	af = 1.80	Kg O2/kW	$Rd = af * E\%$	Rd= 1.08	kgO2/Kwh	Requerimiento de oxigenación
Eficiencia de aireadores	E%= 60.00	%				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Cálculo de potencia de aireadores

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Numero de aireadores	N°= 8.00	und		217.03	Kw	
Ancho aireador unt. (catálogo)	w= 12.00	m	Pa=(Ro/Rd)	Pa= 289	Hp	Potencia aireadores
largo aireador unt. (catálogo)	L= 12.00	m	Pau=Pa/N°	Pau= 36.17	Hp	Potencia aireadores unitaria
Potencia aireador	Pa= 217,028.9	W	Lt=L*4	Lt= 263.00	m	Largo total
Volumen de la laguna	V= 198,702.7	m ³	Wt=w*2	Wt= 113.00	m	Ancho total
			Pau=Pa/N°	Pau= 36.17	Hp	Potencia aireadores unitaria
			φ= (Pa/V)	φ= 1.09	w/m ³	Verificación del nivel de potencia

Fuente: Elaboración propia

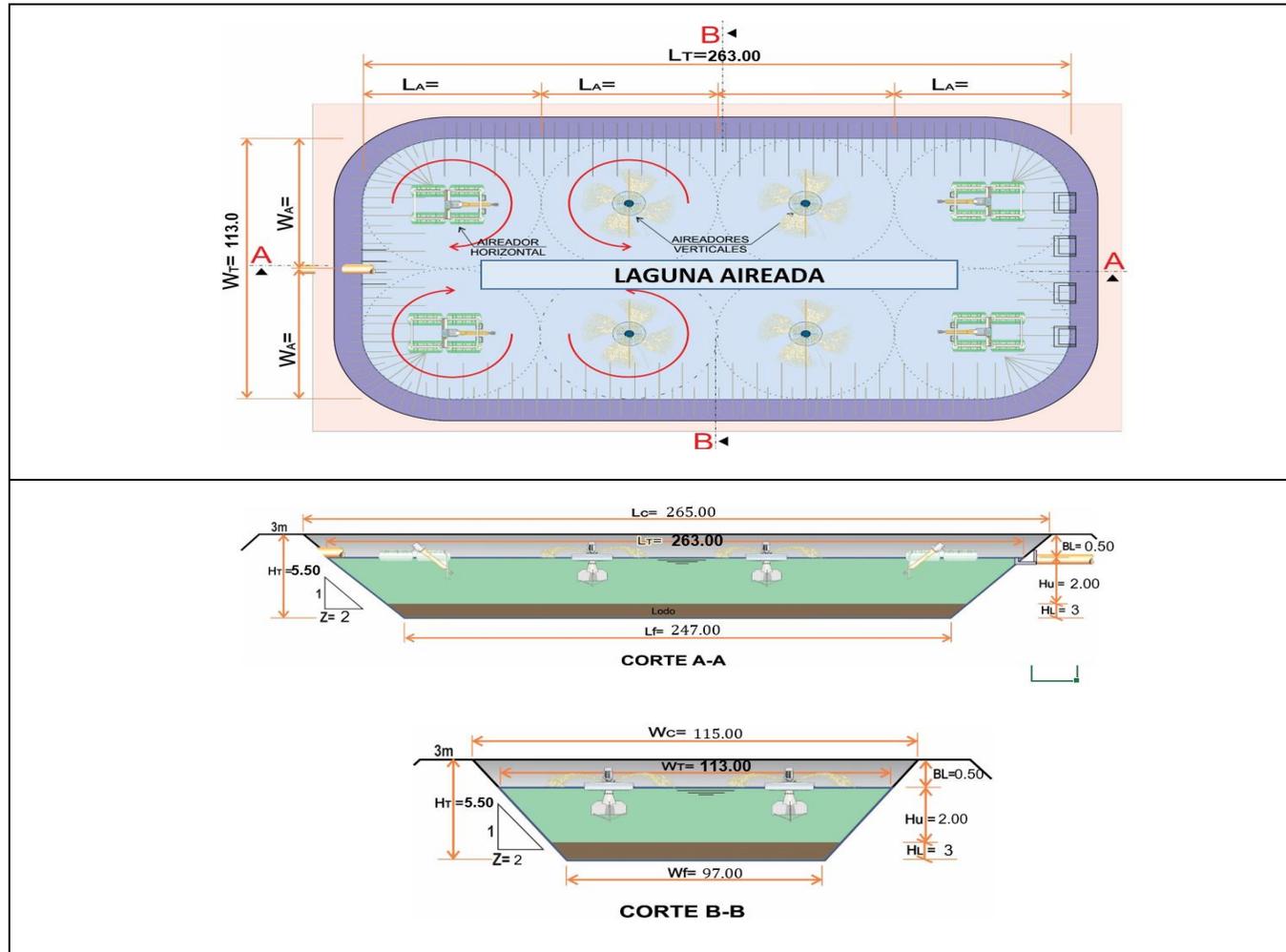
Tabla 28 Cálculo de dimensiones de la laguna

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
-------	----------	-----	--------------------	----------	-----	------------

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Largo laguna espejo de agua	$L_{esp} = 263.00$	m	$L = L_{esp} H2O - Z * H$	$L = 258.00$	m	Longitud promedio
Ancho laguna espejo de agua	$W_{esp} = 113.00$	m	$W = W_{esp} H2O - Z * H$	$W = 108.00$	m	Ancho promedio
Talud	$Z = 2$		$L_c = L_{esp} H2O + 2 * Z * BL$	$L_c = 265.00$	m	Longitud de la Corona
Altura de lodo	$HL = 3$	m	$W_c = W_{esp} + 2 * Z * BL$	$W_c = 115.00$	m	Ancho de la Corona
Borde libre	$BL = 0.50$	m	$L_f = L - Z * H$	$L_f = 247.00$	m	Longitud de fondo
Altura útil de la laguna	$H_u = 2.00$	m	$W_f = W - Z * H$	$W_f = 97.00$	m	Ancho de fondo
Altura Total de la laguna	$HT = 5.50$	m				

Fuente: Elaboración propia

Figura 10 Diseño de la laguna aireada



Fuente: Elaboración propia, Imagen referencial

3.3.2. Diseño de laguna facultativa

Tabla 29 Datos para el diseño de la laguna facultativa

CRITERIO	SIMBOLO	CANTIDAD
Caudal Medio	Q_{medio}	99351.360 m ³ /día
Caudal Unitario	Q_{unit}	24837.840 m ³ /día
Temperatura del Agua	T	22.00 °C
DBO ₅ al Ingreso	DBO _{5 Ingreso}	72.89 mg/L
CF al Ingreso	CF _{Ingreso}	2.06 E+05 CF/100 mL

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 Criterios de diseño (según RNE - NORMA OS.090)

CRITERIO	SIMBOLO	CANTIDAD
Contribución Percápita de DBO	C_{PC}	50 g DBO ₅ /hab.día
Tasa de Acumulación de Lodos	T_{acum}	0.04 m ³ /hab.año
C. Velocidad de Remoción DBO ₅	C_{rfac-1}	0.30 días ⁻¹
C. Velocidad de Remoción DBO ₅	C_{rfac-2}	0.40 días ⁻¹
Coefficiente de Remoción DBO ₅	K_{20}	0.14 días ⁻¹
Coefficiente de Morbilidad CF	K_{20}	1.00 días ⁻¹
Eficiencia en Remoción de DBO	E	70%
Tiempo de Retención	TR	5 - 30 días
Periodo de Limpieza	P_{limp}	5.00 años
Profundidad de la Laguna 1 ^{ria}	H_{fac-P}	2.00 m
Borde Libre	BL	0.50 m
Relación Largo/Ancho Lag. 1 ^{ria}	L/W_P	2/1
Talud del Terreno	Z	1.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 Dimensiones de la laguna facultativa

DIMENSIONES DE LA LAGUNA	W	L	Área
Dimensiones de fondo	183.20 m	369.40 m	6.77 Ha
Dimensiones espejo de agua	189.20 m	375.40 m	7.10 Ha
Dimensiones borde superior	190.70 m	376.90 m	7.19 Ha
			28.75 Ha

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Remoción de DBO y Coliformes en la laguna facultativa

Remoción de DBO en el Efluente:	
Porcentaje de Remoción de DBO ₅ :	
% Remoción de DBO ₅ = xDBO ₅ que Sale de la Laguna:	80%
DBO ₅ de salida =	14.58 mg/L
Diseño para remoción de DBO:	
Estudios realizados en las lagunas de San Juan (Lima), hallaron que:	
K ₂₀ =	0.14 días ⁻¹
C _{efluente} =	20.0 mg/L
Constante de Remoción a Temperatura del AARR:	
K _t = K ₂₀ * 1.05 ^{T-20} =	0.15 días ⁻¹
Tiempo de Retención:	
TR = -ln (Ce/Ca) / K _t =	5.00 días
Verificación de tiempo de retención: TR < TR _{t1} + TR _{t2}	OK!!!

Remoción de DBO en el Efluente:

Área Superficial de Laguna:

$$A_{\text{fac-p}} = (\text{Caudal} * TRt_1) / H_{\text{fac}} = 26.28 \text{ Ha}$$

Carga Orgánica Superficial:

$$COS_{\text{fac-p}} = \text{Carga Orgánica} / A_{\text{fac-p}} = 275.56 \text{ kg DBO}_5 / \text{Ha.día}$$

Volumen Total de la Laguna:

$$V_{\text{fac-p}} = A_{\text{fac-p}} * H_{\text{fac}} = 525625.00 \text{ m}^3$$

Diseño para remoción de coliformes fecales:

La Norma OS.090 recomienda Valores del Coeficiente de Mortalidad entre 0.6 y 1.0 días⁻¹ para 20 °C:

$$K_{20} = 1.00 \text{ días}^{-1}$$

$$CF = 1.00 \text{ E}+04 \text{ CF/100mL}$$

Constante de Remoción a la Temperatura del AARR:

$$K_t = K_{20} * 1.05^{T-20} = 1.10 \text{ días}^{-1}$$

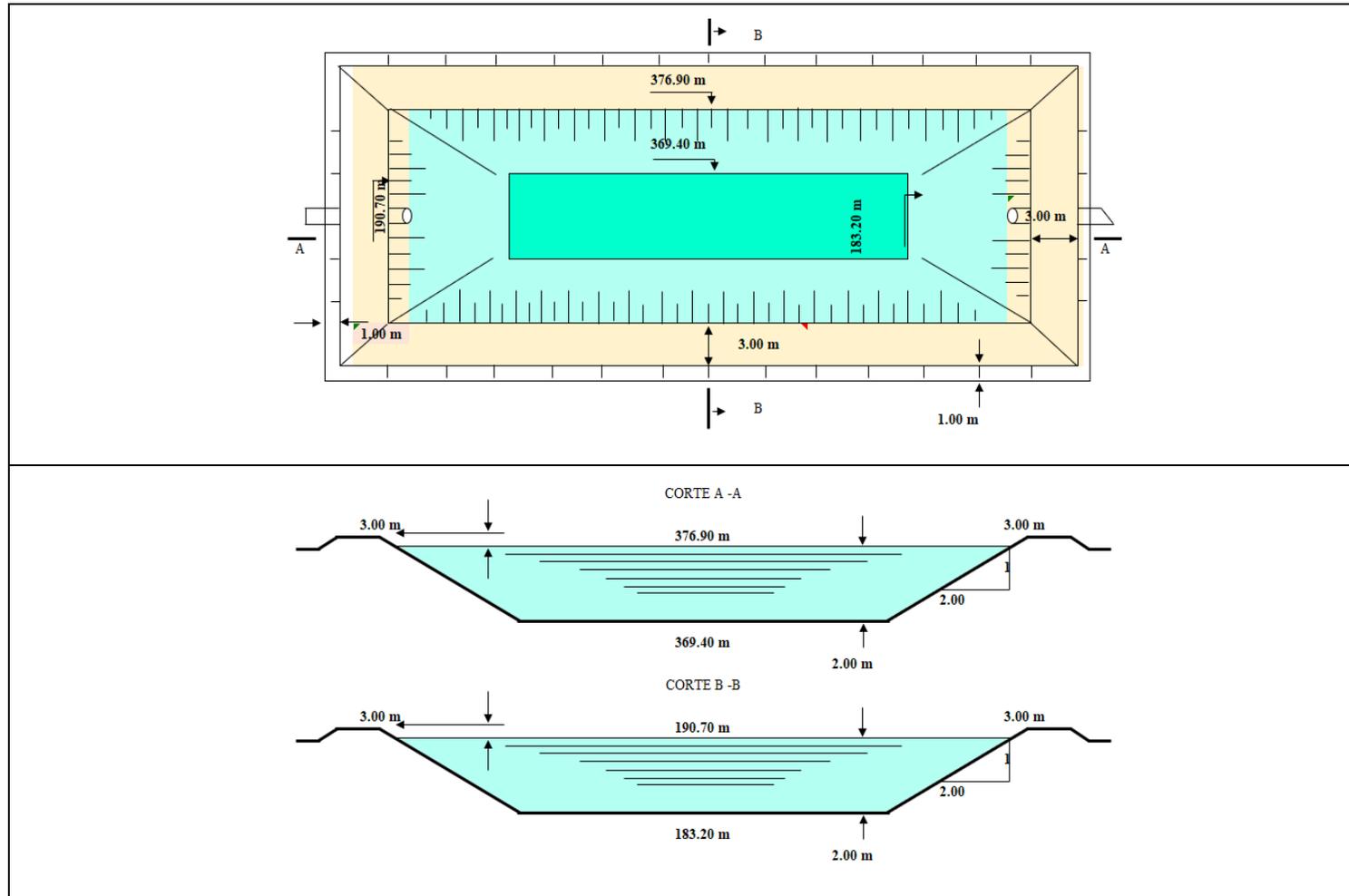
Coliformes Ecales del Efluente Final:

Remoción de DBO en el Efluente:

$KC_f = 0.841(1.07)^{(T-20)} =$	0.96	d-1	E%	98.34 %
$d = X / -0.26118 + 0.25392X + 1.01460X^2 =$	0.04			
$a = (1 + 4K_f c_t d)^{1/2} =$	1.36			
$C_f e = C_f i (4a e^{(1/2d)}) / (1+a)^2 e^{(a/2d)} - (1-a)^2 e^{(-a/2d)} =$				3.41E+03
Verificación la condición:	CF < 10000 CF/100mL			Laguna de Maduración

Fuente: Elaboración propia

Figura 11 Diseño de la laguna facultativa



Fuente: Elaboración propia

3.4. Tratamiento terciario propuesto

El tratamiento terciario propuesto para el rediseños de la PTAR San José se realizará mediante lagunas de maduración o pulimento, los cálculo de este sistema de tratamiento se desarrollan a continuación:

3.4.1. Laguna de maduración o pulimento

Tabla 33 Datos para el diseño de la laguna de maduración

DATOS	CANTIDAD	UND
Población de Diseño	Pf = 672,556	hab
Caudal promedio	Qp = 1,149.90	l/s
Factor de corrección	Fc = 0.70	
Factor de sedimentación	Fcs = 0.98	d ⁻¹
Factor intrínseco de algas	Fia = 0.31	d ⁻¹
Tasa de infiltración	Tinf. = 1.4	cm/dia

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 Cálculo de periodo de retorno de la laguna de maduración

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Población de Diseño	Pf = 672,556	hab	$Qu = Qp/N^{\circ}$	Qu = 24,837.84	m ³ /d	Caudal unitario
Caudal promedio	Qp = 99,351.36	m ³ /d	$PR = \frac{Vol}{Qu - \frac{Tinf * w * L}{100}}$	PR = 3	días	Periodo de retención hidráulico (5-20días)
Número de lagunas	N° = 4	und				
Tasa de Mortalidad a 20°C	Kb = 1.0	d ⁻¹	$Vlag. = L * W * H$	Vlag = 75,000.00	m ³	Volumen laguna
Tasa Desoxigenación a 20°C	K = 0.23	d ⁻¹	$TR = PR * Fc$	TR = 2	días	Tiempo retención corregido
Ancho laguna (asumida)	w = 100	m	$Qe = Qu - \frac{Tinf * W * L}{100}$	Qe = 24,417.84	m ³ /d	Caudal del efluente unitario

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Largo laguna (asumida)	L= 300	m				
Altura laguna	H = 2.50	m	$QeT = Qe * N^{\circ}$	$QeT = 97,671.36$	m ³ /d	caudal efluente total

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35 Calculo remoción de coliformes en la laguna de maduración

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Coliformes Fecales	CFi = 3.41E+03	NMP/100ml	$Kbr = Kb * 1.047^{(T^{\circ} - 20^{\circ}C)}$	Kbr = 1.10	d ⁻¹	Tasa mortalidad corregido
Concentración lag. Aireada Facult.	So= 14.58	mg/l	$K = K * 1.047^{(T^{\circ} - 20^{\circ}C)}$	K = 0.25	d ⁻¹	Tasa Desoxigenación corregido

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Factor de sedimentación	Fcs = 0.98		$d = \frac{D}{UL}$	d = 0.04		Número de dispersión
Factor intrínseco de algas	Fia = 0.31					
Tasa de Mortalidad a 20°C	Kb = 1.0	d ⁻¹	aDBO =(1+4*K*t*d)^1/2	aDBO = 1.04		F. adimensional DBO
Tasa Desoxigenación a 20°C	K = 0.23	d ⁻¹	aCF =(1+4*Kb*t*d)^1/2	aCF = 1.18		F. adimensional CF
Temperatura	T= 22.0	°C				
Talud	Z = 2					
	$CFe = \frac{CFi(4 * a * e^{\frac{1}{2*d}})}{(1 + a)^2 * e^{\frac{a}{2*d}} - (1 - a)^2 * e^{\frac{-a}{2*d}}}$			Cs = 3.90E+02	NMP/100ml	Coliforme del efluente

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
				$E\% = \frac{CFi - CFe}{CFi} * 100 = 88.54$	%	Eficiencia de remoción

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36 Calculo remoción de DBO efluente de la laguna de maduración

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Concentración inicial de DBO	So = 14.58	mg/l				
Factor de sedimentación	Fcs = 0.98		$Se = \frac{So * Fcs * 4 * a * e^{\frac{1-a}{2*d}}}{(1+a)^2} + So * Fcs * Fia$			
Factor intrínseco de algas	Fia = 0.31					
Temperatura	T° = 22	°C	Se =	6.98	mg/l	DBO efluente
			$E\% = \frac{So - Se}{So} * 100$	E% = 43.00	%	

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
						Eficiencia de remoción

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37 Calculo área total de la laguna de maduración

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Ancho laguna (asumida)	w= 100	m	$Au = W*L$	Au = 3.00	Ha	Área unitaria
Largo laguna (asumida)	L= 300	m	$Aacu = A(La) + A(Ma)$	Aacu = 37.83	Ha	Área acumulada
Área laguna Aireada	$\frac{A(La)}{=}$ 25.83	Ha	$Cas = \frac{Se * Qu * 0.001}{Au}$	Cas = 57.81	kgDBO/Ha*d	Carga superficial
Número de lagunas	N° = 4	und				

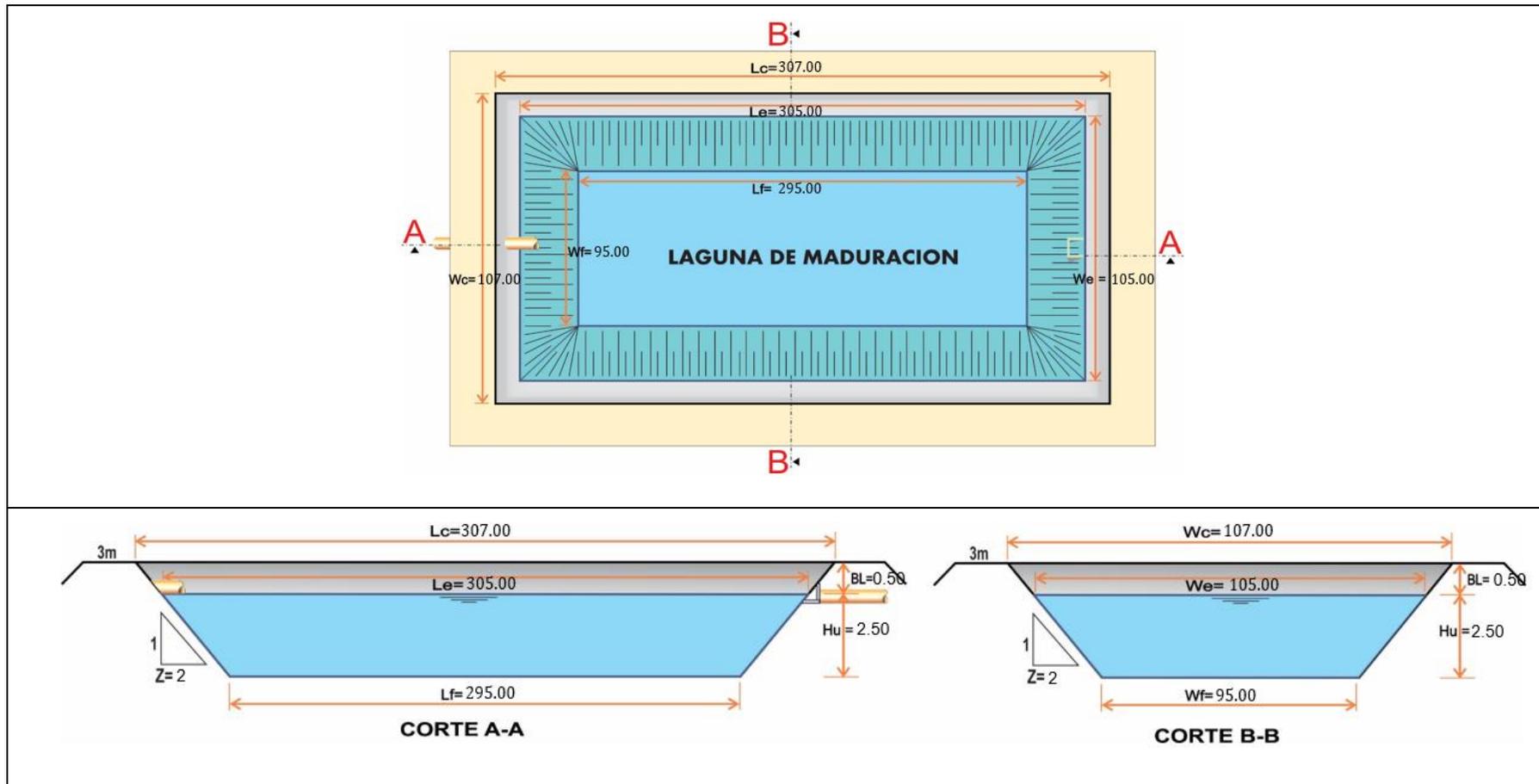
Fuente: Elaboración propia

Tabla 38 Cálculo de dimensiones de la laguna de maduración

DATOS	CANTIDAD	UND	PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
Ancho laguna (asumida)	w= 100	m	$L_{esp} H2O = L+Z*H$	$L_{esp} = 305.00$	m	Longitud espejo de agua
Largo laguna (asumida)	L= 300.00	m	$W_{esp} H2O = W+Z*H$	$W_{esp} = 105.00$	m	Ancho espejo de agua
Talud	Z= 2		$Lc = L_{esp} H2O+2*Z*BL$	$Lc = 307.00$	m	Longitud de la Corona
Altura laguna	H= 2.50	m	$Wc = W_{esp}+2*Z*BL$	$Wc = 107.00$	m	Ancho de la Corona
Borde libre	BL= 0.50	m	$Lf = L-Z*H$	$Lf = 295.00$	m	Longitud de fondo
			$Wf = W-Z*H$	$Wf = 95.00$	m	Ancho de fondo

Fuente: Elaboración propia

Figura 12 Diseño de la laguna de maduración



Fuente: Elaboración propia

3.5. Lecho de secado de lodos propuesto

Tabla 39 Datos para el cálculo del lecho de secado

DATOS	CANTIDAD	UND
Población de Diseño	Pf = 672,556	hab
Caudal promedio	Qp = 1,149.90	l/s
% sólidos contenidos en lodo	% = 10%	Dato varía entre [8-12%]
Contribución per cápita	Cpc = 38.16	gr.SS/h*d
Temperatura	T° = 22.0	
Profundidad de ampliación	Ha = 0.30	m
Densidad de lodo	g = 1.04	kg/L
Ancho del lecho de secado	W = 10.00	m
Número de lechos de secado	N° = 6.00	und

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40 Calculo de la demanda para el lecho de secado

PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
$C = \frac{Cpc * Pf}{1000}$	C = 25664.74	KgSS/d	Carga de solidos
$Msd = ((0.5 * 0.7 * 0.5) + (0.5 * 0.3)) * C$	Msd = 8,341.04	KgSS/d	Masa de sólidos en el lodo

PROCESO DE CÁLCULO	CANTIDAD	UND	RESULTADOS
$Vld = Msd / (\% * \rho)$	$Vld = 80.20$	m3/día	Volumen de lodos digeridos
$Vel = Vld * fcr$	$Vel = 3,208.09$	m3	Volumen de lodos a extraer
$Vu = Vel / N^\circ$	$Vu = 534.68$	m3	Volumen unitario de lodos a extraer

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41 Dimensiones del lecho de secado

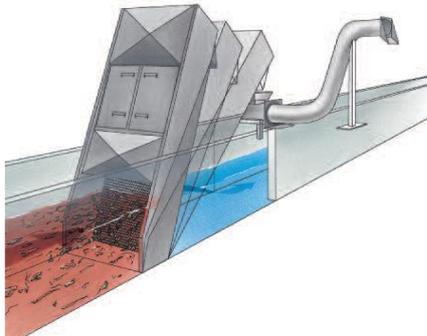
$A = Vel / Ha$	$A = 1,782.27$	m2	Área del lecho de secado
$L = A / W$	$L = 178.23$	m	Longitud lecho de secado
$W = A / L$	$W = 10.00$	m	Ancho lecho de secado

Fuente: Elaboración propia

3.6. Balance de masas del tren de tratamiento propuesto

Pretratamiento cámara de rejas

Afluente	
Q a	1.15 m ³ /s
SS a	600 mg/L
DBO a	400 mg/L
Coli a	3.87E+07 (NMP/100ml)

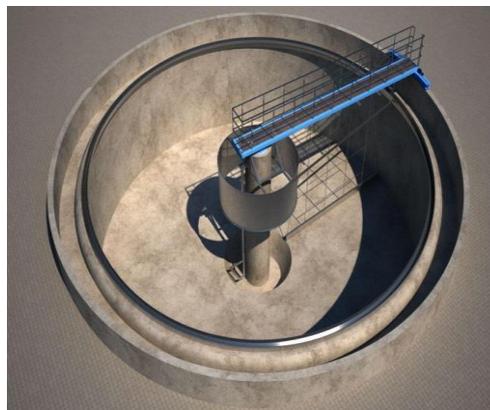


Efluente	
Q e	1.15 m ³ /s
SS e	600.00 m ³ /s
DBO e	400.00 m ³ /s
Coli e	3.87E+07 (NMP/100ml)

Se transforma		
Eficiencia	Remisión	
0%	SS	0 mg/L
0%	DBO	0 mg/L
0%	Coli	0.00E+00 (NMP/100ml)

Tratamiento Primario Decantador

Afluente	
Q a	1.15 m ³ /s
SS a	600 mg/L
DBO a	400 mg/L
Coli a	3.87E+07 (NMP/100ml)

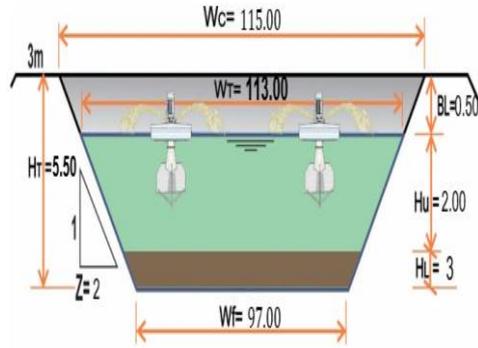


Efluente	
Q e	1.15 m ³ /s
SS e	180 mg/L
DBO e	320 mg/L
Coli e	3.87E+07 (NMP/100ml)

Se transforma		
Eficiencia	Remisión	
70%	SS	0 mg/L
20%	DBO	0 mg/L
0%	Coli	0.00E+00 (NMP/100ml)

Tratamiento Secundario Laguna Aireada

Entrada	
Q_a	1.15 m ³ /s
DBO _a	320 mg/L
Coli _a	3.87E+07 (NMP/100ml)

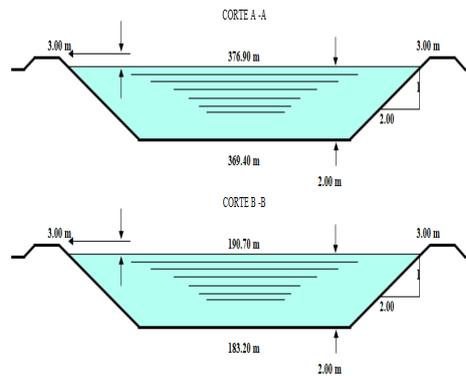


Efluente	
Q_e	1.15 m ³ /s
DBO _e	73 mg/L
Coli _e	2.06E+05 (NMP/100ml)

Se transforma		
Eficiencia	Remisión	
77%	DBO	247 mg/L
99%	Coli	3.85E+07 (NMP/100ml)

Tratamiento Secundario Laguna Facultativa

Entrada	
Q_a	1.15 m ³ /s
DBO _a	73 mg/L
Coli _a	2.06E+05 (NMP/100ml)

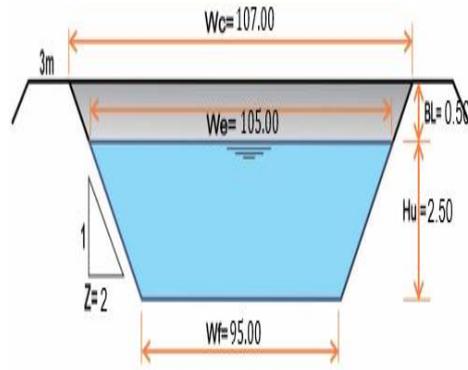


Efluente	
Q_e	1.15 m ³ /s
DBO _e	14.6 mg/L
Coli _e	3.41E+03 (NMP/100ml)

Se transforma		
Eficiencia	Remisión	
80%	DBO	58 mg/L
98%	Coli	2.02E+05 (NMP/100ml)

Tratamiento Terciario Laguna de Maduración

Entrada	
Q a	1.15 m ³ /s
DB O a	15 mg/L
Coli a	3.41E+03 (NMP/100ml)

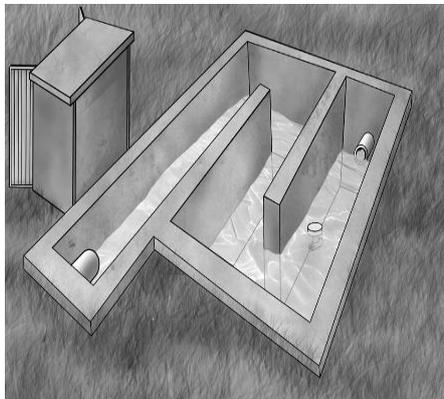


Efluente	
Q e	1.15 m ³ /s
DB O e	6.98 mg/L
Coli e	3.90E+02 (NMP/100ml)

Se transforma	
Eficiencia	Remisión
52%	DB O 3015 mg/L
89%	Coli 3.01E+03 (NMP/100ml)

Desinfección

Entrada	
Q a	1.15 m ³ /s
DBO a	6.98 mg/L
Coli a	3.90E+02 (NMP/100ml)



Efluente	
Q e	1.15 m ³ /s
DBO e	3.20 mg/L
Coli e	1.00E+01 (NMP/100ml)

Se transforma	
Eficiencia	Remisión
54%	DBO 4 mg/L
97%	Coli 3.80E+02 (NMP/100ml)

3.7. Análisis del costo del tren de tratamiento propuesto

El análisis del costo de la alternativa de solución propuesta de mejora de la PTAR San José, en comparación con otras tecnologías se presenta en las siguientes tablas:

Tabla 42 Costo de inversión y operación para diversos procesos de tratamiento

Proceso	Capacidad total de reducción de DBO (%)	Capacidad total de reducción de SST (%)	Costo de inversión		Costo de operación y mantenimiento (O&M)	
			USD/Habitante	Porcentaje de costo del lodo activado (%)	USD/Habitante	Porcentaje de costo del lodo activado (%)
Lodo activado tradicional	80-90	80-90	80-100	80-100	4-5	100
Sistema de lagunas tradicionales	70-90	70-90	20-40	20-20	0.2-0.4	5-8
Reactores UASB	60-80	70-80	20-40	20-40	1-1.5	25-30
Tratamiento primario avanzado	45-55	70-85	30-50	30-50	2-4	50-80
Humedales construidos	80-90	80-90	30-60	30-60	2-4	50-80
UASB + Lodo activado	83-93	87.93	30-45	30-45	2.5-5	63-100

Fuente: Adaptado de Von Sperling y Chernichao (2005) y Libhaber (2008)

Tabla 43 Estimación del costo de construcción una PTAR

Proceso	Estimación del costo de inversión				
	Costo Directo USD	IGV (18%)	Estudios 2 % del CD	Supervisión 2 % del CD	Sub Total
Lodo activado tradicional	67,255,600	12,106,008	1,345,112	1,345,112	82,051,832
Sistema de lagunas tradicionales	26,902,240	4,842,403	538,045	538,045	32,820,733
Reactores UASB	26,902,240	4,842,403	538,045	538,045	32,820,733
Tratamiento primario avanzado	33,627,800	6,053,004	672,556	672,556	41,025,916
Humedales construidos	40,353,360	7,263,605	807,067	807,067	49,231,099
UASB + Lodo activado	30,265,020	5,447,704	605,300	605,300	36,923,324

Fuente: Elaboración propia, elaborado en base a los datos de Von Sperling y Chernichao (2005) y Libhaber (2008)

La estimación del costos para la operación y mantenimiento de una PTAR se muestra a continuación:

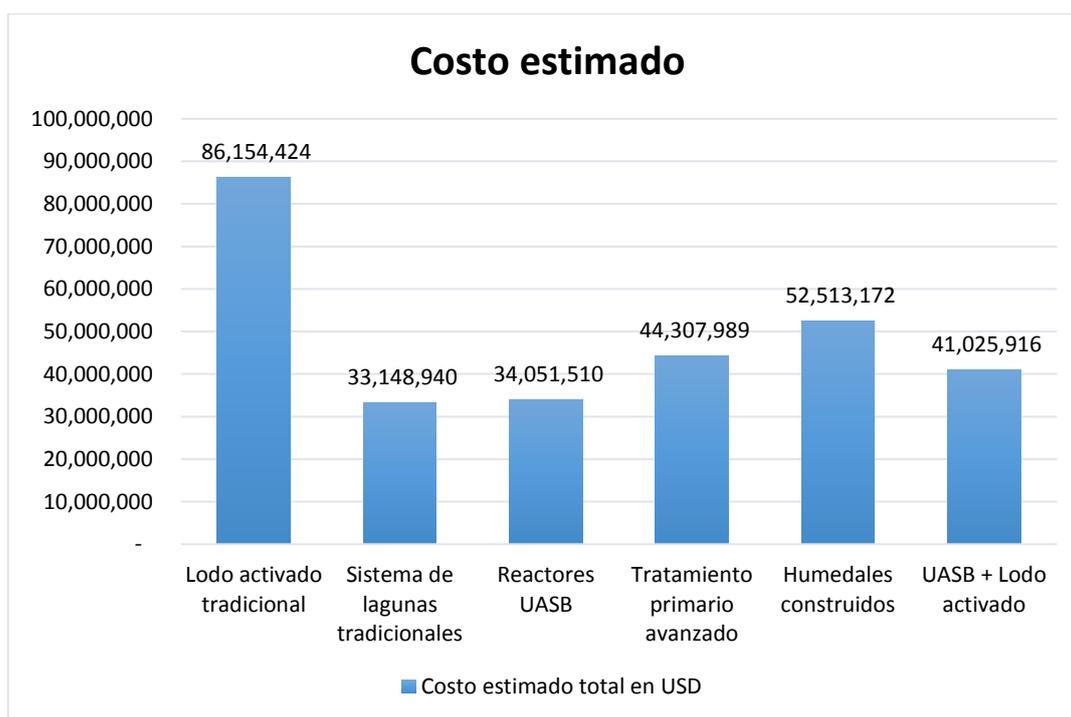
Tabla 44 Estimación del costo de operación y mantenimiento

Proceso	Estimación del costo de operación y mantenimiento (O&M) en USD				
	Costo Directo USD	IGV (18%)	Estudios 2 % del CD	Supervisión 2 % del CD	Sub Total
Lodo activado tradicional	3,362,780	605,300	67,256	67,256	4,102,592
Sistema de lagunas tradicionales	269,022	48,424	5,380	5,380	328,207
Reactores UASB	1,008,834	181,590	20,177	20,177	1,230,777
Tratamiento primario avanzado	2,690,224	484,240	53,804	53,804	3,282,073
Humedales construidos	2,690,224	484,240	53,804	53,804	3,282,073
UASB + Lodo activado	3,362,780	605,300	67,256	67,256	4,102,592

Fuente: Elaboración propia

La configuración de la tecnología de tratamiento planteada para la mejora de la PTAR San José, ofrece una solución eficiente a un menor costo en comparación con otras tecnologías de tratamiento; esto se puede observar en el gráfico 4.

Gráfico 4 comparación de costos de diferentes PTARs



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a costos de operación y mantenimiento la alternativa de solución planteada presenta mejores ventajas dado que no requiere de mucha inversión.

La alternativa permite alcanzar los niveles de tratamiento requeridos para el reúso, además requiere de menor inversión en infraestructura, operación y mantenimiento, se puede instalar dentro del área disponible, y hacer uso de la infraestructura existente, y asegura el tratamiento requerido para el reúso del agua residual con fines agrícolas.

En la Tabla N° 46 se muestra la comparación de la normativa aplicable que regulan los límites máximos permisibles del agua residual tratada, destinada al riego de cultivos, nacional e internacional.

Tabla 45 Concentración de patógenos en el efluente de una PTAR para riego

Coli NMP/100mL	(e) Salida	OMS 2006	ECA - AGUA (Colifo. Termotolerantes)	
			Tallo bajo	Tallo alto
	390	1000	1000	2000

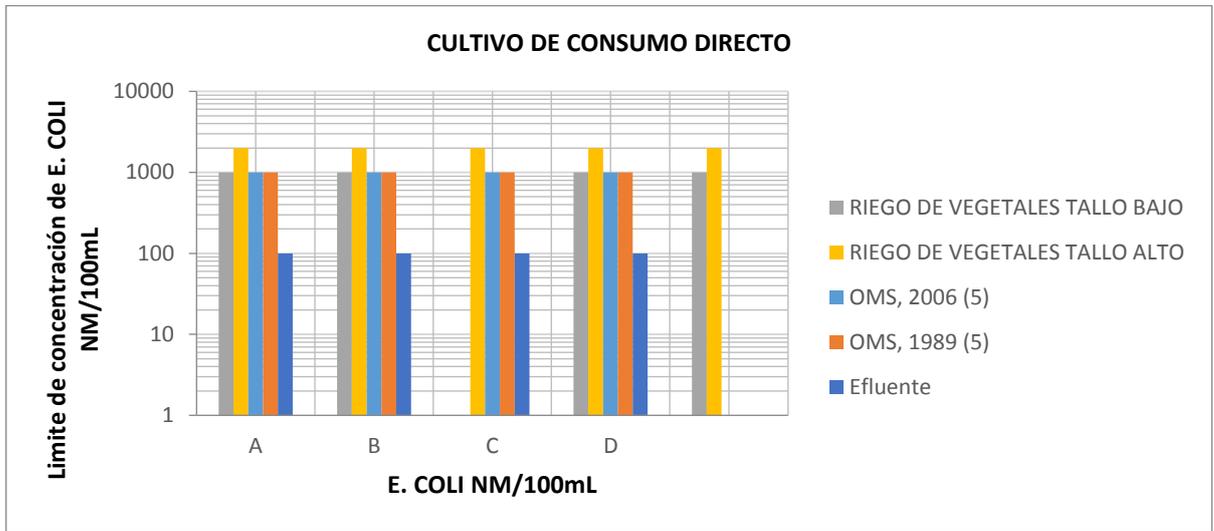
Fuente: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass)

La presencia de Coliformes en el efluente de una PTAR, que será destinada al riego de cultivos de consumo directo, no debe superar el límite de 1000 NMP/100mL para riego de cultivos de tallo bajo; y para riego de cultivos de tallo alto, no debe superar el máximo de 2000 NMP/100mL. De los cálculos realizados obtenemos que a la salida de la laguna de maduración se obtendría una concentración coliforme equivalente a 390 NMP/100mL.

En tal sentido, el efluente de la PTAR propuesta cumple con la calidad requerida en la norma para ser reusada con fines agrícolas, sin embargo, para asegura la calidad del agua residual tratada, esta se debe de someter a un proceso de desinfección con cloro.

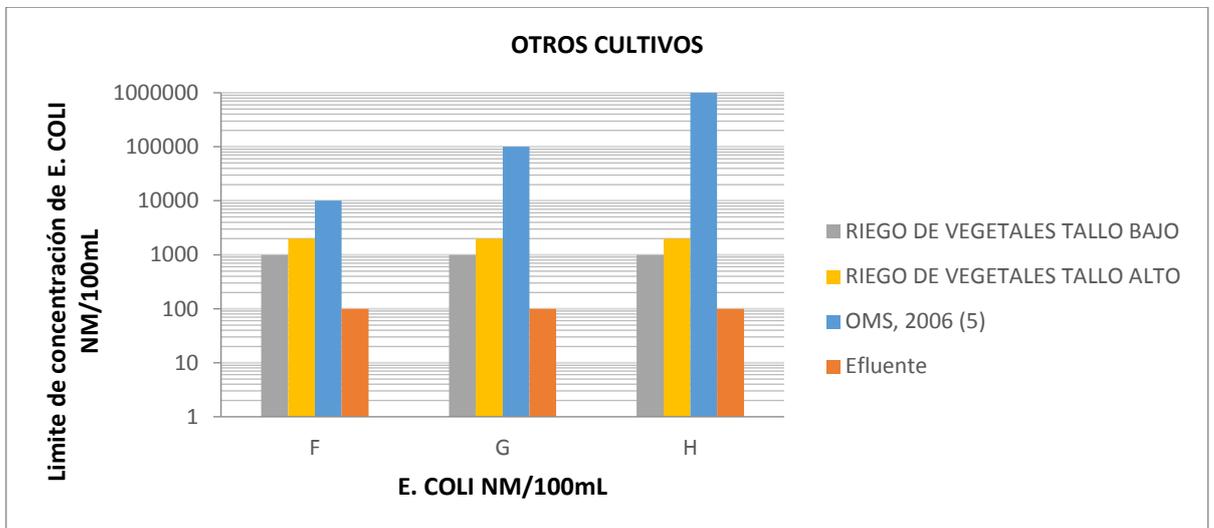
La concentración de coliformes a la salida del tren de tratamiento propuesto para el mejoramiento de la PTAR San José cumple con la calidad requerida en la norma que regula el reuso del agua residual tratada para riego de cultivos.

Gráfico 5 Comparación del efluente de la PTAR propuesta con la normatividad para el reúso de agua residual con fines agrícolas en cultivos de consumo directo



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6 Comparación del efluente de la PTAR propuesta con la normatividad para el reúso de agua residual con fines agrícolas en otros cultivos



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

DISCUSIÓN

A nivel país, el litoral peruano abarca aproximadamente el 10 % de la superficie total del territorio y alberga el 55% de la población, porcentaje estimado en el último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística, la Autoridad Nacional del Agua afirma que en la zona costa se encuentran aproximada de 1.8 % de los recursos hídricos nacionales, por lo que, se puede inferir que la disponibilidad hídrica per cápita es de 2 067 m³/año (ANA, 2013). A pesar de ello, el desarrollo económico en la zona costa es muy superior a la sierra y selva.

El agua es un recurso natural estratégico para el desarrollo sostenible, su valor económico está en función de los costos que implican su disponibilidad y utilidad. El agua residual tratada tiene un valor social, económico y ambiental, y su aprovechamiento debiera basarse en el equilibrio de los componentes antes mencionados.

En el marco de la gestión de los recursos hídricos el reúso de agua residual en la agricultura se ha incrementado sustancialmente a nivel mundial debido a la creciente

escasez de los recursos hídricos para riego, los costos elevados de los fertilizantes, Sin embargo, el desconocimiento de su potencialidad considerando aspectos normativos, sociales, ambientales y económicos; hace que el agua residual no sea vista como un recurso alternativo en la agricultura.

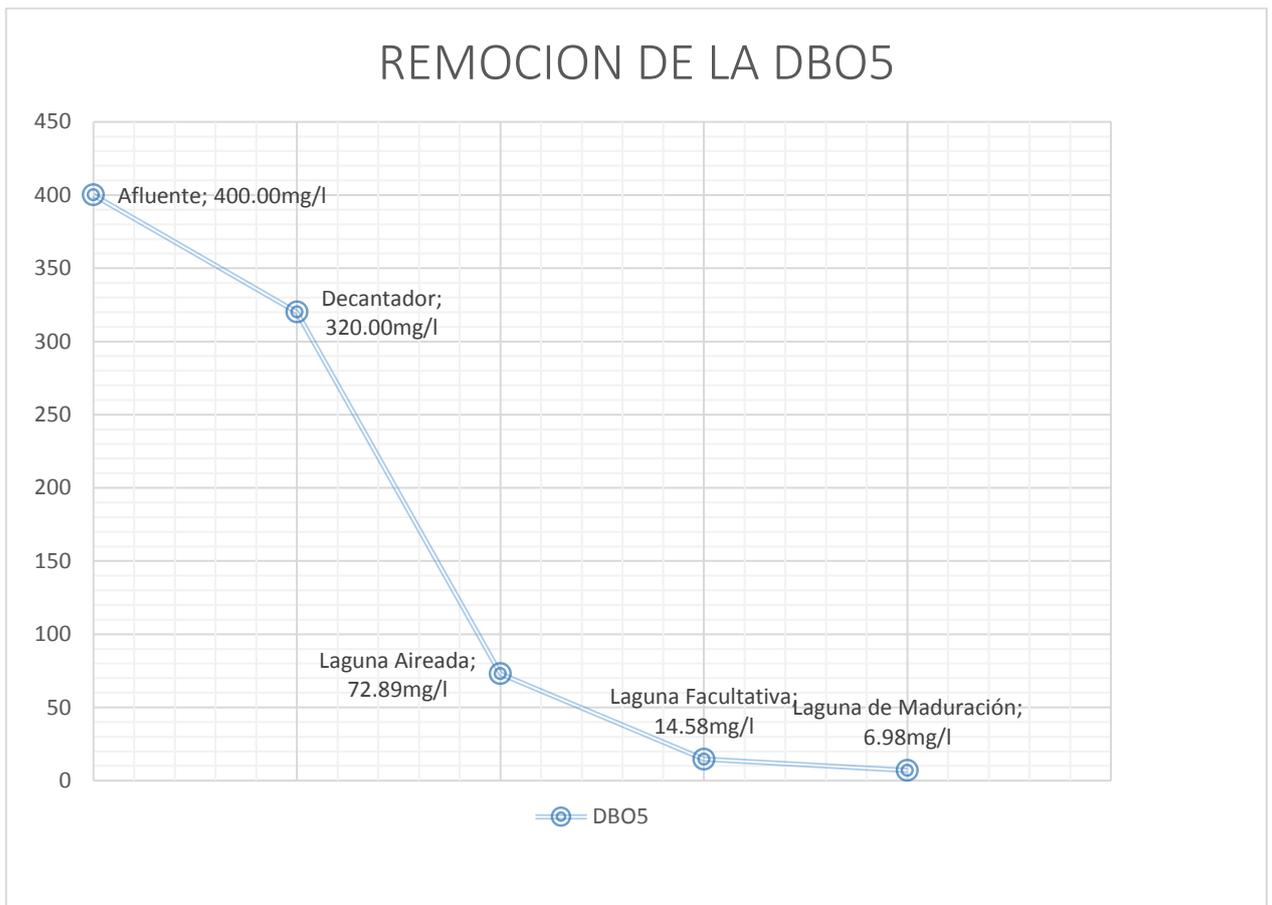
En el Perú, no se cuenta con una metodología para la formulación y evaluación de proyectos de reúso o de sistemas de tratamiento, que a la vez integre el uso de aguas residuales domésticas, por lo cual es difícil disponer de un instrumento técnico metodológico que permita mejorar la calidad y alcance de las inversiones; además, que ayude a promover la integración del tratamiento y el uso productivo de las aguas residuales domésticas; así también la gestión de las descargas y reúso de aguas residuales de las actividades poblacionales y productivas está sectorizada, se tiene a los Ministerios de Energía y Minas, Producción, Vivienda Construcción, y Saneamiento y Agricultura a través de sus Direcciones Generales de Medio Ambiente.

Es preciso indicar que si el reúso del agua residual tratada es para fines agrícolas se requiere opinión de la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud. Para verificar el cumplimiento de los Instrumentos Ambientales otorgados y que involucra el control de la calidad del agua residual a reusar, cada Dirección General de Medio Ambiente es responsable de la fiscalización.

De otro lado, reusar el agua residual tratada en el riego de cultivos puede conllevar a riesgos agronómicos que pueden afectar la productividad de los campos de cultivos, por lo que resulta necesario realizar una selección adecuada los del cultivo según su tolerancia al contenido de nutrientes y otros, la diversificación de los cultivos también resulta importante, toda vez que se debe de tener en cuenta aceptación y su valor en el mercado.

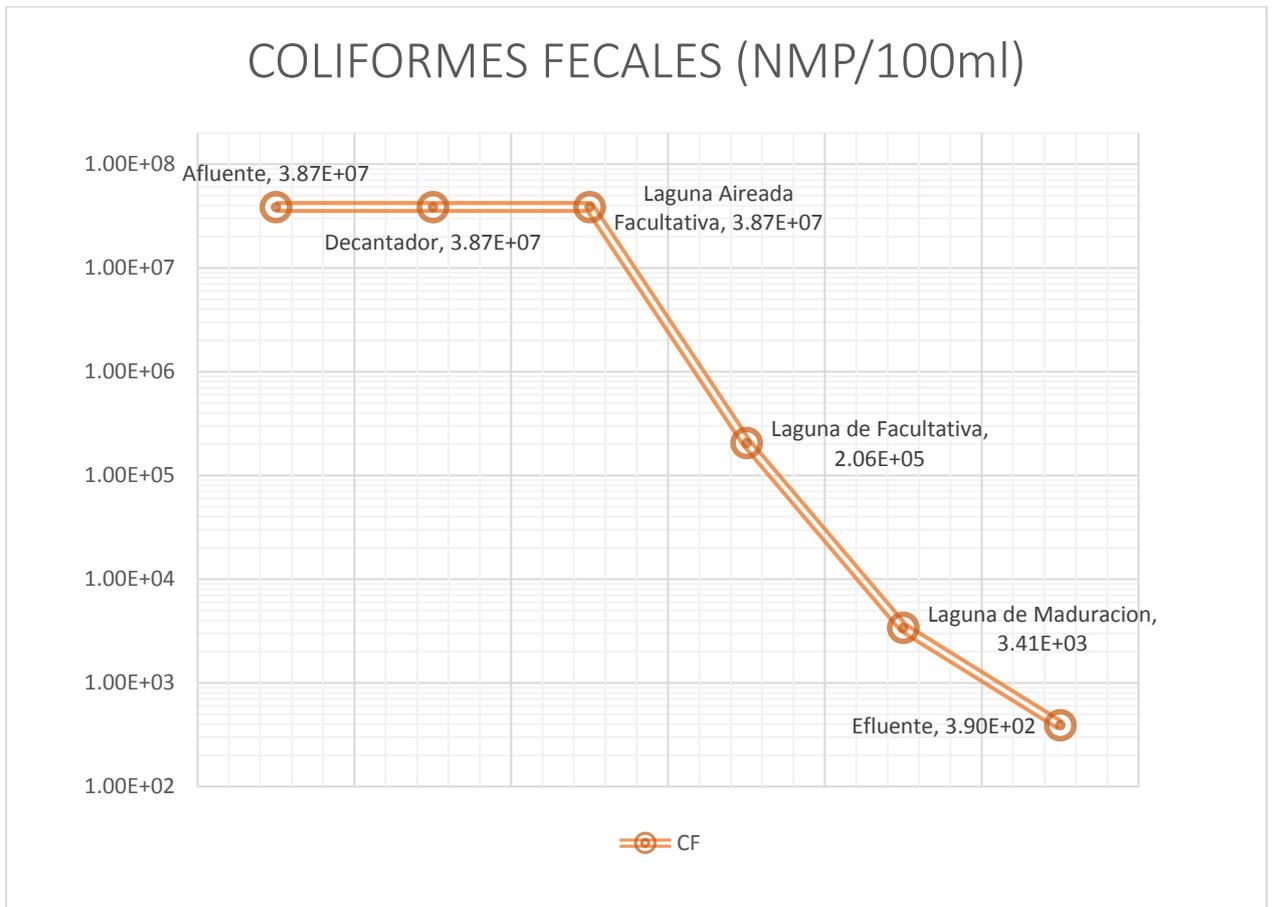
En cuanto a los objetivos planteados se logró realizar el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, diseñando un sistema de depuración eficiente que mejorar la calidad del efluente, el mismo que será destinado al riego de cultivos, para lo cual se ha planteado un tren de tratamiento que consiste en: pre tratamiento con cámara de rejillas automatizadas, decantador circular, lagunas aireadas, lagunas facultativas, lagunas de maduración y un sistema de desinfección, los cálculos realizados para el planteamiento de la mejora de la PTAR demuestran que se lograría una remoción eficiente de la DBO y de los Coliformes Fecales, en los siguientes gráficos se muestra los niveles de remoción de contaminantes en cada uno de los procesos.

Gráfico 7 Remisión de la BDO en el tren de tratamiento



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8 remoción de los coliformes fecales el tren de tratamiento



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos con el sistema de tratamiento propuesto demuestran que la calidad de agua residual a la salida de la PTAR está por debajo de los límites máximos establecidos en las normas aplicables, antes mencionadas, así mismo la concentración de los contaminantes microbiológicos y parasitológicos posibilitan el reúso del agua residual con fines agrícolas.

Mediante el análisis de la situación actual y el de las diversas tecnologías de tratamiento de agua residuales, se logró realizar el planteamiento para el mejoramiento de la PTAR San José, a fin de destinar el agua residual regenerada al riego de cultivos agrícolas.

El tren de tratamiento propuesto para el mejoramiento de la PTAR San José, se relaciona directamente con la mejora de la calidad el agua residual tratada, la remoción eficiente de la BDO y de los Coliformes en cada uno de los procesos de tratamiento planteado hacen viable reusar el agua residual regenerada con fines agrícolas.

Los cálculos realizados para predecir la remoción de la DBO, demuestra que el tren de tratamiento planteado reduce la DBO a 6.98 mg/l, resultado que está por debajo del límite máximo para el reúso del agua residual tratada con fines agrícolas.

La DBO es un indicador de contaminación, bajo ese concepto el efluente de la planta tiene bajos índices de contaminación, por lo que resultaría viable reusar el aguara residual tratada con fines agrícolas.

En cuanto a los cultivos que se pueden regar con el efluente de la PTAR, en los gráficos 5 y 6 del presente estudios, se puede apreciar que el agua residual regenerada en el proceso de tratamiento propuesto, pude ser usada sin problema alguno en el riego de cultivos de consumo directo y para otros cultivos.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La agricultura requiere mayor cantidad de agua que otros usos, como el doméstico o el industrial, en la zona de estudio la única fuente de agua permanente para el riego de cultivos es el agua residual domestica que se genera en la ciudad de Chiclayo; la Comunidad campesina de San José y EPSEL S.A, firmaron un acuerdo, mediante el cual se aseguró que el efluente de la PTAR San José sea entregado a los comuneros para el riego de cultivos de consumo directo, forraje y cría de ganado; los reportes de las características del efluente evidencian que este excede por mucho los Límites Máximos Permisibles para el reúso de agua tratada.

Las lagunas de la PTAR San José se encuentran colmatadas de lodos producto de proceso de tratamiento y por la falta de mantenimiento por parte de EPSEL S.A. estas lagunas requieren de un reacondicionamiento para su buen funcionamiento y de esa manera, cumplir con la normatividad ambiental vigente.

La PTAR San José cuenta con área disponible para la ampliación y mejoramiento, por lo que resulta viable proponer una alternativa de mejoramiento, considerando el reúso del agua residual tratada con fines agrícolas.

Los cálculos realizados para predecir la remoción de la DBO con el sistema de tratamiento propuesto, demuestran que se lograría obtener una DBO a la salida de PTAR de 6.98 mg/l, que es aceptable para el riego de cultivos alimenticios que se consumen crudos, árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

Los cálculos realizados para predecir la remoción de coliformes con el sistema de tratamiento propuesto demuestran que se lograría obtener a la salida de PTAR una concentración de 390 NM/100ml, que es aceptable para el riego de cultivos alimenticios que se consumen cocidos; cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto; cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados; cultivos industriales no comestibles y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares

La concentración de DBO y Coliformes en el agua residual son indicadores de contaminación, bajo ese concepto, el rediseño de la PTAR San José se relaciona directamente con el reúso del agua residual con fines agrícolas, toda vez que los cálculos realizados demuestran que la remoción de los contaminantes antes mencionados es eficiente.

El agua residual regenerada en el sistema de tratamiento propuesto, puede ser reusada con fines agrícolas, teniendo en cuenta que la concentración de la DBO y de los Coliformes Fecales a la salida de la PTAR proyectada está por debajo de los límites establecidos en las normas aplicables.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar una prueba experimental o piloto para el tren de tratamiento propuesto, a fin de comprobar experimentalmente la remoción de los contaminantes.

Los resultados obtenidos admiten la necesidad de realizar investigaciones posteriores que evalúen la eficiencia del sistema de tratamiento durante la operación, a fin de asegurar la calidad del efluente de la PATR que será destinada al riego de cultivos.

Para desarrollar el reúso de las aguas residuales tratadas con fines agrícolas, es de suma importancia la coordinación y vinculación interinstitucional, así como la participación en la toma de decisiones de los actores involucrados: Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento, Gobierno Local, Junta de Regantes, Productores Agrícolas, etc.

CAPITULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

832-F-99-063, EPA. *Desinfección con ozono*. Washington, D.C., 1999.

Alaerts, G. *Wastewater treatment. Tratamiento de aguas residuales, presentado en "Cusco Taller Internacional sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales"*. Santiago de Cali: Universidad del Valle, 1995.

Alberto Araujo, D'Souza. *Purification, properties and factors affecting the activity of Trichoderma viride cellulase*. 1986.

Bernal, D, D Cardona, A Galvis, y M Peña. *Guía de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domesticas por métodos naturales*. Paho, 1995.

CACERES, ERNESTO W. TORRES. *Proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas para reuso del agua en la agricultura*. Monterrey, México, 1994.

CEPIS/OPS-OMS. 2002.

Charpentier, Joseph. *Tratamiento de aguas residuales con lodos activados*. España, 2014.

- CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: lagunas de estabilización*. México: Comisión Nacional del Agua, 2016.
- Cortés, F, y otros. «Optimización en el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales integrado por tres lagunas de estabilización.» *Tecnología y Ciencia del Agua*, 2017: 139-155.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. «Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.» Lima: Diario Oficial El Peruano, 7 de Junio de 2017.
- Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA. «Reglamento Nacional de Edificaciones OS. 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.» Lima: Diario Oficial El Peruano, 8 de Junio de 2006.
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. «Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales.» Lima, Perú, Lima: Diario Oficial el Peruano, 17 de Marzo de 2010.
- Escalante, Violeta, y Hugo Noriega. «Lagunas facultativas, evaluación, cinética y modelos alternativos para su diseño.» *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 1996: 1-11.
- Escobar Rojas, M, L Tobar Bonilla, y J Romero Cuellár. «Diseño de un sistema experto para reutilización de aguas residuales tratadas.» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 2016: 21-34. *estrucplan*. 15 de julio de 2018. http://www.estrucplan.com.ar/contenidos/EfluLiq/filtros_biologicos_01.asp.
- Grupo Científico de la OMS sobre los Aspectos Sanitarios del Uso de Aguas Residuales Tratadas en Agricultura y Acuicultura. *Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura Volumen 778 de Informes Técnicos*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 1989.
- Hernández, Roberto, Carlos Fernández, y María Baptista. *Metodología de la investigación*. Sexta. México: McGRAW-HILL, 2014.
- HUBER Technology España, S.L. «Tamiz STEP SCREEN® Flexible SSF.» Lima, 2016.

- Hulshoff y Lettinga. *Anaerobic digestion of ice-cream wastewaters using the UASB process*. 1986.
- Lara, J. *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales*. Barcelona, España, 1999.
- López, M, G Espigares, y A Pérez. *Tratamiento de aguas residuales*. 2ª ed. Caracas, 1978.
- Ma. Teresa Orta V, Jacinto Morales R, Ignacio Monje R. *DESINFECCIÓN DE AGUA RESIDUAL POR LUZ ULTRAVIOLETA PROVENIENTE DE TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO Ó BIOLÓGICO PARA REÚSO AGRÍCOLA*. México, 2010.
- Mayorga Rayo, N. «Determinación de la calidad bacteriológica en los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chilpina.» *Tesis para optar el título de biólogo*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2014.
- Menéndez, Carlos, y Jesús Pérez. *Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales*. La Habana: Universitaria, 2007.
- Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización*. Tercera. Traducido por Juan Trillo y Ian Trillo. Vol. I. II vols. Madrid: McGRAW-HILL, 1995.
- Middlebrooks, E, C Middlebrooks, J Reynolds, G Walters, S Reed, y d George. *Wastewater Stabilization Lagoon Design, Performance and Upgrading*. New York: Macmillan, 1982.
- Moret Chippe, Issa. *Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrofitas*. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil, Universidad de Piura, Piura: Universidad de Piura, 2013.
- Morgan, Manuel, y Juan Sagastume. *Malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales: su control a través de procesos biotecnológicos*. México D.F: Ingeniería y Ciencias Ambientales, 1999.
- Moscoso, Julio. *Manual de buenas practicas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas*. Primera. Lima: Autoridad Nacional del Agua, 2016.

- MVCS. «Decreto Supremo N° 031-2008-VIVIENDA.» *Norma Técnica OS.090 - Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.* Lima, 2008.
- Norouzian, M.Y., Deloya, M.A. . *Estudio del Comportamiento de una Unidad de Biodiscos Estructuralmente Modificada.* México, 1985.
- Noyola, Adalberto, Juan Morgan, y Leono Güereca. *Selección de tecnologías de tratamiento de residuales municipales guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas.* Primera. México: Instituto de Ingeniería, 2013.
- OMS. *Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales agricultura y acuicultura.* Ginebra: Organización Mundial de la Salud Serie de informes técnicos; 778, 1989.
- OPS/CEPIS/05.163. «Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización.» *CEPIS.* 12 de Diciembre de 2005. http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf.
- OPS-COSUDE/01-07. *GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE SISTEMAS DE DESINFECCIÓN.* Lima, Perú, 2007.
- Quiroz, Miguel, y Luis Ferro. *"Eficiencia de la remoción de microorganismos patógenos (Escherichia Coli y Salmonella) respecto a la variación de tiempo de retención en el sistema DHS (Down Flow Hanging Sponge) de primera generación con recirculación.* LIMA, PERÚ, 2015.
- Radie B. Edward y Hardenberg. *Ingeniería Sanitaria Ed. Continental S.A de C.V.* México D.F , 1987.
- Rebeca, Landeau. *Elaboración de trabajos de investigación.* Caracas: Arte S.A., 2007.
- Rodríguez, J, C Garcia, y J Pardo. «Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales.» *Tecnura*, 2014: 149-164.
- Rojas, Rafael, y Luis Visurraga. «Tratamiento de aguas residuales con tecnología D.H.S. a escala piloto.» Tesis para Optar el Grado de Ingeniero Sanitario, Lima, Lima, 2012, 200.

- Romero, Jairo. *Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño*. Tercera. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004.
- Salazar, David, y Esteban Sánchez. *Evaluación y propuesta de rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Churuguzo, Parroquia Tarqui, Cantón Cuenca, Provincia del Azuay*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad de Cuenca, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2015.
- Salgado, Silvia; Herrera, Viviana; Fernández, Jacqueline; Benavides, José; Coto, Juana; Pérez, Cynthia;. «Tratamiento de aguas residuales con tecnologías alternativas en una pequeña comunidad.» 2003.
- Sunass. *Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución*. Lima: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2008.
- Tchobanoglous, George. *wastewater engineering : treatment reuse*. 2002.
- TO-ECOAG. *Eliminación de compuestos orgánicos en aguas residuales por electrocoagulación (EC)*. s.f.

ANEXOS

ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1 Medidor de caudal - canaleta Parshasll



Fotografía 2 Estructura de pre tratamiento automatizado no activo



Fotografía 3 Laguna anaerobia de la PTAR San José



Fotografía 4 Laguna facultativa de la PTAR San José



Fotografía 5 Canal de salida de la PTAR San José



Fotografía 6 Compuerta de salida de la PTAR San José



Fotografía 7 Compuerta de salida de la PTAR San José



Fotografía 8 Vista panorámica de las lagunas de la PTAR San José



ANEXO 2: FICHA DIARIA DE CONTROL OPERACIONAL PARA EL SISTEMA DE LAGUNAS AEROBIAS, FACULTATIVAS MADURACIÓN

Identificación de la laguna..... Fecha / /		Nombre del operador		
1. Acontecimiento		SI	NO	
Levantamiento de lodo en algún punto de la laguna. Manchas verdes en la superficie de la laguna: Aerobia Facultativa Maduración ... Manchas negras o cenicientas en la laguna facultativa Aparición de vegetales: en la laguna .. Evidencia de erosión en los taludes Alguna filtración visible Cercados en orden Presencia de insectos Presencia de aves Aguas lluvias con canales limpios Medidor de caudal en funcionamiento Malos olores				
2. Parámetros Físico – Químicos				
Parámetro	Hora			Observaciones
	07:00	12:00	17:00	
Altura de la lámina en el medidor de caudal (cm)				
Caudal (l/s)				
Temperatura (°C) *				
Del aire				
De las aguas residuales afluente				
centro de la laguna				
efluente				

Identificación de la laguna.....		Fecha / /		Nombre del operador	
Nivel de la lámina líquida en la laguna (m)					
pH afluente efluente					
Sólidos sedimentables (ml / l) en las aguas residuales brutas en el efluente de la 1ª célula					
OD, a 20 cm bajo la superficie líquida, Próximo al efluente de la laguna facultativa					
3. Condiciones meteorológicas (**)					
	Clasificación	Período		Observaciones	
		07:00 a 12:00	12:00 a 17:00		
Tiempo	Sol brillante Semi nublado, con nubes Nublado, sin sol				
Precipitaciones	Ausente Llovizna Lluvia moderada Lluvia fuerte				
Intensidad de los vientos	Nulo Poco viento Vientos moderados Vientos fuertes				