



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS  
BIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DEL DISTRITO DE SAN JOSÉ PROVINCIA DE  
AZÁNGARO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. REYNALDO AMILCAR APAZA MAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

A mis padres Cirila Marleni Mamani Ramos y Ricardo Apaza Vilca por todo el cariño, paciencia y el apoyo incondicional de querer hacer de mí una mejor persona.

A mis hermanas, Sonia, Emili, Flavia y Alioshca, quienes me apoyaron en todo momento a lo largo de mi vida.

A mi enamorada Yeni por todo su apoyo desde que nos conocimos.



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano por haberme brindado la oportunidad de pertenecer a su distinguida casa de estudios, lugar donde logre mi formación profesional.

A todos los ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por haberme brindado sus conocimientos durante mi formación académica.

A mis jurados, M.Sc. Mariano Roberto Garcia Loayza, D.Sc. Feliz Rojas Chahuares, Ing Nestor Eloy Gonzales Sucasaire; que, gracias a sus conocimientos, experiencias y sus sabios consejos para poder hacer de este trabajo una mejor versión.

A mi director de tesis Ing. Zenón Mellado Vargas, por las orientaciones, recomendaciones y la supervisión de la presente investigación y sobre todo la confianza brindada.

De igual forma agradezco también a aquellas personas que me apoyaron siempre, a mis compañeros y amigos de la EPIC, por compartir sus conocimientos, experiencias y anécdotas hacia mi persona.



## INDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**INDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 12**

**ABSTRACT..... 13**

### **CAPITULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 15**

**1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 16**

1.2.1 Problema general ..... 16

1.2.2 Problemas específicos ..... 16

**1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO ..... 17**

**1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 17**

1.4.1 Objetivo General..... 17

1.4.2 Objetivos Específicos ..... 17

### **CAPITULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 MARCO TEORICO ..... 19**

2.1.1 Antecedentes ..... 19

2.1.2 Marco Normativo..... 33

2.1.2.1 Ley N° 28611.- Ley General Del Ambiente ..... 33

2.1.2.2 D.S. N° 004-2017-MINAM: ECA para agua ..... 34

2.1.2.3 Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM ..... 36

2.1.3 Bases Teóricas ..... 37



2.1.3.1 Agua y Ciclo Hidrológico.....	37
2.1.3.2 Agua residual .....	39
2.1.3.3 Tipos de agua residual .....	40
2.1.3.4 Composición de las aguas residuales.....	40
2.1.3.5 Caracterización de aguas residuales .....	42
2.1.3.5.1 Características físicas del agua.....	42
2.3.1.5.2 Características químicas de las aguas .....	45
2.3.1.5.3 Características biológicas del agua .....	49
2.1.3.6 Plantas de tratamiento.....	50
2.1.3.7 Clasificación de los tratamientos .....	50
2.1.3.7.1 Tratamiento preliminar.....	52
2.1.3.7.2 Tratamiento primario. ....	53
2.1.3.7.3 Tratamiento secundario.....	54
2.1.3.7.4 Tratamiento Terciario.....	55
2.1.3.7.5 Desinfección.....	56
2.1.3.8 Tratamientos biológicos.....	57
2.1.3.8.1 Sistemas aerobios .....	58
2.1.3.8.2 Sistemas anaerobios .....	58
2.1.3.8.3 Sistemas anóxicos .....	58
2.1.3.8.4 Procesos biológicos anaerobios.....	59
2.1.3.8.5 Procesos biológicos aerobios .....	62
2.1.3.9 Filtros percoladores.....	64
2.1.3.9.1 Disposición física de los filtros percoladores .....	65
2.1.3.10 Niveles y procesos de tratamiento de aguas residuales.....	66
2.1.3.11 Humedales artificiales.....	69
<b>2.2 MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>73</b>
2.2.1 Tratamiento primario .....	73
2.2.2 Estandares de calidad ambiental .....	73
2.2.3 Sedimentacion.....	73
2.2.4 Limites máximos permisible.....	73



2.2.5	Medida de concentración en Aguas Residuales.....	74
2.2.6	Demanda bioquímica de oxígeno .....	74
2.2.7	Filtro percolador .....	74

### CAPITULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1</b>	<b>ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>75</b>
3.1.1	Ubicación del área de estudio .....	75
3.1.2	Accesibilidad al distrito de San José.....	75
3.1.3	Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José .....	76
3.1.3.1	Canal de entrada.....	76
3.1.3.2	Rejas de limpieza manual.....	76
3.1.3.3	Trampa de grasa .....	77
3.1.3.4	Sedimentadores .....	78
3.1.3.5	Filtro de arena y grava.....	80
3.1.3.6	Filtro percolador.....	81
3.1.3.7	Humedales artificiales.....	81
<b>3.2</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>82</b>
<b>3.3</b>	<b>METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>83</b>
3.3.1	Metodología para medición de caudales.....	83
3.3.2	Metodología para el muestreo de aguas residuales.....	83
3.3.3	Ensayos realizados:.....	85
3.3.4	Operacionalización de variables: .....	87

### CAPITULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1</b>	<b>RESULTADOS DE LOS MUESTREOS.....</b>	<b>88</b>
4.1.1	Procesamiento de datos a la entrada y salida de cada componente .....	92
4.1.1.1	Evaluación de la eficiencia de la cámara de rejas .....	92
4.1.1.2	Evaluación de la eficiencia de la trampa de grasas .....	96
4.1.1.3	Evaluación de la eficiencia del sedimentador primario 1 .....	98



4.1.1.4 Evaluación de la eficiencia del sedimentador primario 2 .....	101
4.1.1.5 Evaluación de la eficiencia del filtro de arena y grava .....	103
4.1.1.7 Evaluación de la eficiencia del filtro percolador.....	104
4.1.1.8 Evaluación de la eficiencia de los humedales artificiales .....	105
4.1.1.9 Comparación con los límites máximos permisibles.....	106
4.1.1.10 Comparación con los estándares de calidad ambiental para riego .....	107
4.1.1.11 Evaluación de la eficiencia de los tratamientos biológicos.....	108
<b>4.2 DISCUSIÓN .....</b>	<b>109</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>116</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>118</b>
<b>VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>127</b>

**TEMA:** Tratamiento de Aguas Residuales

**ÁREA :** Hidráulica

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Hidráulica y Medio Ambiente

**FECHA DE SUSTENTACION: 24 DE JUNIO DEL 2021**



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de las aguas residuales domesticas.....	41
Figura 2. Diagrama de operación típico de un filtro percolador.....	64
Figura 3. Humedal artificial de flujo superficial.....	71
Figura 4. Canal de entrada .....	76
Figura 5. Cámara de rejas .....	77
Figura 6. Trampa de grasas.....	78
Figura 7. Sedimentador 1 .....	79
Figura 8. Sedimentador 2.....	79
Figura 9. Filtros de arena y grava .....	80
Figura 10. Filtro percolador .....	81
Figura 11. Humedales artificiales .....	82
Figura 12. Toma de muestras en la salida del sedimentador 1 .....	84
Figura 13. Toma de muestra en la salida del filtro percolador .....	85
Figura 14. Toma de muestras en la salida de la cámara de rejas .....	85
Figura 15. PTAR San José.....	86
Figura 16. Esquema de la PTAR y puntos de muestreo .....	89
Figura 17. Remoción de aceites y grasas en la cámara de rejas .....	93
Figura 18. Remocion de DBO <sub>5</sub> en la camara de rejas .....	93
Figura 19. Remoción de DQO en la cámara de rejas.....	94
Figura 20. Remoción de SST en la cámara de rejas .....	94
Figura 21. Remoción de coliformes termotolerantes en la cámara de rejas .....	95
Figura 22. Remoción de aceites y grasas en la trampa de grasas .....	97
Figura 23. Remoción de DBO <sub>5</sub> en la trampa de grasas .....	97
Figura 24. Remoción de DQO en la trampa de grasas.....	98



Figura 25. Remoción de DBO <sub>5</sub> en el sedimentador 1 .....	99
Figura 26. Remoción de DQO en el sedimentador 1 .....	100
Figura 27. Remoción de SST en el sedimentador 1 .....	100
Figura 28. Remoción de DBO <sub>5</sub> en el sedimentador 2 .....	102
Figura 29. Remoción de DQO en el sedimentador 2 .....	102
Figura 30. Remoción de SST en el sedimentador 2 .....	103



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites Máximos Permisibles para efluentes De PTAR .....	37
Tabla 2 Tipos de agua residual .....	40
Tabla 3 Composición típica del agua residual domestica bruta.....	42
Tabla 4 Clasificación de los tratamientos .....	51
Tabla 5 Nivel, descripción y tipo de unidad de estructura de tratamiento.....	67
Tabla 6 Rendimientos medios de depuración en función del tipo de tratamiento .....	68
Tabla 7 Eficiencia en la remoción de constituyentes.....	68
Tabla 8 Contaminantes en el tratamiento de las aguas residuales .....	72
Tabla 9 Vías de acceso al distrito de San José.....	75
Tabla 10 Medición de caudales .....	83
Tabla 11 Operacionalización de variables .....	87
Tabla 12 Análisis físico, químico y bacteriológico de la muestra N°1.....	90
Tabla 13 Análisis físico, químico y bacteriológico de la muestra N°2.....	91
Tabla 14 Análisis físico, químico y bacteriológico de la muestra N°3.....	91
Tabla 15 Evaluación de la eficiencia de la cámara de rejillas.....	92
Tabla 16 Evaluación de la eficiencia de la trampa de grasas.....	96
Tabla 17 Evaluación de la eficiencia del sedimentador primario 1 .....	99
Tabla 18 Evaluación de la eficiencia del sedimentador primario 2 .....	101
Tabla 19 Evaluación de la eficiencia del filtro de arena y grava .....	104
Tabla 20 Evaluación de la eficiencia del filtro percolador .....	105
Tabla 21 Evaluación de la eficiencia de los humedales artificiales.....	106
Tabla 22 Comparación del efluente con los LMP .....	107
Tabla 23 Comparación del efluente con los ECA.....	108
Tabla 24 Eficiencia de los tratamientos biológicos de la PTAR San José .....	109



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ECA	: Estándares de calidad ambiental
LMP	: Límites máximos permisibles
PTAR	: Planta de tratamiento de aguas residuales
DBO	: Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	: Demanda química de oxígeno
SST	: Sólidos totales en suspensión



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado: “Evaluación de la eficiencia de los tratamientos biológicos en la planta de tratamiento del distrito de San José provincia de Azángaro”, tiene como objetivo evaluar la eficiencia de los tratamientos biológicos en la remoción de contaminantes de la planta de tratamiento del distrito de San José. El tipo de investigación es aplicativo, diseño no experimental debido a que no se manipula ninguna variable. Para obtener la información requerida se tomaron muestras en el ingreso a la cámara de rejillas (afluente), salida de la cámara de rejillas, salida de la trampa de grasas, salida del sedimentador 1, salida del sedimentador 2, salida de los filtros de arena y grava, salida de los filtros percoladores y salida de los humedales artificiales (efluente), se realizó el análisis físico químico y bacteriológico de los parámetros establecidos por D.S. N° 003-2010-MINAM, estos son: aceites y grasas, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO), potencial de hidrogeno (pH), sólidos totales en suspensión, temperatura. Los resultados obtenidos muestran que los tratamientos biológicos remueven en un 94.4% aceites y grasas, 34.71% en DBO, 34.32% en DQO, 34.02% en sólidos totales en suspensión y 99.11% en coliformes termotolerantes. Las conclusiones a las que se llegó son que la planta de tratamiento del distrito de San José tiene mayor eficiencia en la remoción de aceites y grasas y coliformes termotolerantes, y menor eficiencia en cuanto a DBO y DQO, esto debido a que la eficiencia del filtro percolador es la más baja de todo el sistema de tratamiento.

**Palabras Clave:** filtro percolador, remoción de contaminantes, tratamientos biológicos.



## ABSTRACT

This research work entitled: "Evaluation of the efficiency of biological treatments in the treatment plant of the district of San José province of Azángaro.", aims to evaluate the efficiency of biological treatments in the removal of contaminants from the plant of treatment of the district of San José. The type of research is applicative, non-experimental design because no variable is manipulated. To obtain the required information, samples of residual water were taken at the entrance and exit of each component of the treatment plant, a physical chemical and bacteriological analysis of the parameters established by D.S. N° 003-2010-MINAM, these are: oils and fats, thermotolerant coliforms, biochemical oxygen demand (DBO<sub>5</sub>), chemical oxygen demand (DQO), hydrogen potential (pH), total suspended solids, temperature. The results obtained show that biological treatments removes 94.4% oils and fats, 34.71% in DBO<sub>5</sub>, 34.32% in DQO, 34.02% in total suspended solids and 99.11% in thermotolerant coliforms, the conclusions reached are that this type of Treatment is efficient to remove total suspended oils and fats and solids but not for DBO and DQO, this is because the efficiency of the percolator filter is the lowest of the entire treatment system.

**Keywords:** percolator filter, removal of contaminants, biological treatments.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento biológico de aguas residuales supone la remoción de contaminantes mediante actividad biológica, que se aprovecha para remover principalmente sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, del agua residual mediante su conversión en gases que escapan a la atmosfera y en biomasa extraíble mediante sedimentación. Uno de los tratamientos biológicos más utilizados es el filtro percolador el cual consiste de un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual. El agua residual percola en forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo. La investigación de este trabajo se realizó por el interés de conocer la eficiencia de los tratamientos biológicos en la remoción de contaminantes. Esto permitió identificar que componentes del tren de tratamiento, son más eficientes.

Para un adecuado entendimiento la presente tesis está organizada en función de siete capítulos. El Capítulo I: Introducción, en el cual se aborda los aspectos básicos de la investigación como el planteamiento del problema, formulación del problema, la justificación y los objetivos.

El Capítulo II: Revisión de la literatura, donde se incluyen, antecedentes, marco normativo y marco teórico, donde se describe conceptos generales de los tratamientos biológicos y sus variantes en relación al tema de investigación.

El Capítulo III: Materiales y Métodos, donde se detalla las características de los materiales empleados y el procedimiento utilizado para obtener los resultados de la investigación.

El Capítulo IV: Resultados y discusión, donde se detalla los resultados obtenidos de cada una de las pruebas realizadas en laboratorio y su interpretación.



Capítulo V: Conclusiones, donde se muestran las conclusiones a las que se llegó en la investigación.

Capítulo VI: Recomendaciones, donde se da informe sobre las recomendaciones para ampliar en un futuro la investigación.

Capítulo VII: Bibliografía: donde se describen los textos consultados, artículos y normas.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el año 2007, inicia a operar la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José, que utiliza tratamientos biológicos, según CARE (2009) las plantas de tratamiento de aguas residuales de los distritos de San José y José Domingo Choquehuanca de la provincia de Azángaro, son las primeras de este tipo en la región de Puno y se construyeron como plantas piloto, las mismas que fueron construidas con el propósito de mejorar la cobertura intradomiciliaria de alcantarillado y evitar la contaminación ambiental; sin embargo la Autoridad Nacional del Agua a través de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, notifica con R.D. N°099-2013-ANA-DGCRH, a la municipalidad distrital de San José, declarando en abandono el procedimiento administrativo sobre autorización de vertimiento de aguas residuales, a la fecha el efluente tratado de esta planta de tratamiento de aguas residuales es utilizado para riego de pastizales, es por esta razón que se necesita una evaluación de la eficiencia de esta planta de tratamiento de tipo biológico; actualmente esta planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con; cámara de rejas, trampa de grasas, sedimentadores, filtro de arena y grava, filtros percoladores y humedales artificiales, todas estas componentes, no cuentan con una evaluación de ningún tipo, y tampoco existen investigaciones del porque este tren de tratamiento viene siendo utilizado en diferentes distritos de



nuestra región, también se desconoce la eficiencia de remoción de contaminantes de cada componente, si esto persiste se seguirá construyendo plantas de este tipo sin saber el % de remoción de contaminantes de estos tipos de tratamiento biológico, es por esto que se necesita realizar una evaluación a cada una de dichas componentes para saber el grado de eficiencia de cada una de estas, en los últimos años el cumplimiento de la calidad de tratamiento de aguas residuales se viene dejando de lado, debido al descuido de la municipalidad, esto debido al desconocimiento, falta de capacitación o cambio de autoridades, por ende se necesita realizar una evaluación a los parámetros del efluente para ver si cumplen con los límites máximos permisibles y los estándares de calidad ambiental, también se desconoce la eficiencia en la remoción de contaminantes de los tratamientos biológicos, utilizados en el distrito de San José, es por eso que se requiere una evaluación a la planta de tratamiento previo a su descarga.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuál es la eficiencia de los tratamientos biológicos en la remoción de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José, Provincia de Azángaro?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál es la eficiencia de cada componente de la planta de tratamiento de aguas residuales en la remoción de contaminantes en el distrito de San José, provincia de Azángaro?
- ¿Qué parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales cumplen con los límites máximos permisibles?



- ¿Qué parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales cumplen con los estándares de calidad ambiental para riego?

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

La presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar la eficiencia de los tratamientos biológicos en la remoción de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales y de cada una de las componentes que comprende, los resultados obtenidos en este trabajo permitieron identificar los factores que afectan al funcionamiento y servirá como base para futuras investigaciones de naturaleza similar porque en la región de Puno no se tiene investigaciones acerca de este tipo de plantas que utilizan tratamientos biológicos.

La investigación realizada permitió verificar si el agua tratada cumple con los límites máximos permisibles (LMP) y los estándares de calidad ambiental (ECA).

En el aspecto social, se pretende informar a la población del distrito de San José, sobre la calidad del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

En el aspecto ambiental, concientización de los efectos perjudiciales para el medio ambiente del efluente en el distrito de San José.

### **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluar la eficiencia de los tratamientos biológicos en la remoción de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José, provincia de Azángaro.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar la eficiencia de cada componente de la planta de tratamiento en la remoción de contaminantes en el distrito de San José, provincia de Azángaro.



- Comparar los parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales con los límites máximos permisibles.
- Comparar los parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales con los estándares de calidad ambiental para riego



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 MARCO TEORICO

##### 2.1.1 Antecedentes

Lavagnino (2016) en su trabajo de tesis, tiene como objetivo evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, para esto se tomaron muestras de agua en cada fase del sistema para analizar los siguientes parámetros: demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), nitrógeno total, fósforo total y sólidos totales en suspensión. Luego del estudio realizado concluye que el sistema de tratamiento de aguas residuales de la planta, lograr una remoción del 60% de los parámetros sanitarios de calidad de DBO<sub>5</sub>, DQO y solidos suspendidos, tiene un desempeño intermedio, y reduce en un término intermedio, la carga contaminante del cuerpo receptor llamado río Contreras. Con respecto a las variables de nitrógeno total y fósforo total es considerablemente baja la remoción de estos dos parámetros, por lo que las aguas que se liberan al rio tienen una carga alta en nutrientes, pudiendo colaborar en la eutrofización de este sistema de agua.

Ramires (2012) tiene como objetivo determinar la eficiencia en la remoción de la materia orgánica, medida como la demanda biológica de oxígeno, DBO<sub>5</sub>, de cada etapa del filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales de la USAC. Para esto, se determinó el caudal de agua residual, demanda biológica de oxígeno, DBO<sub>5</sub>, la demanda química de oxígeno, DQO, sólidos suspendidos, la temperatura y el pH, en los efluentes de cada una de las unidades de tratamiento; afluente, sedimentador primario, filtro percolador (etapas I, II y III), sedimentador secundario. El caudal de 7 l/s, de agua residual generada en la Universidad, posee



características propias de las de origen domésticos y similar a las reportadas para otras universidades. En cuanto a las eficiencias obtenidas, de forma global e inesperada, la primera unidad de tratamiento o sedimentador primario alcanza en promedio un 63.09%. y el filtro percolador un 32.62%. Al considerar solamente al filtro percolador, la etapa I alcanza una eficiencia promedio del 71.71%, la etapa II del 25.08% y etapa III del 3.97%. La evaluación preliminar de la granulometría del medio filtrante en el filtro percolador, muestra que los tamaños efectivos para las etapas I, II y III son 12.5, 12.3 y 10.5 cm, respectivamente, siendo valores superiores a los conocidos para cada etapa. El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales cumple con los parámetros establecidos en el acuerdo gubernativo 236-2006, vigentes hasta el año 2020. Por lo cual debe analizarse entre el reuso del efluente en actividades permitidas o un tratamiento terciario para la remoción de nutrientes (nitrógeno).

Barrera et al (2018) realizó una evaluación técnica del filtro biológico de la Universidad Tecnológica de Panamá, campus Víctor Levi Sasso, el cual es un sistema que se desarrolla de manera aerobia y anaerobia para la depuración de aguas residuales, el medio filtrante del filtro biológico consiste en piedras (canto rodado específicamente), el objetivo principal de esta investigación fue determinar la eficiencia del sistema de tratamiento por filtro percolador. La metodología usada fue la de evaluar las características fisicoquímicas del agua residual tratada actualmente por este sistema de tratamiento secundario, evaluando parámetros tales como; DBO<sub>5</sub>, DQO y microorganismos. Los resultados de remoción de DQO para el sistema alcanzaron como valor promedio de eficiencia de remoción un 18.99%, para la DBO<sub>5</sub> se obtuvo un promedio de porcentaje de eficiencia de remoción de 16.95%. La conclusión a la que se llegó fue que el nivel de eficiencia del sistema



de depuración según resultados es muy baja con respecto a lo recomendado, las fallas en su mayoría se deben a la falta de mantenimiento de sistemas de distribución y medio filtrante durante toda su vida útil.

Amezquita & Bejarano (2018) en su investigación evaluó la planta depuradora de aguas servidas del municipales de Gachancipa, proponiéndose como objetivo diagnosticar por un análisis técnico la operación unitaria de los componentes de la PTAR Gachancipa. Para esta determinación recorrió las infraestructuras con el acompañamiento de un profesional, identificando como parte de la depuración secundaria del sistema de tratamiento los filtros percoladores de sección circular con sistemas de distribución de brazos móviles y compuesto de lecho filtrante de material sintético, para la determinación de la eficiencia de remoción de los filtros utilizo métodos analíticos normalizados para análisis de agua residual. Los resultados que obtuvo referente a la eficiencia de remoción en el filtro percolador fue del 80,3% con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>). Llego a concluir que el sistema de tratamiento mediante filtro percolador en la PTAR Gachancipa no está siendo operado a su máximo potencial por la omisión de labores de control y mantenimiento a falta de un personal capacitado.

De Leon (2017) en su trabajo de investigación, realizó la evaluación técnica y la propuesta de mejora de los filtros percoladores en la planta de tratamiento de aguas residuales en la Universidad Rafael Landivar, el cual tiene por objetivo principal de este estudio la evaluación técnica del agua residual actual, realizando un análisis fisicoquímico y verificando la calidad del agua. Para ello, se tomó una muestra de agua residual en el canal de unificación a la salida del filtro percolador. Esto también conllevó a revisar si actualmente se realizaba correctamente la operación y mantenimiento en el sistema. Se determinó el caudal de entrada y salida



del filtro percolador en horarios máximos y mínimos. También se verificaron los datos de la memoria de diseño del filtro percolador para realizar comparaciones en campo. De igual manera, se determinó el área de mojado actual en el filtro percolador el cual tiene un área de  $53.1 \text{ m}^2$ , lo cual equivale al 32.78%. Posteriormente, se tomó una muestra para realizar un análisis fisicoquímico en el laboratorio de agua de la Unidad ejecutora del programa de acueductos rurales de la colonia La Verbena (UNEPAR) y los resultados para demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), nitrógeno total, fósforo total, sólidos en suspensión y aceites - grasas fueron 180, 420, 96, 10, 130 y 2 mg/l, respectivamente. A lo largo del trabajo se pudo concluir que la PTAR de la URL, campus central, trabaja cumpliendo con los estándares de calidad del agua, mejorando la operación con respecto a la alternación de las válvulas de caudal hacia los ramales de los filtros percoladores, se pudo aumentar el área de mojado a un 72.88% de un solo filtro.

Jaramillo & Jesús (2018) en su trabajo de tesis tiene como objetivo evaluar la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Santa Lucía –Morales. Se diseñó y construyó el sistema de filtros. La geometría de estos fue prismática con bases hexagonales regulares de 0.14 m de lado, caras laterales rectangulares de 1.30 m de altura y 0.14 m de ancho. El material de construcción fue vidrio de 6 mm en las paredes y 8 mm en la base. La muestra está representada por el agua residual doméstica proveniente de un biodigestor. Se midió los parámetros  $\text{DBO}_5$ , DQO, T, pH y SST. Las mediciones se realizaron al inicio, a los 15, 30 y 40 días que duró el ensayo. El diámetro de cada filtro fue 0.28 m, el área de  $0.051 \text{ m}^2$  y el volumen de  $0.066 \text{ m}^3$ . Al finalizar el proceso, todos los parámetros cumplieron el LMP. La



eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales con dos filtros percoladores en serie, al final del ensayo (40 días) fue de 98.12%, 96.36% y 95.76% para DBO<sub>5</sub>, DQO y SST, respectivamente. Se concluye que el tratamiento de aguas residuales domésticas con filtros percoladores es eficiente en la remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST.

Jaramillo-Gallego & Agudelo-Cadavid (2016) en su investigación tiene por objetivo optimizar un sistema de tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores, con el fin de mejorar la eficiencia en la remoción de los contaminantes, usando humedales construidos de flujo subsuperficial-horizontal, para esto se realizó un estudio de tipo exploratorio experimental en dos etapas, en la primera se efectuó el acondicionamiento fisicoquímico y biológico del sistema de tratamiento, en la segunda, se llevó a cabo el seguimiento de la remoción de los contaminantes durante nueve meses, para lo cual se monitoreó la demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno, sólidos totales, sólidos suspendidos totales, pH y oxígeno disuelto. Los resultados fueron que se logró mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento en 7,1% para la Demanda biológica de oxígeno, 4,1% Demanda química de oxígeno, 56,9% sólidos totales y 117,2% solidos suspendidos totales y finalmente se concluyó que la concentración de DQO disminuyó con el tratamiento primario (Precipitación y oxidación química) y favoreció la eficiencia del sistema de tratamiento secundario, dado que las aguas a tratar tenían valores muy altos de DQO que pueden saturar los humedales con contaminantes persistentes. Se podrían obtener mayores eficiencias, si se logra mejorar el sistema de tratamiento primario.

Chuchon & Aybar (2008) en su investigación tienen por objetivo determinar la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales (BCF) y la demanda



bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “La Totora” de la ciudad de Ayacucho. Los análisis se realizaron en el laboratorio de Microbiología de la misma planta; donde se analizaron 70 muestras de agua. Para la cuantificación de la población de BCF, se aplicó la técnica de tubos múltiples de fermentación (NMP); y el método respirométrico para determinar la  $DBO_5$ . Los resultados obtenidos para la capacidad de remoción de BCF de la PTAR “La Totora” fue del 99.9850%, evacuando efluentes con una cantidad en promedio de  $1.29 \times 10^5$  NMP/100 ml, concluyendo que es deficiente, pues para alcanzar una cantidad promedio de  $<103$  NMP/100 ml de BCF, se requiere que la PTAR tenga una capacidad de remoción del orden del 99.9999%; en tanto que la remoción de la  $DBO_5$  fue de 86.2%, evacuando efluentes con 46.35 mg/l, proceso deficiente en relación a lo estipulado por la Ley General de Aguas D.L. 17752 para aguas de clase III, que establece una concentración máxima de 15 mg/l que para alcanzar esta concentración sería necesario una remoción del orden del 95.5947%.

Blas (2018) en su tesis denominada “Determinación y mejoramiento de la eficiencia del sistema de tanque séptico y filtro biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Jivia – departamento de Huánuco”. Tiene como objetivo solucionar el problema de funcionamiento parcial de tanque séptico y no funcionamiento de filtro percolador, para lo que ha sido diseñado y construido, por ello se hizo funcionar el sistema con la construcción de un tratamiento preliminar y con la mejora del filtro percolador, la limpieza y mantenimiento. Además, es importante conocer la configuración de los componentes, que tan eficiente son en la remoción de sólidos totales en suspensión y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de agua residual de la localidad de Jivia, para su correspondiente análisis en el laboratorio de la UNASAM, se realizó la



caracterización del agua residual. Así como también de las unidades de tanque séptico y filtro percolador, después de la mejora, limpieza y mantenimiento de los componentes de la planta de tratamiento, se funcionan correctamente; y para cumplir los objetivos de la investigación se determinó el análisis en el laboratorio, obteniendo los resultados favorables de la remoción de las concentraciones de la materia orgánica de 241 mg/l a 98 mg/l de DBO<sub>5</sub> y 312 mg/l a 31 mg/l de SST, para el vertimiento de efluentes de las plantas de tratamiento de agua residual a cuerpos receptoras como indica según el límite máximo permisible. Se llega a concluir la configuración del sistema de tratamiento funciona correctamente y remueve los parámetros analizados, por esta razón se puede implementar este tipo de sistemas de tratamiento de aguas residuales para las zonas rurales en el departamento de Huánuco.

Fernández (2018) en su trabajo de investigación tiene por principal objetivo evaluar, diagnosticar y proponer una mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Tambo Real Nuevo, para ello la presente estuvo regido bajo el tipo de investigación aplicada, con un enfoque pre-experimental. Se contó con una población, la cual estuvo conformada por 1854 habitantes de la zona, posterior a ello se aplicaron a los mismos técnicas e instrumentos de recolección de datos, teniendo como técnica la encuesta y como instrumento de recolección de datos se utilizó el cuestionario, el cual permitió observar y conocer a grandes rasgos sobre la percepción de la población encuestada respecto a la infraestructura de la PTAR aguas residuales. Finalmente se llegó a la conclusión que no existe una adecuada cámara de rejas para evitar el ingreso de los sedimentos ajenos a las aguas residuales, aunado a ello se tiene un pequeño desarenador trapezoidal en el ingreso de la planta de tratamiento, el cual no es suficiente para el caudal entrante; respecto



a la determinación las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas residuales, los parámetros no cumplen con LMP que indica la normativa vigente, por último dentro de nuestras propuestas de mejoramiento se optó por la primera alternativa porque cuenta con un sistema de tratamiento eficiente.

Vargas (2015) en su trabajo de investigación tiene como objetivo utilizar la eichhornia crassipes y lemna minor en la remoción de parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba, con este trabajo se buscó mejorar la calidad de la quebrada ya que es usada como cuerpo receptor de aguas residuales domésticas y por lo tanto se encuentra contaminada. Para el desarrollo de la investigación se optó por usar el sistema por tandas, el cual consistió en instalar dos tanques de vidrio de 72 L de agua residual doméstica cada una para su posterior tratamiento con las macrófitas. Después de todo el trabajo realizado, se concluyó que la eichhornia crassipes es más eficiente en la remoción de parámetros, ya que se encuentra muy por debajo de los valores que arrojó la lemna minor la cual también fue eficiente en menor grado.

Callata (2014) en su investigación realizó la evaluación y propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani, con la cual se pretende contribuir en la eficiencia, mejora y puesta en operatividad del sistema de tratamiento utilizado. La metodología aplicada se basa en la identificación del sistema, diagnóstico, registro histórico de datos de campo, frecuencia de muestreo procesamiento y análisis de parámetros analizados, evaluación de resultados y propuesta de mejoramiento del efluente. Se concluye que el sistema no está trabajando eficientemente ya que su eficiencia de remoción es baja. La eficiencia de tratamiento del sistema mediante los parámetros evaluados son: DBO<sub>5</sub> 80.59%, DQO 80.59%, Aceites y Grasas se mantiene 0.012 mg/L, sólidos totales en



suspensión 7.77%. También se determinó la eficiencia de remoción de coliformes totales 55.14% y coliformes fecales 41.93%.

Arocutipa (2013) realizó su trabajo de investigación en la localidad de Massiapo distrito de Alto Inambari provincia de Sandia. El objetivo planteado en la investigación es evaluar cómo influyen los parámetros físicos, químicos y biológicos en la calidad de aguas residuales de la laguna de estabilización y plantear mediante una propuesta técnica de una planta de tratamiento de aguas residuales con la finalidad de reducir la contaminación causada por efecto de las descargas de las aguas residuales, que son vertidos directamente al cuerpo receptor. El proceso metodológico que se ha planteado es realizar evaluaciones, identificación y la obtención de datos y muestreo en diferentes puntos del sistema, y luego se procedido a nivel de laboratorios, para su análisis y se han obtenido resultados de las muestras de los Sigüientes parámetros, DBO<sub>5</sub> es de 429 mg/l. afluente y 276 mg/l. en el efluente, y la DQO, son de 904 mg/l. en el afluente y 620 mg/l. en el efluente, al comparar los valores determinados en el efluente con los LMP (límites máximos permisibles) establecidos en el D.S.003-2010-MINAM, se establece que el nivel de contaminación es alto ya que los contaminantes potenciales (DBO<sub>5</sub>, DQO). Superan los LMP en más del doble, contaminando y afectando de esta manera la vida acuática existente en el rio Inambari, con lo cual el agua residual del efluente no cumple con los LMP para poder ser vertidos al cuerpo receptor. Se concluye que, se ha determinado los aspectos causantes de dicho problema, estas causas se han analizado los efectos que ellos producen, y por otro lado la contaminación del medio ambiente, lo que originan una deficiente calidad de vida de la población. Con el cual se pretende plantear una propuesta técnica de una planta de tratamiento de aguas residuales, las que permitan contrarrestar los impactos



negativos en la salud y el ambiente generados por el inadecuado funcionamiento de la laguna de estabilización

Mamani Y. (2017) el cual realiza la evaluación de la operatividad y rediseño de la laguna de estabilización del distrito de Ilave cuyo objetivo era cumplir con las exigencias necesarias y requeridas por las normas para el vertimiento de las aguas residuales, tratadas por la PTAR, indica también que la eficiencia del sistema de Lagunas es de 7.903% por lo que plantea un tren de tratamiento que consta de: cámara de rejas, desarenador, medidor de caudal del tipo parshall, canal partidor de caudal, estructuras de entrada y salida de las lagunas, batería de lagunas de tipo facultativo puestas en paralelo seguida de una laguna de pulimiento o de maduración que funcionara en serie. Con este tren de tratamiento planteado se obtuvo una eficiencia alcanzada, de: eficiencia =85.242% (en términos de  $DBO_5$ ), y eficiencia=99.69% (en términos de coliformes fecales), por lo tanto, el tren de tratamiento propuesto, garantiza ampliamente el cumplimiento de las normas y parámetros que indican las normas actuales.

Mamani C. (2018) en su investigación realizo una evaluación a la planta de tratamiento de aguas residuales, de la municipalidad provincial de Yunguyo, para lo cual se estableció 4 puntos de monitoreo que indican los reportes anuales a partir del 2014 al 2018 para evaluar la calidad del agua que recibe el cuerpo de agua que es el lago Titicaca, esto con el propósito de establecer la importancia del adecuado tratamiento que se le da en la planta de tratamiento, adicionalmente el manejo adecuado que se debería de tener sobre la misma. La metodología aplicada para evaluación de la carga contaminante generado por la población de la municipalidad es mediante la medición del caudal que se registra los datos en campo, en la frecuencia de muestreo, en el procesamiento y análisis de parámetros analizados y



en la evaluación de resultados. La cual nos permite determinar el estado actual en cuanto al comportamiento operacional y a eficiencia operacional de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se determinó que el sistema está trabajando eficientemente. Por otro lado los parámetros físico químicos y microbiológicos evaluados cumplen con los valores de los límites máximos permisibles de efluente de plantas de tratamiento de aguas residuales pero el  $DBO_5$  es de 78 mg/ L en el afluente y DQO reporta valores 130 mg/ L en el efluente esto nos indica que no cumplen con los estándares de calidad ambiental del agua Categoría 3 del anexo B de los estándares de calidad ambiental, el valor obtenido en el rio Pichipa y bahía de Yunguyo nos indica que el  $DBO_5$  no se encuentra dentro de los límites máximos permisibles, lo que indica que la materia orgánica es degradada por los microorganismos y ocasiona que se consuma el oxígeno, lo que podría provocar la desaparición de la fauna acuática. En cambio, la bahía de Yunguyo tiene un pH de 8.5 que tiende a ser alcalino evidenciando el deterioro de la calidad del agua en esta bahía.

Paricahua (2018) en su trabajo de investigación tiene como principal objetivo evaluar la operatividad de la PTAR de la ciudad de Ayaviri, desde su funcionamiento con respecto a la eliminación de contaminante, así como también su operación y mantenimiento para la cual, se realizó recolección de datos en campo, se continuo con la extracción de muestras, para tener resultados y compararlos con las normas y estándares establecidos. Así también se realizó una descripción y análisis, de cada componente del tren de tratamiento existente, para ver si se está realizando una operación y mantenimiento óptimo, cumpliéndose con lo requerido y establecido en las normas peruanas, y así cumplir con la reducción de contaminación que causa el sistema actual de tratamiento. Para su mejora y ha



fin que cumpla los parámetros límites máximos permisibles y estándares de calidad ambientales. De la evaluación de parámetros físico-químico y microbiológico, según muestreo realizado, se tiene los siguientes resultados de análisis de laboratorio, los cuales son comparados con los LMPs. El DBO<sub>5</sub> en el ingreso fue de 184.57 mg/l y en la salida es de 67.58 mg/l, siendo el LMP de 100 mg/l cuyo parámetro cumple; el DQO, en el ingreso es 420,43 y en la salida es 184.57 mg/l, siendo el LMP de 200 mg/l, cuyo parámetro cumple; de los sólidos totales en suspensión, en el ingreso tiene 218.14 mg/l y en la salida 132.43 mg/l, siendo el LMP de 150 mg/l. se verifica que es muy cercano a los LMPs y cumple; se tiene coliformes termotolerantes, al ingreso una concentración de 1.08E+08 y a la salida una concentración 1.5E+06 NMP/100 ml, siendo el LMP de 1.0E+04, cuyo resultado no cumple; con respecto al pH, se tiene 7.42 al ingreso y 7.43 a la salida, siendo el LMP entre 6.5 y 8.5, el cual también cumple; y como último parámetro importante a considerar, se tiene aceites y grasas, donde al ingreso se tiene 24.25 mg/l y en la salida 13.56, siendo su LMP 20 mg/l, cumpliendo con el parámetro establecido en DS N°003-2010-MINAM, por lo tanto se puede indicar que de todos los parámetros evaluados la mayoría de ellos cumplen con lo establecido con excepción de los coliformes termotolerantes, el cual se soluciona, planteándose la caca de dosificación de cloración, como bien se sabe el cloro es un agente muy efectivo, para la eliminación de patógenos. Se concluye que la PTAR de la localidad de Ayaviri vierte un efluente parcialmente tratado que cumple con la norma vigente que son LMP y ECA, según la evaluación realizada.

Juarez (2019) en su investigación tiene como objetivo evaluar y analizar la capacidad de remoción de tres filtros percoladores con idénticas características y funciones de la planta de depuradora de aguas servidas de la ciudad de Sandia. El



proyecto se enfocó en dos puntos que son: determinar las características de los filtros y analizar la eficiencia de remoción de los filtros percoladores analizando en laboratorio los parámetros la demanda bioquímica oxígeno ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO), y coliformes termotolerantes (CT) en el fluente de los filtros percoladores, y el efluente de los filtros percoladores para el cual se establecieron 4 puntos de monitoreo; punto 1 (afluente de los filtros percoladores), punto 2 (efluente del filtro percolador N° 01), punto 3 (efluente del filtro N°02), punto 4 (efluente del filtro N°03). Una vez elaborado el trabajo de campo y el laboratorio se proporcionaron representaciones comparativas, para demostrar el porcentaje de la eficacia de remoción de cada uno de los filtros. Se determinó en cuanto a la  $DBO_5$  una remoción de; 46.01% en el filtro percolador N° 01, 30.90% en el filtro percolador N° 02 y 39.98% en el filtro percolador N° 03. Respecto a la demanda química de oxígeno (DQO) se logró una remoción de; 67.54% en el filtro percolador N° 01, 57.88% en el filtro percolador N° 02 y 63.62% en el filtro percolador N° 03. Respecto a la remoción de los coliformes termotolerante (CT) se logró una remoción de; 99.54% en el filtro percolador N° 01, 86% en el filtro percolador N° 02 y 90.49% en el filtro percolador N° 03. De los resultados conseguidos para cada parámetro, se comprobó que no se consigue una remoción esperada para cada filtro, teniendo en cuenta que los filtros tienen las mismas características en teoría deberían alcanzar una remoción uniforme, pero en la práctica hay una gran diferencia, encontrándose una mayor remoción de los parámetros analizados en el filtro N° 01, seguido por el filtro N° 3 y encontrándose una menor remoción en el filtro N°02, de los resultados obtenidos se concluye que los dimensionamientos de la estructura y las remociones están por debajo de las eficiencias de remoción que deberían tener los filtros percoladores en tratamiento



secundario de las aguas servidas que está indicado por el Reglamento Nacional de Edificaciones OS 090, excepto con uno de los para metros coliformes termotolerantes es removido solo en el filtro N°01.

Cuba (2019) en su investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de carga orgánica y patógena de los sedimentadores y filtros verticales, el trabajo se justificó porque posee valor teórico, utilidad práctica, y de relevancia. Se sustenta en las diversas teorías sobre eficiencias de remoción en tratamientos secundarios con unidades similares. La investigación se aborda de acuerdo al tipo de estudio descriptivo, con la aplicación de un diseño de investigación descriptivo diagnóstico donde la población y muestra estuvo dado por las aguas residuales, se consideraron 06 puntos de muestreo. La técnica de investigación empleada fue la observación y análisis donde se determinó la eficiencia de remoción de la carga orgánica y patógena de los sedimentadores y filtros verticales, para el registro de información se usaron fichas de registro de campo. La demanda bioquímica de oxígeno se determinó mediante el método winckler y los coliformes por la técnica de tubos xi múltiples (determinado por el laboratorio de EPISA-UANCV). Al mismo se tomó datos in situ como son T° ambiental, T° y pH en cada punto de muestreo. La frecuencia de muestreo fue validado de acuerdo al método 1060B indicado en métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. El procesamiento de datos permitió determinar la eficiencia de remoción de los sedimentadores y filtros verticales. Lo que permitió llegar a la siguiente conclusión. La remoción promedio de carga orgánica del sedimentador 01 es de 10.29%, del sedimentador 02 es de 16.92, del filtro vertical 01 es de 28.82%, del filtro vertical 02 es de -7.88% y del filtro vertical 03 es de 11.88. Así mismo la remoción de la carga patógena del sedimentador 01 es -34.76%, del sedimentador 02 es de 34.34%,

del filtro vertical 01 es de -63.58%, del filtro vertical 02 es de 82.58% y del filtro vertical 03 es de 35.20%

## **2.1.2 Marco Normativo**

A continuación, se señalan algunos de los artículos significativos en relación con la investigación.

### **2.1.2.1 Ley N° 28611.- Ley General Del Ambiente**

#### **Artículo 31.- Del Estándar de Calidad Ambiental**

31.1 El Estándar de Calidad Ambiental - ECA es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

31.2 El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas. Es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

31.3 No se otorga la certificación ambiental establecida mediante la Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, cuando el respectivo EIA concluye que la implementación de la actividad implicaría el incumplimiento de algún Estándar de Calidad Ambiental. Los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental también deben considerar los Estándares de Calidad Ambiental al momento de establecer los compromisos respectivos.

31.4 Ninguna autoridad judicial o administrativa podrá hacer uso de los estándares nacionales de calidad ambiental, con el objeto de sancionar bajo forma alguna a personas jurídicas o naturales, a menos que se demuestre que existe

causalidad entre su actuación y la transgresión de dichos estándares. Las sanciones deben basarse en el incumplimiento de obligaciones a cargo de las personas naturales o jurídicas, incluyendo las contenidas en los instrumentos de gestión ambiental.

### **Artículo 32.- Del Límite Máximo Permisible**

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

32.2 El LMP guarda coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generales que se establecen en los ECA. La implementación de estos instrumentos debe asegurar que no se exceda la capacidad de carga de los ecosistemas, de acuerdo con las normas sobre la materia.

#### **2.1.2.2 D.S. N° 004-2017-MINAM: ECA para agua**

### **Artículo 3.- Categorías de los ECA para agua**

Para la aplicación de los ECA para agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

#### 3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

a) Subcategoría D1: Riego de vegetales. Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores



como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de 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.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales. Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

### 3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático



Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóxicos, que se mueven continuamente en una misma dirección: Ríos de la costa y sierra. Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm. Ríos de la selva. Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

### **2.1.2.3 Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM**

#### **Artículo 3°.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR**

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

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

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental,

tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

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

Tabla 1  
*Límites Máximos Permisibles para efluentes De PTAR*

Parámetro	Unidad	LMP
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	10000
DBO	mg/L	100
DQO	mg/L	200
pH	unidad	6,5 - 8,5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Decreto Supremo N°003-2010-MINAM

### 2.1.3 Bases Teóricas

#### 2.1.3.1 Agua y Ciclo Hidrológico

Según Moratíel (2017) el agua es una molécula que está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O). Todas las formas conocidas de vida necesitan esta molécula para su supervivencia. Generalmente, cuando se habla de agua se refiere a la molécula en estado líquido, pero esta puede encontrarse en la naturaleza en estado sólido (hielo, nieve) o en estado gaseoso (vapor de agua).



De acuerdo con Campos (2003) el agua es una de las sustancias más abundantes sobre la superficie terrestre. Los océanos cubren el 71% del planeta y un 97% del agua está contenida allí y en otros cuerpos salinos como manglares. Los glaciares, así como superficies heladas, representan el 2% del agua mundial y el restante 1% se encuentra en lagos, ríos y aguas subterráneas.

El movimiento del agua en la tierra es llamado ciclo hidrológico, en el que intervienen todas las aguas del mundo. El ciclo hidrológico es el proceso en virtud del cual las aguas transportan materiales y energía cuando pasan por diferentes estados.

En el ciclo hidrológico ocurren tres fenómenos principales: evaporación, precipitación y escorrentía superficial.

La evaporación es la formación de vapor, el cual se produce por evaporación del agua sobre la superficie de los océanos, ríos, lagos y el suelo. El agua también se puede evaporar del tejido de las plantas, específicamente de las superficies de las hojas. Este proceso es llamado evapotranspiración. El vapor de agua resultante es transportado por las masas móviles de aire.

La precipitación es el fenómeno mediante el cual la humedad atmosférica precipita o desciende sobre la tierra, en cualquiera de sus formas: lluvia, nieve o granizo. En condiciones adecuadas, el vapor de agua se condensa para formar las nubes que, a su vez, pueden transformarse en precipitación. La precipitación que cae sobre la tierra se dispersa de diferentes maneras. Un gran porcentaje es retenida temporalmente en el suelo, en las cercanías del lugar donde cae y regresa eventualmente a la atmósfera por evaporación o evapotranspiración.

Luego, otra porción de agua viaja sobre la superficie del suelo; ese es el fenómeno conocido como escorrentía superficial. El agua viaja superficialmente a



través de los campos hasta los ríos y de estos al mar. Además del proceso de escorrentía superficial, ocurren otros procesos conocidos como infiltración y percolación. En el primero, infiltración, el agua que cae sobre el suelo fluye a través de sus poros hacia capas interiores. La percolación es cuando el agua logra pasar las primeras capas de suelo y se interna hasta encontrar el cauce de agua subterránea.

### **2.1.3.2 Agua residual**

De acuerdo a Prado (2015) las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiado.

Tchobanoglous & Burton (1995) señala que podemos definir el agua residual, como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residenciales, como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que se le pueden agregar, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

Desde el punto de vista de Romero J. (2010) las aguas residuales son aguas procedentes de las viviendas; oficinas y edificios comerciales, ya usadas del abastecimiento de una población, formadas por aguas domésticas cargadas de heces, orina y otros desperdicios; toda esta masa está más o menos diluida por el agua de lavado de servicios públicos y aguas pluviales que se vierten sobre un depósito de agua natural.

Romero J. (2010) indica que también se acostumbra denominar aguas negras a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno

y coliformes fecales. Y aguas grises a las aguas provenientes de tinas, duchas, lavamanos y lavadoras, aportantes de  $DBO_5$ , sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales, esto es, aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros.

### 2.1.3.3 Tipos de agua residual

De acuerdo a Suarez (2011) existen diferentes formas de denominar a las aguas residuales, las cuales se detalla en la Tabla 2:

Tabla 2  
*Tipos de agua residual*

Tipo de agua	Definición	Característica
Agua residual doméstica	Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.	Los contaminantes están presentes en moderadas concentraciones
Agua residual Urbanas	Las aguas residuales domésticas, o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.	Contiene materia orgánica, nutrientes, patógenos, etc.
Agua residual industrial	todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.	Su contenido depende del tipo de industria y/o procesos industriales.

Fuente: Suarez (2011)

### 2.1.3.4 Composición de las aguas residuales

Según Tchobanoglous & Burton (1995) las aguas residuales consisten básicamente en: agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos son la

fracción más pequeña (representan menos del 0.1 % en peso del agua residual), pero representa el mayor problema a nivel del tratamiento. El agua provee sólo el volumen y el transporte de los sólidos disueltos y en suspensión.

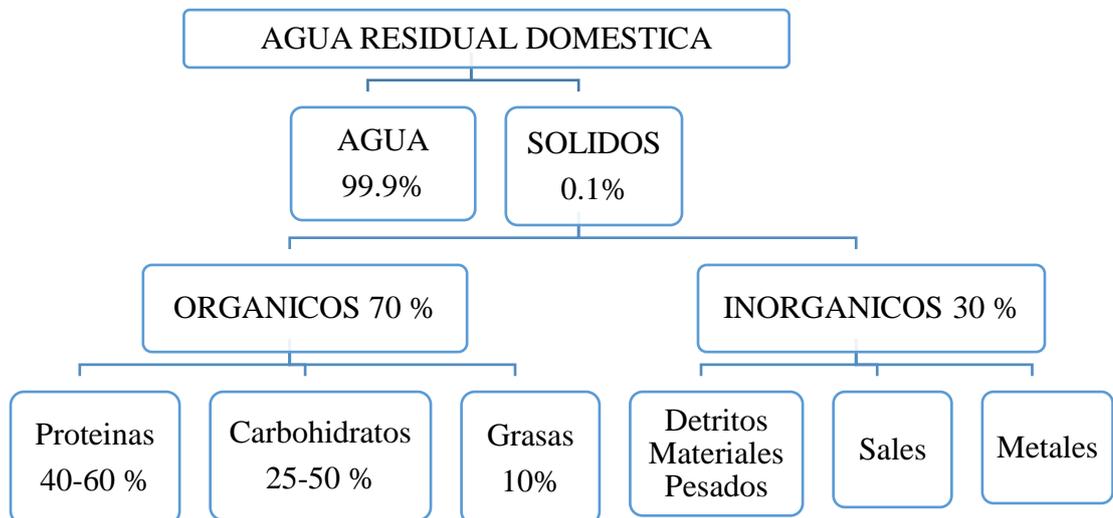


Figura 1. Composición de las aguas residuales domesticas  
*Fuente Tchobanoglous & Burton, 1995*

Aproximadamente el 65% de los sólidos orgánicos son proteínas como albúminas, globulinas y enzimas provenientes de las industrias o de la actividad microbiológica en el agua residual. La proporción de los carbohidratos está en función de las costumbres en la región (éstos se encuentran en sus formas más comunes como glucosa, sacarosa, almidón y celulosa). Las grasas y aceites animales o vegetales son el tercer componente de los alimentos.

La Tabla 3 presenta datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica. En función de las concentraciones podemos clasificar el agua residual como concentrada, media o débil.

Tabla 3  
*Composición típica del agua residual domestica bruta*

Contaminantes	Unidad	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Solidos totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Solidos sedimentales	mg/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, mg/l 5 días, 20 °C (DBO <sub>5</sub> , 20°C)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1,000
Nitrógeno en forma de N	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fosforo (total en forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfato	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como Ca CO <sub>3</sub> )	mg/l	50	100	150
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	n.º/100m l	106-107	107-108	107-109
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	µg/l	< 100	100-400	> 400

Fuente: (Tchobanoglous & Burton, 1995)

### 2.1.3.5 Caracterización de aguas residuales

#### 2.1.3.5.1 Características físicas del agua

Como afirman Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade (2010), los parámetros físicos dan una idea aproximada de la calidad del agua residual, del proceso que se realiza y de los posibles problemas existentes en el tratamiento, en



una planta de tratamiento de aguas residuales. Entre los parámetros físicos más importantes tenemos: la temperatura, el olor, la densidad, el color y la turbiedad.

- **Color:** como señala Raffo (2013) proviene de la disolución de materiales vegetales o minerales; debido a la presencia de materia orgánica en proceso de descomposición, como lignina y taninos; a óxidos de hierro, zinc y manganeso; a excretas de organismos vivos, algas verdes o verde-azules. El color está ligado a problemas de contaminación. El color del agua es consecuencia de la presencia de sustancias orgánicas disueltas o coloidales.
- **Olor:** Carpio & Vidalon (2016) indican que muchas pueden ser las causas de olores en el agua; entre las más comunes se encuentran: materia orgánica en solución, ácido sulfhídrico, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro, manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc. La determinación del olor en el agua es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos una posible contaminación de la fuente. normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.



- **Sólidos:** como afirma Díaz (2018) para las aguas residuales domésticas e industriales el contenido mineral disuelto disminuye, y pasa ser más importante el contenido de diferentes sustancias en suspensión, principalmente de carácter orgánico.

Se suelen utilizar varios términos relacionados con la medida de los sólidos de un agua residual:

i) Sólidos sedimentables; ii) sólidos totales; iii) sólidos en suspensión; iv) sólidos disueltos. También suele hacerse una diferenciación entre sólidos volátiles (orgánicos) y sólidos fijos (minerales), respecto a una temperatura concreta de ignición) (habitualmente 550 °C).

- **Temperatura:** según Pérez J. (2010) es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración.
- **Turbidez:** del mismo modo la turbiedad parámetro físico presente en el agua impide transmitir el paso de los rayos solares debido a los materiales insolubles y las partículas en suspensión que se presentan principalmente en las aguas superficiales ocasionados por actividades antrópicas o causas naturales, la turbiedad son difíciles de clarificar y filtrar llegando a formar depósitos en la conducción del agua lo que nos da una apariencia desagradable y esto puede causar impactos negativos a los ecosistemas acuáticos bajando los niveles de oxigenación del agua y además produciendo bacterias que serán aprovechadas para su desarrollo (Tchobanoglous & Burton, 1995).

### 2.3.1.5.2 Características químicas de las aguas

El análisis químico engloba una gran variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas las más importantes son:

a) sustancias inorgánicas

- **Alcalinidad:** Quintuña & Samaniego (2016) definen como alcalinidad la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones; ésta representa la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua. Dado que la alcalinidad de las aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos (calcio y magnesio), bicarbonatos e hidróxidos y, en menor grado, por los boratos, fosfatos y silicatos, también pueden contribuir en pequeñas cantidades. Estos iones negativos en solución están comúnmente asociados con iones positivos de calcio, magnesio, potasio, sodio y otros cationes. Su valor puede variar significativamente con el pH del punto final.
- **Cloro ( $Cl_2$ ) residual:** se trata del compuesto más usado como agente desinfectante del agua de consumo humano. El cloro residual puede encontrarse en forma libre como hipoclorito o ácido hipocloroso en una relación pH dependiente. También puede encontrarse combinado con amonio, dando lugar a cloraminas. El conjunto de ambas formas da lugar al cloro residual total (Díaz, 2018).
- **Fosforo (P):** Muñoz (2014) indica que el fosforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales; actualmente es considerado como uno de los nutrientes que controla el crecimiento de las algas. Las algas requieren para su crecimiento fosforo y, consecuentemente, un



exceso de fósforo produce un desarrollo exorbitado de algas, el cual es causa de condiciones inadecuadas para ciertos usos benéficos del agua.

Actualmente hay una fuente mayoritaria de P vertida en forma de detergentes utilizados para la limpieza. El contenido de P en un agua puede estar en varias formas: i) compuesto inorgánico (fosfatos); ii) compuesto orgánico; iii) formando parte de tejidos vivos. La concentración de P total en aguas naturales no contaminadas es del 0,1-1,0 mg/L mientras que para las aguas residuales domésticas puede ser de hasta 15 mg/L (Díaz, 2018).

- **pH:** como señala Martínez (2016) la concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas, el valor del pH en el agua está relacionado con el equilibrio carbónico y la actividad vital de los organismos acuáticos (ej. actividad fotosintética). En general, el valor del pH de aguas superficiales se encuentra en el intervalo de 6-8,5; siendo este rango también idóneo para los procesos de tratamiento biológico. El valor del pH de los vertidos industriales depende de la actividad industrial que los genera.

#### **b) Sustancias orgánicas del agua**

El contenido de compuestos orgánicos que puede contener el agua es muy variado, con más de mil compuestos descritos. No obstante, la materia orgánica del



agua solo puede tener dos orígenes: natural o de acción humana. En el primer caso, se debe a la actividad de la cadena trófica sin intervención del hombre. En segundo lugar, los compuestos que la propia actividad humana genera pueden ser de dos tipos, bien materias puramente biológicas del metabolismo humano o excretas orgánicas, bien las sustancias orgánicas de tipo industrial. De esta manera, se generan dos grandes tipos de aguas residuales que pueden evacuarse a un cauce natural: aguas domésticas o urbanas y aguas industriales. En cuanto a las aguas residuales domésticas, destacar que la orina contribuye mayoritariamente en su composición ya que se generan en torno a 1.2-1.5 litros /persona/día. Se trata de un líquido que porta una gran cantidad de iones, así como compuestos orgánicos (urea, ácido úrico, bases púricas, ácidos grasos, alcoholes). Por otra parte, la composición media del residuo fecal humano es 80% humedad y 20% de materia seca, que a su vez está constituida por 30% proteínas, 15% grasas, 30% de otras materias orgánicas diversas (residuos de alimentos, fibras vegetales y otros compuestos de diversa naturaleza). Finalmente en cuanto a las aguas residuales de carácter industrial, presentan una mayor variedad de compuestos, en función del tipo concreto de actividad industrial de que se trate.

### **b.1. Parámetros inespecíficos indicadores de la materia orgánica del agua**

Existen varias determinaciones analíticas que se utilizan para medir cuantitativamente la materia orgánica presente de manera global.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** Salguero (2018) señala que este parámetro determina la cantidad de oxígeno indispensable para degradar la materia orgánica presente por acción bacteriológica por medio de una población microbiana heterogénea, el ensayo tiene un



fundamento bioquímico puesto que se trata de cuantificar la cantidad de oxígeno necesaria para que la flora microbiana aerobia del agua, ya sea autóctona o inducida, pueda mineralizar las materias de carácter orgánico presentes. Habitualmente se suele incubar durante cinco días en la oscuridad y a una temperatura de 20°C, por lo que suele indicarse como DBO<sub>5</sub>.

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** como afirma Salguero (2018) la demanda química de oxígeno determina el contenido requerido de oxígeno en el agua que permitirá oxidar la materia orgánica, esto permite determinar el contenido de materia orgánica en aguas residuales, se trata de una de las determinaciones más aplicadas al análisis de aguas con un grado medio/ alto de contaminación orgánica. Además, suele utilizarse para evaluar el proceso de depuración en las plantas de tratamiento de aguas residuales, proporcionando un análisis rápido y muy fiable. Se utiliza dicromato de potasio como oxidante, en medio ácido y en caliente (diez minutos de ebullición).

## **b.2 Otros parámetros indicadores de la materia orgánica del agua**

- **Aceites y grasas:** Molina (2015) señala que los aceites y grasas son químicamente parecidos, están compuestos por un grupo alcohol o glicerina y un grupo ácido graso. Si a temperatura ambiente se encuentran en forma líquida son aceites y si se encuentran en forma sólida son grasas. Los aceites y grasas que no son removidos de las descargas pueden formar películas de superficie que afecten la vida en el agua, generando interferencia con las especies que se encuentran en esta se trata de sustancias flotantes presentes en un agua residual. Son sustancias que



interfieren negativamente en el proceso de depuración, debido a que propician la flotación del lodo biológico y también dificultan la oxigenación del agua con el detrimento en las tasas de depuración con seguridad.

- **Detergentes o surfactantes:** compuestos orgánicos complejos desarrollados a partir de la década de los 70 para tareas domésticas de limpieza. Su importancia en el agua radica en su posible acción tóxica, así como el aporte de fosforo al medio hídrico. Se caracterizan por presentar en la misma molécula dos grupos de distinta polaridad. El grupo hidrófobo (apolar) suele ser un radical tipo hidrocarburo que contiene de 10-20 átomos de carbono. El grupo hidrófilo (polar) es el que actúa como agente tensioactivo facilitando la eliminación de la suciedad. Se distinguen tres grandes grupos de detergentes según el grupo polar sea aniónico (derivados de sulfatos y sulfonatos), catiónico (sales de amonio cuaternario conjugadas con halógenos) o no iónico (alcoholes polioxetilénicos). Actualmente los más utilizados son los alquibencilsulfonatos de cadena lineal (denominados LAS, en inglés) por su mayor biodegradabilidad.

### 2.3.1.5.3 Características biológicas del agua

La variedad de microorganismos de un agua es muy elevada. Por esta razón, se recurre a la búsqueda de organismos habitualmente presentes en las excretas humanas, a modo de organismos indicadores de contaminación fecal en los procesos de potabilización y depuración. De esta manera se sugiere la realización de coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales.



Otras determinaciones microbiológicas menos habituales son clostridios sulfito reductores, aerobios a 22°C y 37°C, salmonelas, estafilococos patógenos, bacteriófagos fecales, enterovirus y protozoos.

#### **2.1.3.6 Plantas de tratamiento**

Belzona (2010) indica que, en su forma más simple, una planta de tratamiento de aguas residuales evacúa sólidos, reduce la materia orgánica y los contaminantes y restaura la presencia de oxígeno. Los sólidos incluyen todo, desde trapos y maderas, a arena y partículas pequeñas que se encuentran en las aguas residuales. La reducción de la materia orgánica y de los contaminantes es llevada a cabo usando bacterias útiles y otros microorganismos que se usan para consumir la materia orgánica en el agua residual. Las bacterias y los microorganismos son luego separados del agua. La restauración del oxígeno es importante ya que el agua debe tener suficiente oxígeno para sostener la vida.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son instalaciones que por medio de procedimientos mecánicos, físicos, químicos y biológicos mejoran la calidad del agua contaminada reduciendo los contaminantes físicos, químicos y microbiológicos. El objeto de la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales es mejorar la calidad del agua, para que, a la hora de la descarga a un cuerpo receptor, no perjudique al medio ambiente ni la salud de las personas que tengan contacto con la misma.

#### **2.1.3.7 Clasificación de los tratamientos**

La clasificación de los tratamientos se resume en el cuadro que se describe a continuación.



Tabla 4  
*Clasificación de los tratamientos*

Clasificación	Unidad de tratamiento	Descripción
Tratamiento preliminar o pretratamiento	- Rejas - Desarenador	Es el conjunto de unidades que tiene como finalidad eliminar materiales gruesos, que podrían perjudicar el sistema.
Tratamiento primario	- Tanque séptico - Tanque Imhoff	La finalidad es de remover sólidos suspendidos removibles.
Tratamiento secundario	- Reactor UASB - laguna de estabilización - Lodo activado convencional - Humedales - Filtro anaerobio - Zanja de oxidación - Biodisco	La finalidad es de remover material orgánico y en suspensión. Se utiliza procesos biológicos, aprovechando la acción de microorganismos, que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica.
Tratamiento terciario	- Microcribado - Coagulación floculación - Filtros rápidos - Adsorción Oxidación química - Electrodialisis - Intercambio iónico - Precipitación química - Nitrificación-desnitrificación - Precipitación con cal, etc.	Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físico-química biológica alto para cuerpos de agua receptores sensitivos o ciertos tipos de reúso.
Desinfección	- Físicos: Filtración, ebullición, rayos ultravioleta. - Químicos: Aplicación de cloro, bromo, yodo, ozono, etc.	Es el tratamiento adicional para remover patógenos.
Tratamiento de lodos	- Digestión anaerobia - Tratamiento con cal - Compostaje - Patio de secar	Es el tratamiento de la porción "sólida" (actualmente, más de 80 % agua) removido del agua contaminada.

Fuente: (Ayala & Gonzales, 2008)



### 2.1.3.7.1 Tratamiento preliminar.

Rigola (1999) indica que en los desbastes se retienen los sólidos de mayor tamaño, que podrían provocar un mal funcionamiento de los equipos posteriores. La homogenización tiene por objetivo uniformizar los caudales y características del efluente cuando los vertidos son irregulares, discontinuos o diferentes de unos momentos a otros, evitando que descargas puntuales puedan afectar todo el proceso posterior.

Lozano (2012) describe al tratamiento preliminar como la eliminación de elementos que pueden causar descensos en la eficiencia del tratamiento y, quizá lo más importante, protege los equipos, partes y unidades de la depuradora de daños que pueden resultar funestos para el funcionamiento de la planta y del sistema de evacuación y transporte de aguas residuales, en general. Las unidades o dispositivos son:

- **Cámara de Rejas.** Son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas, éstas pueden ser rectas a curvadas, su finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente grandes, que estén en suspensión o flotantes, por lo general son la primera unidad de una planta de tratamiento y se ubican en forma transversal al flujo de agua en los canales de ingreso (Espinoza, 2010).
- **Desarenador.** Tiene como objetivo eliminar partículas más pesadas que el agua, que no se hayan quedado retenidas en el desbaste, y que tienen un tamaño superior a 200 micras, sobre todo arenas, pero también otras sustancias como cáscaras, semillas, etc. Con este proceso se consiguen proteger los equipos de procesos posteriores



ante la abrasión, atascos y sobrecargas en los procesos posteriores. (Bermeo, 2016).

- **Trampa de Grasas.** Son estructuras que aprovechan la diferencia de densidades entre el agua y los aceites presentes en el líquido, la simplicidad de su operación y de su diseño permiten generar una solución eficiente al problema del manejo de grasas que presenta la planta. (Torres, 2016).
- **Canal Parshall.** Es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal. Consta de cuatro partes principales: Transición de entrada, sección convergente, garganta, sección divergente. En la transición de entrada, el piso se eleva sobre el fondo original del canal, con una pendiente suave y las paredes se van cerrando. va sea en línea recta o circular. En la sección convergente, el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo. En la garganta el piso vuelve a bajar para terminar con otra pendiente ascendente en la sección divergente. (Pedroza, 2001)

#### 2.1.3.7.2 Tratamiento primario.

Ayala & Gonzales (2008) menciona que con este nombre se designa a los procesos, cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos y puede ser por: sedimentación o flotación. De estos procesos, el más utilizado y que mejor se ajusta a las características de las aguas residuales de pequeñas localidades es la sedimentación.

Para la norma (011-2012-VIVIENDA, 2012), es la remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta. Aun cuando este tipo de tratamiento disminuye la



cantidad de materia orgánica en las aguas residuales, ésta se limita a la fracción en suspensión y no a la disuelta, condición que determina su nombre a tratamiento primario. Estas unidades se diseñan para disminuir el contenido de sólidos suspendidos y, de grasas y aceites en las aguas residuales. Las unidades o dispositivos de tratamiento que utilizan el proceso de sedimentación son: Sedimentadores, tanques Sépticos, tanques Imhoff.

### **2.1.3.7.3 Tratamiento secundario**

Este término comúnmente se utiliza para los sistemas de tratamiento del tipo biológico en los cuales se aprovecha la acción de microorganismos presentes en las aguas residuales, los cuales, en su proceso de alimentación, degradan la materia orgánica, convirtiéndola en material celular, productos inorgánicos o material inerte. El tratamiento secundario, conocido también como depuración o tratamiento biológico de las aguas residuales (TBAR), es entendido como la eliminación de contaminantes mediante la actividad biológica de los microorganismos presentes en los reactores (Lozano, 2012).

Su finalidad según Rossi (2010) consiste en la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales una vez superadas las fases de pretratamiento y tratamiento primario. El tratamiento secundario o biológico ha sido diseñado, tomando como ejemplo el proceso biológico de autodepuración, anteriormente mencionado, que ocurre naturalmente. La aplicación de éste en aguas servidas, previene la contaminación de los cuerpos de agua antes de ser descargadas. En estos procesos, la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales domésticas actúa como



nutriente de una población bacteriana a la cual se le proporciona oxígeno y condiciones controladas, en resumen, el tratamiento biológico es por tanto una oxidación de la materia orgánica biodegradable con participación de bacterias que se ejecuta para acelerar un proceso natural y evitar posteriormente la presencia de contaminantes y la ausencia de oxígeno en los cuerpos de agua. Aunque el tratamiento secundario es capaz de remover  $DBO_5$  y SST en valores cercanos al 85%, no eliminará significativamente nutrientes (N y P), ni metales pesados, ni patógenos, los cuales deben ser removidos posteriormente. (Lozano, 2012)

#### **2.1.3.7.4 Tratamiento Terciario.**

Ramalho (1996) indica que el tratamiento terciario al que se conoce también como tratamiento avanzado es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario. Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una alta calidad física química - biológica, o sea, que son procesos por los cuales se le da un pulimento alto al agua. Las metas de tratamiento varían de acuerdo al reúso que se le pretenda dar a estas aguas. Normalmente el tratamiento terciario es para remover nutrientes (nitrógeno y fosforo) del agua. Generalmente no se utiliza el tratamiento terciario para aguas residuales municipales, a menos que el reúso de las aguas tenga alguna aplicación en la industria y en algunos casos en protección de un área ecológicamente sensitiva.

Puede implicar la remoción de varios parámetros como:

- Remoción de sólidos en suspensión (microbiano, clarificación química, filtración, etc).



- Remoción de complejos orgánicos disueltos (adsorción, oxidación química, etc).
- Remoción de compuestos inorgánicos disueltos (destilación, electrodiálisis, intercambio iónico, osmosis inversa, precipitación química, etc).
- Remoción de nutrientes (nitrificación-des nitrificación, desgasificación del amoníaco, precipitación química, asimilación, etc).

#### **2.1.3.7.5 Desinfección.**

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomienda la desinfección del agua como practica general, ya que es la manera más segura y económica de eliminar la contaminación microbiológica del agua.

La razón fundamental de la desinfección es disminuir el riesgo de las enfermedades transmitidas por el agua mediante la destrucción o inactivación de los diversos organismos patógenos que están o pueden estar en la fuente del agua o adquirirse durante el proceso de transporte o almacenamiento. (Campoverde, 2015)

La desinfección es considerada como el principal mecanismo para la desactivación o destrucción de organismos patógenos con el fin de prevenir la dispersión de enfermedades transmitidas a través del agua, tanto a los usuarios como al ambiente. Es muy importante que el agua residual sea tratada adecuadamente antes de realizarse la desinfección para que la acción de cualquier desinfectante sea eficaz. (Ernestina, 2009)

En términos prácticos, desinfectar el agua significa eliminar de ella microorganismos capaces de producir enfermedades. El proceso de



desinfección puede llevarse a cabo por agentes físicos y agentes químicos  
(Reyes, 2016)

#### **2.1.3.8 Tratamientos biológicos**

El tratamiento biológico de aguas residuales supone la remoción de contaminantes mediante actividad biológica, que se aprovecha para remover principalmente sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, del agua residual mediante su conversión en gases que escapan a la atmósfera y en biomasa extraíble mediante sedimentación.

El mecanismo más importante para la remoción de la materia orgánica presente en el agua residual, es el metabolismo bacteriano. El metabolismo consiste en la utilización por parte de las bacterias, de la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar nueva biomasa. Cuando la materia orgánica es metabolizada, parte de ella es transformada químicamente a productos finales, es un proceso que es acompañado por la liberación de energía llamado “Catabolismo”. Otro proceso denominado “Anabolismo o Síntesis” ocurre simultáneamente, donde parte de la materia orgánica se transforma en nuevo material celular. (Gonzalez, 2015)

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan N y P, y por último, en el caso de sistema aerobio, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. Este último aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente.



En el metabolismo bacteriano juega un papel fundamental el elemento aceptor de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este aspecto, además, tiene una importante incidencia en las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas. Atendiendo a cuál es dicho aceptor de electrones distinguimos tres casos:

#### **2.1.3.8.1 Sistemas aerobios**

La presencia de  $O_2$  hace que este elemento sea el aceptor de electrones, por lo que se obtienen unos rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias aerobias. Su aplicación a aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua. (Rodríguez, 2006)

#### **2.1.3.8.2 Sistemas anaerobios**

En este caso el aceptor de electrones puede ser el  $CO_2$  o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reducción el carbono es su estado más reducido,  $CH_4$ . La utilización de este sistema, tendría, como ventaja importante, la obtención de un gas combustible. (Rodríguez, 2006)

#### **2.1.3.8.3 Sistemas anóxicos**

Se denominan así los sistemas en los que la ausencia de  $O_2$  y la presencia de  $NO_3^-$  hacen que este último elemento sea el aceptor de electrones, transformándose, entre otros, en  $N_2$ , elemento completamente inerte. Por tanto es posible, en ciertas condiciones, conseguir una eliminación biológica de nitratos (desnitrificación).



Teniendo en cuenta todos estos aspectos, existe una gran variedad de formas de operar, dependiendo de las características del agua, así como de la carga orgánica a tratar. (Rodríguez, 2006)

#### **2.1.3.8.4 Procesos biológicos anaerobios**

Murillo (2011) la digestión anaeróbica consiste en la degradación de la materia orgánica, mediante una serie de reacciones de digestión y fermentación, por acción de diferentes especies bacterianas en ausencia de oxígeno. Esta tecnología se ha intensificado durante los últimos años como tratamiento de residuos sólidos orgánicos y aguas residuales, implementándose con distintos diseños, tanto a escala piloto como industrial. El progreso de la digestión anaerobia puede medirse ya sea por el consumo de la materia orgánica, o bien, por el volumen y composición de los gases que se producen. El tratamiento anaerobio es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Cuando éstas tienen una alta carga orgánica, se presenta como única alternativa frente al que sería un costoso tratamiento aerobio, debido al suministro de oxígeno. El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogas”, formado fundamentalmente por metano (60-80%) y dióxido de carbono (40-20%) y susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica. Además, solo una pequeña parte de la DQO tratada (5-10%) se utiliza para formar nuevas bacterias, frente al 50-70% de un proceso aerobio. Sin embargo, la lentitud del proceso anaerobio obliga a trabajar con altos tiempos de residencia, por lo que es necesario diseñar reactores o digestores con una alta concentración de microorganismos.



Realmente, es un complejo proceso en el que intervienen varios grupos de bacterias, tanto anaerobias estrictas como facultativas, en el que, a través de una serie de etapas y en ausencia de oxígeno, se desemboca fundamentalmente en la formación de metano y dióxido de carbono. Cada etapa del proceso, que se describen a continuación, la llevan a cabo grupos distintos de bacterias, que han de estar en perfecto equilibrio.

**Hidrólisis:** Viguera (2002) menciona que en este proceso las macromoléculas tales como proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos son transformados en oligómeros y monómeros (ácidos grasos, carbohidratos, aminoácidos, bases púricas y compuestos aromáticos). Estos polímeros complejos son hidrolizados en monómeros solubles debido a la acción de enzimas tales como: las celulasas, amilasas, proteasas y lipasas (Viguera, 2002). La hidrólisis es la ruptura de moléculas grandes, solubles e insolubles, en moléculas de menor tamaño que pueden ser transportadas dentro de las células y metabolizadas. En este proceso no se produce metano, y en la mayor parte de los casos supone una etapa que se desarrolla lentamente.

**Formación de ácidos (acidogénesis) y acetato (acetogénesis):** según Viguera (2002) en la acidogénesis el valor del pH disminuye pasando de valores alrededor de 7.0 a valores alrededor de 5.0 y procede con rapidez. En esta etapa las bacterias fermentan los productos solubles de la hidrólisis, principalmente en  $H_2$  y AGV. Los AGV de cadena mayor al acetato pueden ser obtenidos por la desaminación de los aminoácidos. Los AGCL (ácidos grasos de cadena larga) también producen acetato o propionato (cuando los AGCL tienen número de carbono impar) por  $\beta$ -



oxidación. Por ende, en conjunto las bacterias hidrolíticas y acidogénicas convierten los sustratos complejos a precursores de la metanogénesis

En esta etapa participan organismos a los que favorece un medio ambiente ácido, en donde de manera simultánea, los ácidos grasos volátiles y los compuestos nitrogenados son oxidados y transformados lentamente (Vigueras, 2002). Lo anterior se da, ya que los productos de la fermentación no son sustratos directos de las bacterias metanogénicas, en esta etapa aparecen las bacterias acetogénicas que toman estos compuestos y los introducen a sus células, oxidándolos anaeróbicamente hasta ácido acético y gas hidrógeno para luego excretarlos. Por lo tanto, una parte del ácido e hidrógeno producidos proviene de la acidogénesis y otra de la acetogénesis.

Los productos finales de la hidrólisis son transformados en ácidos orgánicos de cadena corta, otros compuestos de bajo peso molecular, hidrógeno y dióxido de carbono. Estas bacterias son altamente resistentes a variaciones en las condiciones ambientales. Por ejemplo, aunque el pH óptimo para el desarrollo de su actividad metabólica es 5-6, los procesos anaerobios generalmente son conducidos a pH 7, y aún en estas condiciones su actividad metabólica no decae.

**Metanogénesis:** Murillo (2011) en la última fase de la digestión, conocida como metanogénesis, las bacterias metanogénicas son las encargadas de producir el metano a partir de los sustratos producidos en las etapas anteriores. En condiciones normales el contenido de ácidos grasos volátiles disminuye hasta menos de 500 ppm, el valor del pH se mantiene entre 6.8 y 7.4, produciéndose grandes volúmenes de gases con un 65 a



70% de CH<sub>4</sub>, y alrededor de 30 % de CO<sub>2</sub> y otros gases inertes como el N<sub>2</sub>, además también son oxidados algunos materiales nitrogenados. La formación de metano, siendo este el último producto de la digestión anaerobia, ocurre por dos grandes rutas: La primera de ellas, es la formación de metano y dióxido de carbono a partir del principal producto de la fermentación, el ácido acético. Las bacterias que consumen el ácido acético se denominan bacterias acetoclastas.

La metanogénesis es la etapa crítica en el proceso de degradación, por las características de las bacterias que la llevan a cabo, y por ser la más lenta de todo el proceso. En buena medida, la digestión anaerobia se ha de llevar a cabo en las condiciones óptimas para el buen funcionamiento de estas bacterias metanogénicas.

Entre las ventajas más significativas del tratamiento anaerobio frente al aerobio cabe destacar la alta eficacia de los sistemas, incluso en aguas residuales de alta carga, el bajo consumo de energía, pequeña producción de fangos y por tanto, pequeño requerimiento de nutrientes, así como su eficacia ante alteraciones importantes de carga y posibilidad de grandes periodos de parada sin alteración importante en la población bacteriana. Sin embargo, como desventajas caben destacar la baja efectividad en la eliminación de nutrientes y patógenos, generación de malos olores y la necesidad de un post-tratamiento, generalmente aerobio, para alcanzar los niveles de depuración demandados, así como los generalmente largos periodos de puesta en marcha.

#### **2.1.3.8.5 Procesos biológicos aerobios**

Son muchas las posibilidades de tratamiento:



**Cultivos en suspensión:** Entre los principales tratamientos biológicos de cultivos en suspensión el proceso de lodos activados es el más ampliamente empelados para el tratamiento de aguas urbanas y/ domesticas. En este tipo de proceso la biomasa creada suele seguir de una decantación y una recirculación para retener en el sistema la biomasa creada. (Tchobanoglous & Burton, 1995). Proceso de fangos activados (lodos activados), y modificaciones en la forma de operar: aireación prolongada, contacto-estabilización, reactor discontinuo secuencial (SBR).

**Cultivos fijos:** Los microorganismos se pueden inmovilizar en la superficie de sólidos (biomasa soportada), destacando los filtros percoladores (también conocido como lechos bacterianos o filtros biológicos).

### **Procesos aerobios con biomasa soportada**

Otra de las formas para conseguir concentraciones suficientes de microorganismos, sin necesidad de recirculación, es favoreciendo su crecimiento en la superficie de sólidos. Se evitan de esta forma los posibles problemas en la sedimentación y recirculación de fangos, frecuente en los procesos clásicos de fangos activados. Sin embargo, el aporte de oxígeno será de nuevo un factor importante, consiguiéndose en este caso bien en la distribución del líquido, bien por movimiento del sistema.

Los filtros percoladores, también denominados filtros biológicos o lechos bacterianos. Son los sistemas aerobios de biomasa inmovilizada más extendidos en la industria. Suelen ser lechos fijos de gran diámetro,

rellenos con rocas o piezas de plástico o cerámica con formas especiales para desarrollar una gran superficie. (Ramalho, 1996)

Sobre la superficie crece una fina capa de biomasa, sobre la que se dispersa el agua residual a tratar, que moja en su descenso la superficie. Al mismo tiempo, ha de quedar espacio suficiente para que circule aire, que asciende de forma natural. El crecimiento de la biomasa provoca que parte de los microorganismos se desprendan de la superficie, y por lo tanto, seguirá siendo necesaria una sedimentación posterior para su separación del efluente. En general también se realiza una recirculación de parte del efluente limpio, una vez producida la separación. Un esquema sencillo se muestra en la figura 2, siendo los tamaños muy variables (desde 2 hasta 10 m de altura).

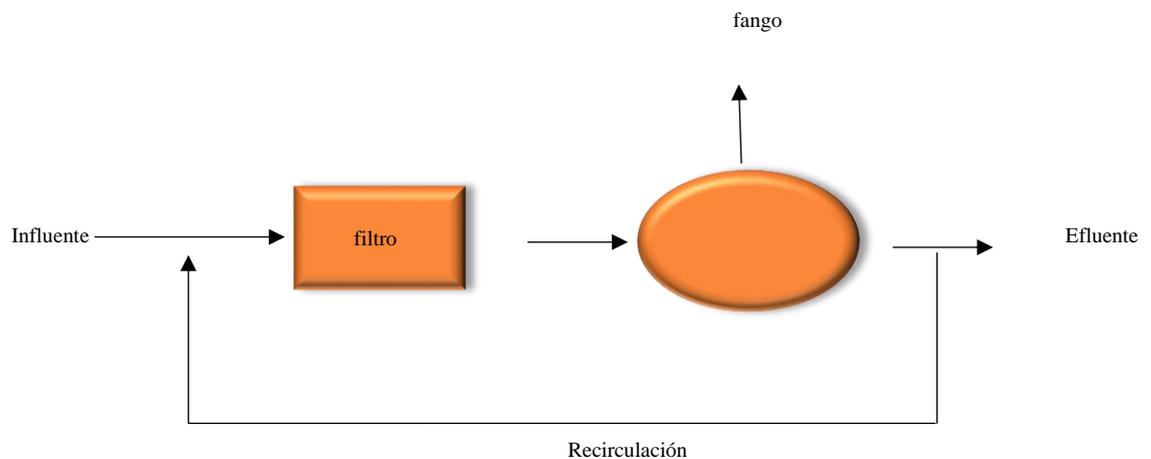


Figura 2. Diagrama de operación típico de un filtro percolador.  
*Fuente: (Rodríguez et al, 2006)*

### 2.1.3.9 Filtros percoladores

Ramalho (1996) considera que el filtro percolador es un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual. Normalmente el agua residual se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho



de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual percola en forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo.

Son componentes de tratamiento netamente biológicos y aerobios, estos procesos de depuración de aguas servidas, son extensamente conocidos en sus diferentes diseños y modelos de construcción para la depuración de las aguas servidas. El filtro percolador es un componente de tratamiento encargado en hacer el contacto del agua a tratar con el medio filtrante que está compuesto por un lecho de piedra o un lecho sintético donde se encuentra adherido la masa biológica activa o también denominada biopelícula (Barrera, et al, 2018)

#### **2.1.3.9.1 Disposición física de los filtros percoladores**

Los filtros percoladores son lechos de 1 a 12 m de profundidad rellenos de materiales tales como roca, clinkers o materiales sintéticos. El agua residual afluyente percola a través del relleno poniéndose en contacto con la capa de limo biológico.

Las dos propiedades más importantes de los filtros percoladores son la superficie específica y el porcentaje de huecos. La superficie específica se define como los m<sup>2</sup> de superficie de relleno por m<sup>3</sup> de volumen total. Cuanto mayor sea la superficie específica mayor será la cantidad de limo biológico por unidad de volumen. Por otra parte, a mayor porcentaje de huecos se consiguen cargas hidráulicas superiores sin peligro de inundación.

Mientras que los lechos rellenos de roca, clinkers u otros materiales similares, no pueden sobrepasar profundidades de 1 a 2,5 m, los lechos de materiales sintéticos pueden soportar profundidades entre 6 y 12 m. El



mayor porcentaje de huecos en los rellenos sintéticos facilita el flujo y reduce el peligro de inundación.

Para los rellenos comunes (roca, clinkers, etc.) las características normales son las siguientes: diámetro: 4 - 5 cm; área superficial específica: 80-110 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> de volumen global; % de huecos: 45-55 % y carga hidráulica máxima:  $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$ .

Las ventajas de los rellenos sintéticos son: (1) que permiten profundidades del relleno hasta de 12 m; (2) que se puede llegar a cargas hidráulicas elevadas hasta  $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$  (3) tienen superficies específicas de hasta 220 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> de volumen total; (4) existe un riesgo menor de quedar obstruidos por las aguas residuales que arrastran cantidades importantes de sólidos en suspensión y (5) debido a su peso ligero requieren una estructura de soporte más barata.

Las desventajas de los rellenos sintéticos son: (1) su precio comparativamente elevado y (2) que resultan inadecuados para obtener rendimientos en el tratamiento de las aguas residuales relativamente importante al compararlos con los que se consiguen con los rellenos normales.

#### **2.1.3.10 Niveles y procesos de tratamiento de aguas residuales**

En términos generales, en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) ocurren operaciones, procesos físicos, químicos y biológicos, en la tabla que se muestra se puede apreciar el nivel, descripción y tipo de unidad de estructura de tratamiento.

Tabla 5

*Nivel, descripción y tipo de unidad de estructura de tratamiento.*

Nivel	Descripción	Tipo de Unidad
Preliminar	Tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior.	Rejas, tamices, desarenador, tanques de homogenización, trampas de grasa, medidor y repartidos de caudal
Primario	Se considera como unidad de tratamiento primario a todo sistema que permite remover material en suspensión, excepto material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua. Así, la remoción del tratamiento primario permite quitar entre el 60 a 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO <sub>5</sub> orgánica sedimentable presente en el agua residual.	Sedimentador, unidades con inyección de aire, tanque séptico, imhoff y tanques de flotación
Secundario	El fundamento del tratamiento secundario es la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de entre el 50% y el 95% de la DBO <sub>5</sub> .	Lodos activados, biodiscos, filtros percoladores, humedales, lagunas de estabilización, reactor UASB.
Terciario	La necesidad de implementar un tratamiento terciario depende de la disposición final que se pretenda dar a las aguas residuales tratadas..	Microfiltración, la coagulación y precipitación, la absorción por carbón activado, cloración, destilación, oxidación química, extracción por solvente, remoción por espuma, nitrificación–desnitrificación.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



En la Tabla se muestran los rendimientos medios de depuración que se alcanzan en función del tipo de tratamiento aplicado a las aguas residuales urbanas (Alianza por el agua, 2008)

Tabla 6  
*Rendimientos medios de depuración en función del tipo de tratamiento*

Etapa de depuración	de Sólidos suspensión	en DBO <sub>5</sub>	E. coli
Pretratamiento	5-15	5-10	10-25
Tratamientos Primarios	40-70	25-40	25-70
Tratamientos secundarios	80-90	80-95	90-98
Tratamientos terciarios	90-95	95-98	98-99

Fuente: (Alianza por el agua, 2008)

En la siguiente tabla se muestra la eficiencia de remoción de constituyentes de diferentes unidades de tratamiento

TABLA 7  
*Eficiencia en la remoción de constituyentes*

Unidades de tratamiento	Eficiencia en la remoción de constituyentes		
	DBO <sub>5</sub>	DQO	SS
Desarenadores	0-5	0-5	0-10
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65
Lodos activados	80-95	80-95	80-90
Filtros percoladores			
- Alta tasa, roca	65-80	60-80	60-85
- Super tasa, plástico	65-85	65-85	65-85
Reactores UASB	65-80	60-80	60-70
Reactores RAP	65-80	60-80	60-70
Filtros anaeróbicos	65-80	60-80	60-70
Lagunas de oxidación			
Lagunas anaerobias	50-70		20-60
Lagunas aireadas	80-95		85-95
Lagunas facultativas	80-90		63-75
Lagunas de maduración	60-80		85-95

Fuente: (Romero J. , 2010)



### 2.1.3.11 Humedales artificiales

Desde el punto de vista de Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade (2010) los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresivamente y lentamente.

El tratamiento de aguas residuales para depuración se realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: recogida, tratamiento y evacuación al lugar de restitución (Delgadillo et al, 2010).

Para Villamar & Espinoza (2019) los humedales artificiales son zonas diseñadas por el ser humano, con el fin de reproducir los procesos físicos químicos y biológicos que se dan en un humedal natural, pero en condiciones controladas.

Los humedales construidos se han utilizado para tratar una amplia gama de aguas residuales:

Aguas domésticas y urbanas.

Aguas industriales, incluyendo fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros.

Aguas de drenaje de extracciones mineras.

Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana.

Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan (Delgadillo et al, 2010).

Cuando el agua llega a una estación depuradora, pasa por una serie de tratamientos que extraen los contaminantes del agua y reducen su peligro para la



salud pública. El número y tipo de tratamiento dependen de las características del agua contaminada y de su destino final.

Estos sistemas purifican el agua mediante remoción del material orgánico ( $DBO_5$ ), oxidando el amonio, reduciendo los nitratos y removiendo fosforo. Los mecanismos son complejos e involucran oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química (Perez, Sanchez, & Rojo, 2000)

Para Romero, Colin, Sanchez, & Ortiz (2009) en los humedales artificiales, la capacidad de remoción se debe a los efectos combinados entre el tiempo de retención hidráulica, la acción filtrante del sustrato para retener sólidos suspendidos del agua y la actividad biológica del sistema.

El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante. En conjunto, estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos (Luna & Ramirez, 2004)

Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Perez et al ,2000).

La fitodepuración, en este caso, se refiere a la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas) en los humedales o

sistemas acuáticos, ya sean estos naturales o artificiales. El termino macrófitas, dado su uso en el lenguaje científico, abarca a las plantas acuáticas visibles a simple vista, incluye plantas acuáticas vasculares, musgos, algas y helechos (Peña & Lara, 2012), indica que constituyen “fitosistemas”, porque emplean la energía solar a través de la fotosíntesis. Básicamente, se trata de captar la luz solar y transformarla en energía química, que es usada en su metabolismo para realizar funciones vitales.

Los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres (Pidre, 2010).

### **Humedales artificiales de flujo superficial**

Los sistemas de flujo superficial (conocidos en inglés como surface flow constructed wetlandso freewater surface constructed wetlands) son aquellos donde el agua circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmosfera. Este tipo de humedales es una modificación al sistema de lagunas convencionales. A diferencia de estas, tienen menor profundidad (no más de 0,6 m) y tienen plantas

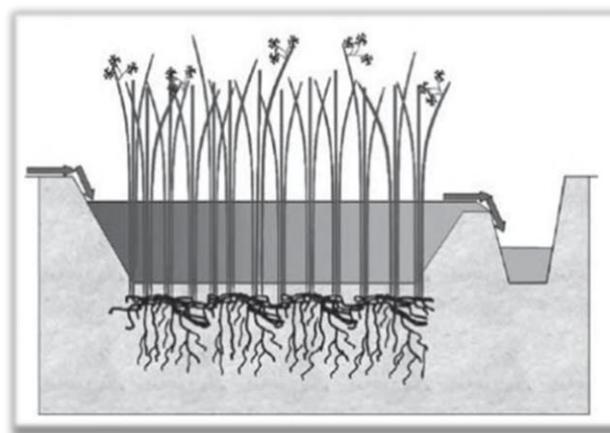


Figura 3. Humedal artificial de flujo superficial  
*Fuente: (Pidre, 2010)*



Tabla 8  
*Contaminantes en el tratamiento de las aguas residuales*

Contaminantes	Importancia
Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son lanzados al ambiente acuático
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Por lo general, se mide en términos de DBO <sub>5</sub> y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización puede llevar al consumo de las fuentes de oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades
Nutrientes	Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando son aplicados al suelo en cantidades excesivas, pueden contaminar también el agua subterránea
Compuestos tóxicos	Compuestos orgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados mediante actividades humanas. Tienen una alta persistencia en el ambiente, lo que incrementa su posibilidad de acumulación y toxicidad.
Sólidos inorgánicos disueltos	Componentes inorgánicos, como calcio, sodio y sulfato, deben ser removidos si se va usar nuevamente el agua residual, por ser potenciales degradadores del suelo

Fuente: (Mecalf y Eddy en Rolim, 2000)



## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1 Tratamiento primario**

El tratamiento secundario, conocido también como depuración o tratamiento biológico de las aguas residuales, es entendido como la eliminación de contaminantes mediante la actividad biológica de los microorganismos presentes en los reactores (Lozano, 2012).

### **2.2.2 Estándares de calidad ambiental**

Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

### **2.2.3 Sedimentación**

La sedimentación se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas. La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión. En algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se somete el agua residual. La sedimentación puede producirse en una o varias etapas o en varios de los puntos del proceso de tratamiento. (Ramalho, 1996).

### **2.2.4 Límites máximos permisibles**

Es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.



### **2.2.5 Medida de concentración en Aguas Residuales**

Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.

### **2.2.6 Demanda bioquímica de oxígeno**

La cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar residuos orgánicos de modo aerobio se denomina Demanda Bioquímica de Oxígeno. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en la muestra de agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia (Ramalho, 1996).

### **2.2.7 Filtro percolador**

El principal objetivo de los procesos de filtros percoladores es reducir la carga orgánica presente en las aguas residuales. El filtro percolador consiste en un soporte fijo permeable no sumergido de material, que puede ser natural, como material granular, o sintético, como el plástico. El agua residual fluye a través de esta cama, adhiriendo su biomasa sobre el lecho del sistema. Los microorganismos se reproducen a partir de la materia orgánica y son retenidos en el lecho, creando películas de mayor tamaño que pueden ser removidas posteriormente con procesos de lavados. (Félix & Rikeros, 2015).



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ASPECTOS GENERALES

##### 3.1.1 Ubicación del área de estudio

###### a) Ubicación política:

Región : Puno  
Provincia : Azángaro  
Distrito : San José

###### b) Ubicación Geográfica:

Latitud : 14°41'14"S  
Longitud : 70°10'28"O  
Altitud : 4082 m. s. n. m.

##### 3.1.2 Accesibilidad al distrito de San José

La vía de acceso al distrito de San José es por vía terrestre desde la ciudad de Juliaca pasando por Azángaro, siendo el transporte un poco limitado ya que no se cuenta con mucha concurrencia de pasajeros, en la tabla que se muestra a continuación se menciona el tiempo que se demora para llegar a dicho distrito desde la ciudad de Puno.

Tabla 9  
*Vías de acceso al distrito de San José*

Desde	A	Tipo de Vía	Medio de transporte	Distancia (Km)	Tiempo (Hrs.)
Puno	Juliaca	Asfaltada	Vehículo	43	1.0
Juliaca	Azángaro	Asfaltada	Vehículo	73	1.33
Azángaro	San José	Trocha	Vehículo	30	0.75

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.1.3 Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José

El distrito de San José cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, el cual se describe a continuación.

#### 3.1.3.1 Canal de entrada

El canal de acceso o entrada, es el canal de conducción en el cual se descarga las aguas residuales para luego entregarlas a la planta, las dimensiones de este canal son de

Ancho : 0.6 m

Largo : 2.9m

Altura : 1.4m



Figura 4. Canal de entrada

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

#### 3.1.3.2 Rejas de limpieza manual

Las rejas están ubicadas a 1.8m del inicio del canal de caudal y tiene una altura de 1.75cm y un ángulo de inclinación de 60°, las barras van soldadas a unos

elementos de separación situadas en la cara posterior actualmente las rejas ya están muy desgastadas y requieren de un cambio, además cabe mencionar que la disposición final de los sólidos gruesos son retirados manualmente por el operador de la instalación.



Figura 5. Cámara de rejas  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.1.3.3 Trampa de grasa

La trampa de grasas, tiene las siguientes dimensiones

Ancho : 1.2m

Largo : 2.65m



Figura 6. Trampa de grasas  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

#### 3.1.3.4 Sedimentadores

Estos sedimentadores tienen las siguientes dimensiones

Ancho : 2.25m

Largo : 6m



Figura 7. Sedimentador 1

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura 8. Sedimentador 2

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.1.3.5 Filtro de arena y grava

Consta de 3 naves paralelas, los cuales contienen grava en su interior, las dimensiones de estas naves son:

Nave 1

Ancho : 2.45m

Largo : 11.5m

Nave 2

Ancho : 1.75m

Largo : 11.5m

Nave 3

Ancho : 1.50m

Largo : 11.5m



Figura 9. Filtros de arena y grava  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.1.3.6 Filtro percolador

Esta planta de tratamiento cuenta con tres filtros percoladores que tienen las siguientes dimensiones

Filtro percolador 1

Ancho : 2.8m

Largo : 3.2m

Filtro percolador 2

Ancho : 1.8m

Largo : 2.2m

Filtro percolador 3

Ancho : 6.4m

Largo : 7.0m



Figura 10. Filtro percolador  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.1.3.7 Humedales artificiales

Cada humedal tiene las siguientes dimensiones

Ancho : 2.7m

Largo : 9.4m

Altura : 1.6m



Figura 11. Humedales artificiales  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales utilizados en gabinete:

- Impresora HP
- Laptop core i5. HP
- Memoria USB 8HP
- Papel bond A4
- Lapiceros

Materiales utilizados en campo

- Wincha de 30m
- Flexómetro de 5m
- Cronometro
- Guantes quirúrgicos
- Recipientes de plástico (1L, 0.5L)
- Cinta adhesiva



- Plumones
- Cooler
- Hielo
- Cajas de Tecnopor
- Bolsas de poliburbujas
- Reloj
- Cámara fotográfica
- Mochila
- Baldes de 20L y 4L
- Libreta de campo
- PH-metro
- Termómetro digital

### 3.3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.3.1 Metodología para medición de caudales

Para medir el caudal de las aguas residuales en el ingreso y la salida de los sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes en el distrito de San José, se empleó el método volumétrico.

Las mediciones de los caudales de las aguas residuales se realizaron en varias fechas

Tabla 10  
*Medición de caudales*

Fecha de medición	Nº de campaña	Época
01/05/2019	01	sequia
01/08/2019	02	sequia
01/11/2019	03	lluvia

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 3.3.2 Metodología para el muestreo de aguas residuales

Se realizó la evaluación del agua residual a la entrada y salida de cada estructura del sistema de tratamiento, mediante un análisis fisicoquímico y biológico de los siguientes parámetros de aguas residuales: aceites y grasas,

coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno ( $DQO$ ), potencial de hidrogeno (pH), Solidos Suspendidos SST, Temperatura antes y después de cada unidad de tratamiento, esto permitirá conocer la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Para determinar la eficiencia de las componentes de tratamiento se tomaron muestras en los siguientes puntos;



Figura 12. Toma de muestras en la salida del sedimentador 1  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura 13. Toma de muestra en la salida del filtro percolador  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura 14. Toma de muestras en la salida de la cámara de rejas  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

### 3.3.3 Ensayos realizados:

Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional  
del Altiplano

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UND</b>	<b>METODO DE ENSAYO</b>
Aceites y grasas	mg/L	Método de Extracción Soxhlet
DBO <sub>5</sub>	mg/L	Método de dilución
DQO	mg/L	Método colorímetro, reflujo cerrado
SST	mg/L	Método Gravimétrico

Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional del Altiplano

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UND</b>	<b>METODOLOGÍA DE ENSAYO</b>
CTT	NMP/100	Técnica de filtración por membrana

IN SITU

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UND</b>	<b>METODOLOGÍA DE ENSAYO</b>
pH	Unidad	Método colorimétrico, método electrométrico
Temperatura	°C	Método estándar

La figura que se adjunta, presenta de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San Jose



Figura 15. PTAR San José  
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.3.4 Operacionalización de variables:

Tabla 11  
*Operacionalización de variables*

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores
Independiente: Tratamientos Biológicos utilizados en la Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José	Supone la remoción de contaminantes mediante actividad biológica, estos pueden ser filtros biológicos y generalmente están acompañados de sedimentadores y/o filtros de arena y grava	Sedimentadores Filtros de Arena y Grava Filtros Percoladores	Reducción de partículas disueltas o en suspensión Reducción de Solidos Suspendidos Reducción de Materia orgánica biodegradable
Dependiente: Eficiencia en la remoción de contaminantes	La eficiencia viene dada por $E = (S_0 - S) / S_0 \times 100$ Dónde: E: Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes S:Carga contaminante de salida S <sub>0</sub> :Carga contaminante de entrada	Carga contaminante de entrada y salida	Remoción de DBO <sub>5</sub> Remoción de DQO Remoción de SST

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 RESULTADOS DE LOS MUESTREOS.

A continuación, se presentan los resultados de los análisis de laboratorio realizados en la Universidad Nacional del Altiplano

Laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Química

Características Físico Químicas

#### **Puntos de Muestreo**

1: Ingreso a la cámara de rejillas (afluente de la PTAR)

2: Salida de la cámara de Rejillas

3: Salida de la trampa de grasas

4: Salida del sedimentador primario 01

5: Salida del sedimentador primario 02

6: Salida de los filtros de arena y grava

7: Salida de los filtros Percoladores

8: Salida de humedales artificiales (efluente de la PTAR)

**Esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales y puntos de muestreo.**

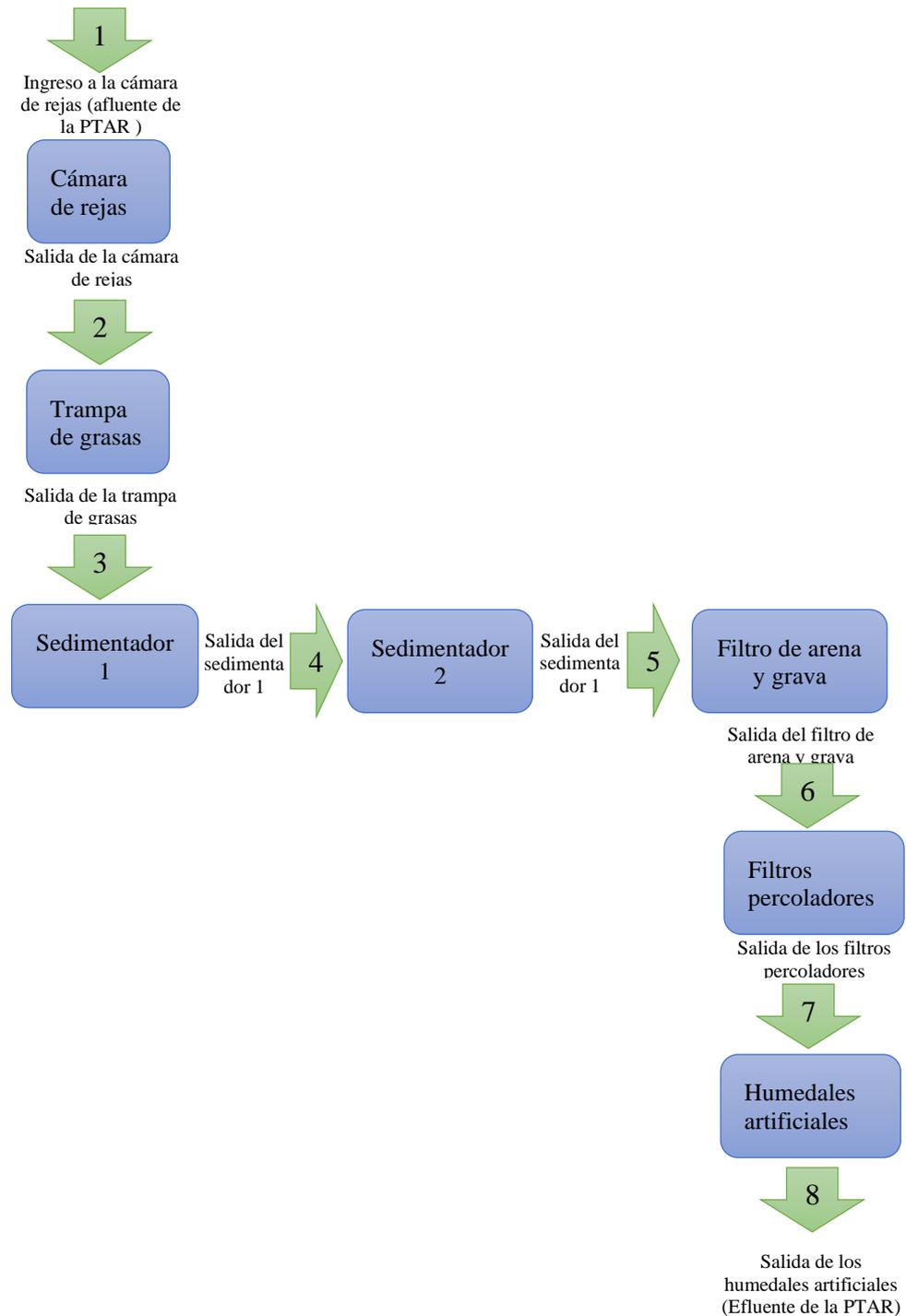


Figura 16. Esquema de la PTAR y puntos de muestreo  
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

## Parámetros

Aceites y grasas

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Demanda química de oxígeno (DQO)



Potencial de hidrogeno

Solidos totales en suspensión

Temperatura

Coliformes termotolerantes

### Eficiencia

Para calcular la eficiencia de cada componente utilizaremos:

$$E = (S_0 - S)/S_0 \times 100$$

Donde:

*E*: Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes [%]

*S*: Carga contaminante de salida

*S*<sub>0</sub>: Carga contaminante de entrada

Muestreo N° 1

Tabla 12

*Análisis físico, químico y bacteriológico de la muestra N°1*

Parámetros	Und	Puntos de muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Aceites y grasas	mg/l	1.19	1.03	0.32	0.22	0.15	0.12	0.08	0.07
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	184.0	179.50	170.0	159.0	147	135.0	130.0	123.0
Demanda química de oxígeno	mg/l	426.0	415.00	390.0	365.0	333.0	305.0	293.0	279.0
Potencial de hidrogeno	pH	6.97	6.89	6.77	6.81	6.78	6.96	6.80	6.79
Solidos totales en suspensión	mg/l	129.1	105	106.6	94	87.8	82.3	85.2	80.21
Temperatura	°C	14.4	14.3	14.4	14.3	14.4	14.5	14.3	14.4
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	6000	2900	950	1100	750	380	210	40

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### Muestreo N° 2

Tabla 13  
*Análisis físico, químico y bacteriológico de la muestra N°2*

Parámetros	Und	Puntos de muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Aceites y grasas	mg/l	1.25	1.1	0.36	0.19	0.16	0.11	0.09	0.07
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	185.6	180.3	169.60	159.0	146.0	134.0	129.00	122.0
Demanda química de Oxígeno	mg/l	428	413.0	388.00	366.0	339.0	315.0	304.00	287.0
Potencial de hidrogeno	pH	7.10	7.07	6.68	6.63	6.71	6.95	6.86	6.83
Solidos totales en suspensión	mg/l	135	110.0	128.30	106.4	99.30	94.90	93.50	83.56
Temperatura	° C	13.4	13.3	13.5	13.3	13.4	13.6	14.1	13.6
Coliformes termotolerantes	NM P/10 0ml	7100	3000	850	2300	800	350	200	60

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### Muestreo N° 3

Tabla 14  
*Análisis físico, químico y bacteriológico de la muestra N°3*

Parámetros	Und	Puntos de muestreo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Aceites y grasas	mg/l	1.3	1.21	0.39	0.21	0.17	0.12	0.09	0.08
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	191	185.3	173.3	159.6	145.6	133.2	128.40	121.0
Demanda química de oxígeno	mg/l	431	417.0	392.0	359.0	331.0	302.0	292.0	278.0
Potencial de hidrogeno	pH	6.85	6.81	6.74	6.67	6.61	6.94	6.82	6.8
Solidos totales en suspensión	mg/l	120	98.00	101.00	95.23	92.43	90.89	91.4	89.67
Temperatura	° C	13.2	13.3	13.1	13.5	13.2	13.8	14.1	14.1
Coliformes termotolerantes	NM P/10 0ml	5900	2100	750	2300	850	400	240	70

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 4.1.1 Procesamiento de datos a la entrada y salida de cada componente

Utilizando los resultados de las tres tablas que contienen las 24 muestras tomadas los días 07, 14 y 21 de octubre del 2019 se evaluó la eficiencia de cada componente de la PTAR San José

##### 4.1.1.1 Evaluación de la eficiencia de la cámara de rejás

Para evaluar la eficiencia de esta componente se utilizó los resultados de los puntos de muestreo 1 y 2 es decir los resultados obtenidos al ingreso y a la salida de la cámara de rejás, para esto lo primero que se realizó es el cálculo de la media aritmética, es decir

Tabla 15  
*Evaluación de la eficiencia de la cámara de rejás*

Parámetros	Und	Puntos de muestreo		Eficiencia
		Ingreso a la cámara de rejás	salida de la cámara de rejás	
Aceites y Grasas	mg/l	1.25	1.11	10.70
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	186.87	181.70	2.76
Demanda química de oxígeno	mg/l	428.33	415.00	3.11
Potencial de hidrogeno	pH	6.97	6.92	0.72
Solidos totales en suspensión	mg/l	128.03	104.33	18.51
Coliformes terotolerantes	NMP/100ml	6333.33	2666.67	57.89

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

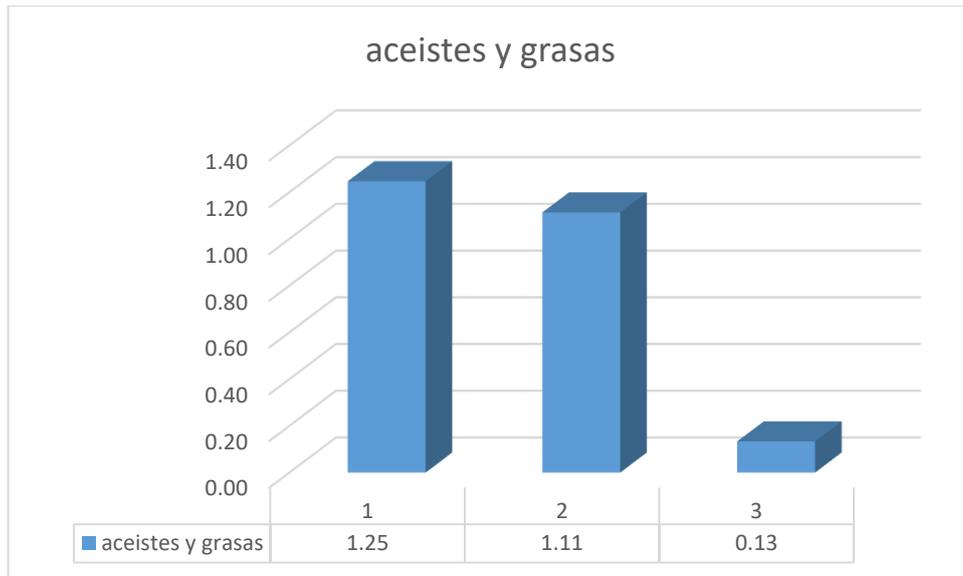


Figura 17. Remoción de aceites y grasas en la cámara de rejillas  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

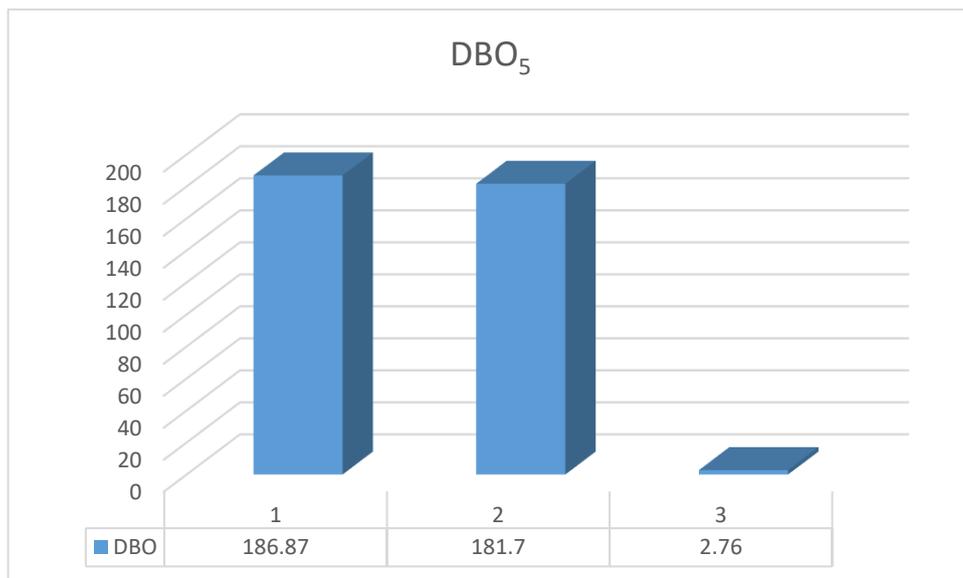


Figura 18. Remoción de DBO<sub>5</sub> en la cámara de rejillas  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

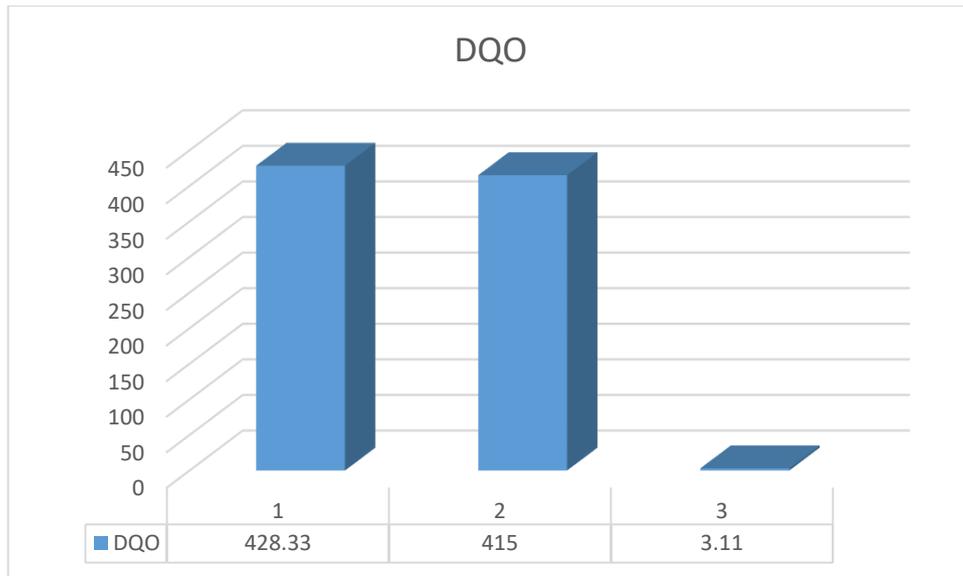


Figura 19. Remoción de DQO en la cámara de rejillas  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

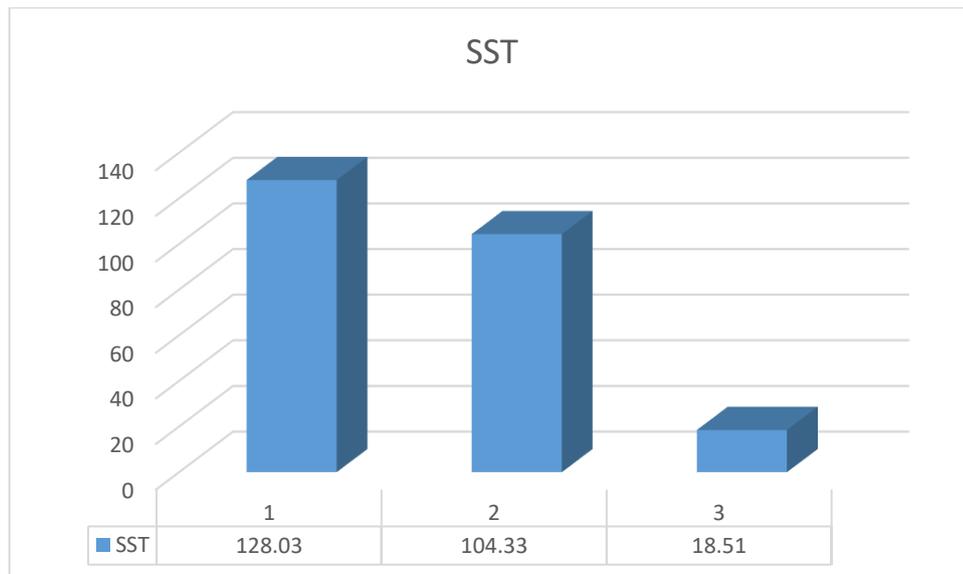


Figura 20. Remoción de SST en la cámara de rejillas  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

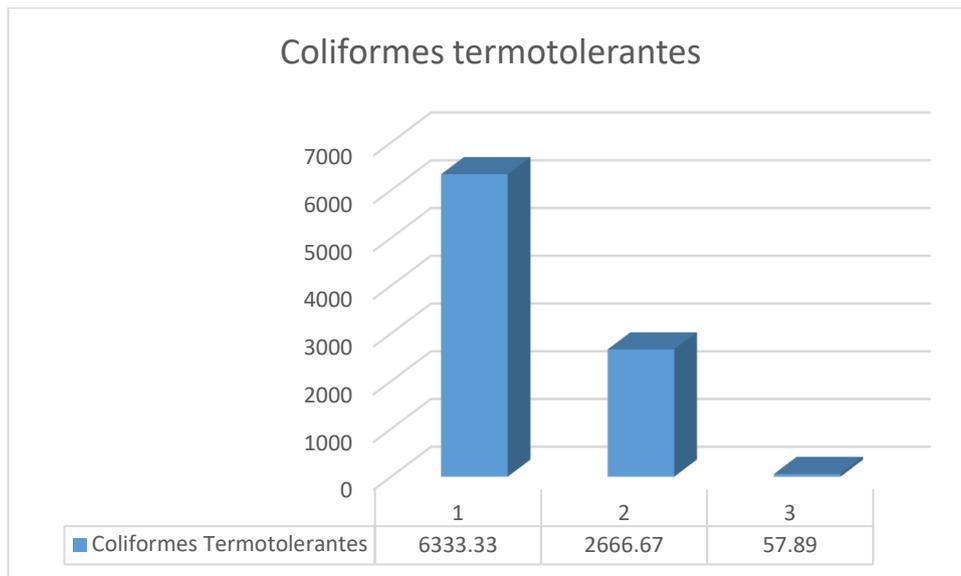


Figura 21. Remoción de coliformes termotolerantes en la cámara de rejás  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

En la tabla 15 vemos que la eficiencia de la cámara rejás en la remoción de contaminantes está dada por aceites y grasas 10.7%, demanda bioquímica de oxígeno 2.76%, demanda química de oxígeno 3.11%, pH 0.72%, sólidos suspendidos totales 18.51% y coliformes termotolerantes con un 57.89%

La tabla 15 indica que la cámara de rejás tiene una eficiencia en la remoción de DBO<sub>5</sub> 2,76 y DQO del 3,11% y para aceites y grasas el porcentaje es 10.7%, esto no es muy significativo ya que el afluente ingresa con solamente 1.25mg/l, también podemos mencionar que la eficiencia de los sólidos suspendidos totales es de un 18.21% por lo que podemos indicar que esta es relativamente buena y finalmente vemos que el porcentaje más alto de eficiencia lo tienen los coliformes termotolerantes, se consultó con la bióloga . M. Sc. Eva Laura Docente de la Escuela Profesional de Biología de la UNA, la cual indica que esto se debe a que la muestra se tomó en la trampa de grasas

#### 4.1.1.2 Evaluación de la eficiencia de la trampa de grasas

Para evaluar la eficiencia de esta componente se utilizó los resultados de los puntos de muestreo 2 y 3 es decir los resultados obtenidos a la salida de la cámara de rejillas y a la salida de la trampa de grasas, para esto lo primero que se realizó es el cálculo de la media aritmética, es decir:

Tabla 16  
*Evaluación de la eficiencia de la trampa de grasas*

Parámetros	Und	Puntos de muestreo		Eficiencia
		salida de la cámara de rejillas	salida de la trampa de grasas	
Aceites y grasas	mg/l	1.11	0.36	67.96
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	181.70	170.97	5.91
Demanda química de oxígeno	mg/l	415.00	390.00	6.02
Potencial de hidrogeno	pH	6.92	6.73	2.79
Solidos totales en suspensión	mg/l	104.33	111.97	-7.32
Coliformes terotolerantes	NMP/100ml	2666.67	850.00	68.13

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

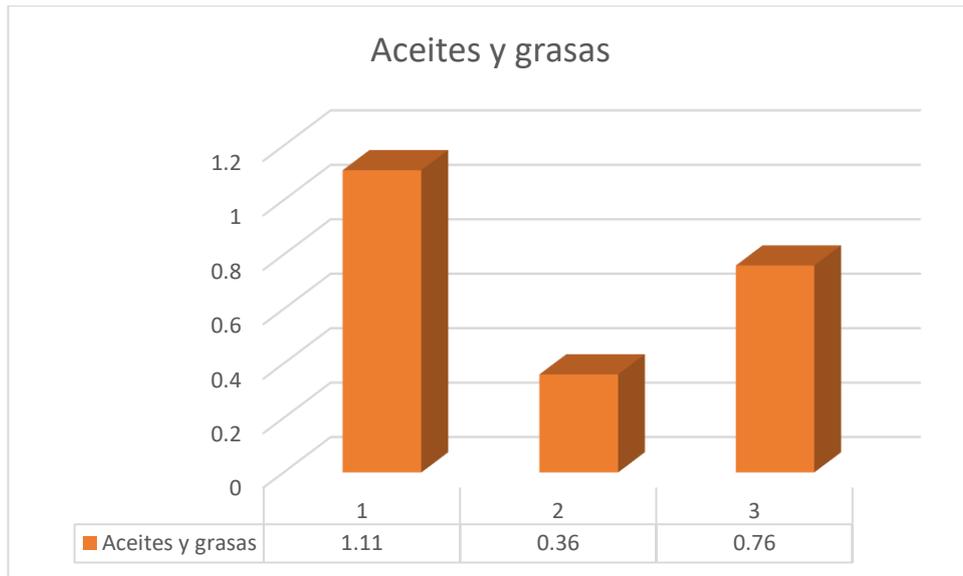


Figura 22. Remoción de aceites y grasas en la trampa de grasas  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

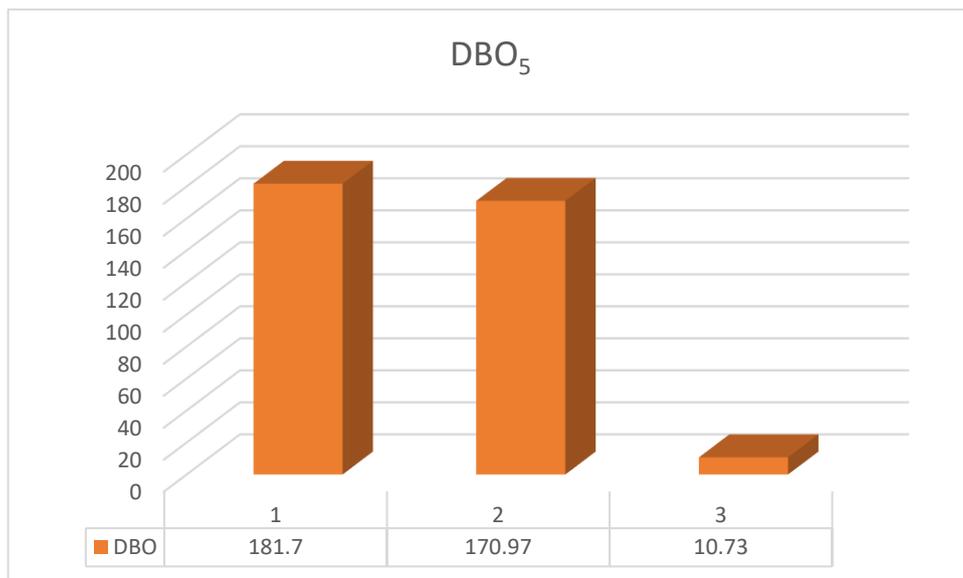


Figura 23. Remoción de DBO<sub>5</sub> en la trampa de grasas  
*Elaborado por el equipo de trabajo*

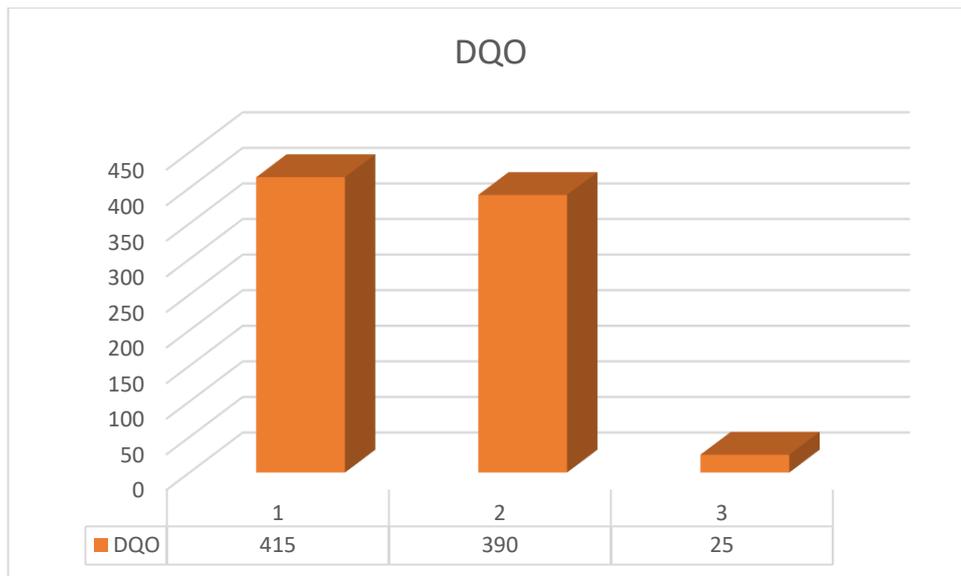


Figura 24. Remoción de DQO en la trampa de grasas  
*Elaborado por el equipo de trabajo*

En la tabla 16 vemos que la eficiencia de la componente trampa de grasas en la reducción de contaminantes es muy significativa en el parámetro aceites y grasas, lo cual indica que la trampa de grasas está cumpliendo satisfactoriamente con la función de remoción de este parámetro, pero no podemos indicar lo mismo de los otros parámetros ya que por ejemplo la  $DBO_5$  y DQO son removidos en un 5.91 y 6.02%, esto se debe a que la componente trampa de grasas es solamente un pre tratamiento, otro punto resaltante que se puede apreciar es en el parámetro sólidos totales en suspensión, esto indica que trampa de grasas no remueve dichos sólidos en suspensión.

#### 4.1.1.3 Evaluación de la eficiencia del sedimentador primario 1

Para evaluar la eficiencia de esta componente se utilizó los resultados de los puntos de muestreo 3 y 4 es decir los resultados obtenidos a la salida de la trampa de grasas y a la salida del Sedimentador primario 1, para esto lo primero que se realizó es el cálculo de la media aritmética, es decir:

Tabla 17  
*Evaluación de la eficiencia del sedimentador primario 1*

Parámetros	Und	Promedio puntos de muestreo		Eficiencia
		Salida de la trampa de grasas	Salida del sedimentador 1	
Aceites y grasas	mg/l	0.36	0.21	42.06
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	170.97	159.20	6.88
Demanda química de oxígeno	mg/l	390.00	363.33	6.84
Potencial de hidrogeno	pH	6.73	6.70	0.40
Solidos totales en suspensión	mg/l	111.97	98.54	11.99
Coliformes terotolerantes	NMP/100ml	850.00	1900.00	-123.53

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

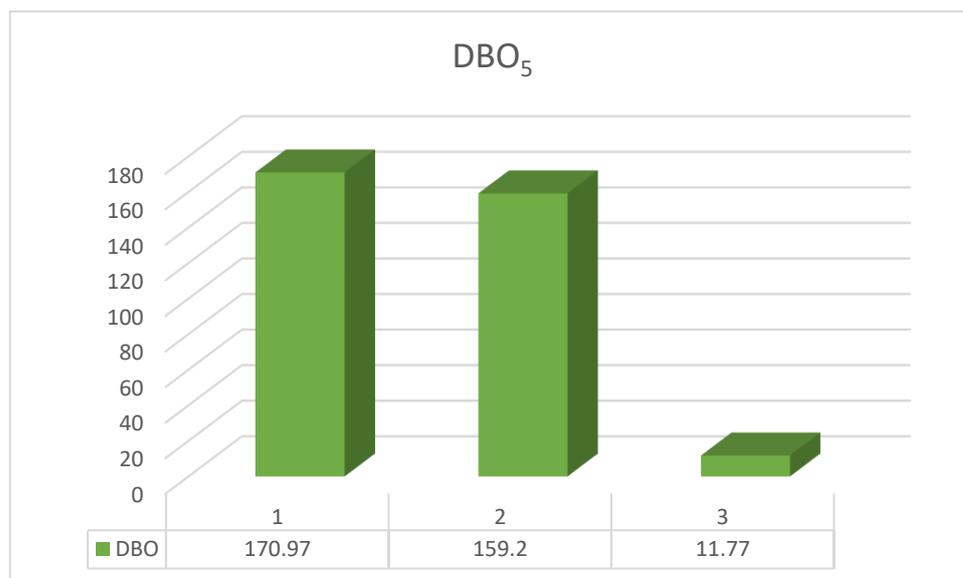


Figura 25. Remoción de DBO<sub>5</sub> en el sedimentador 1  
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

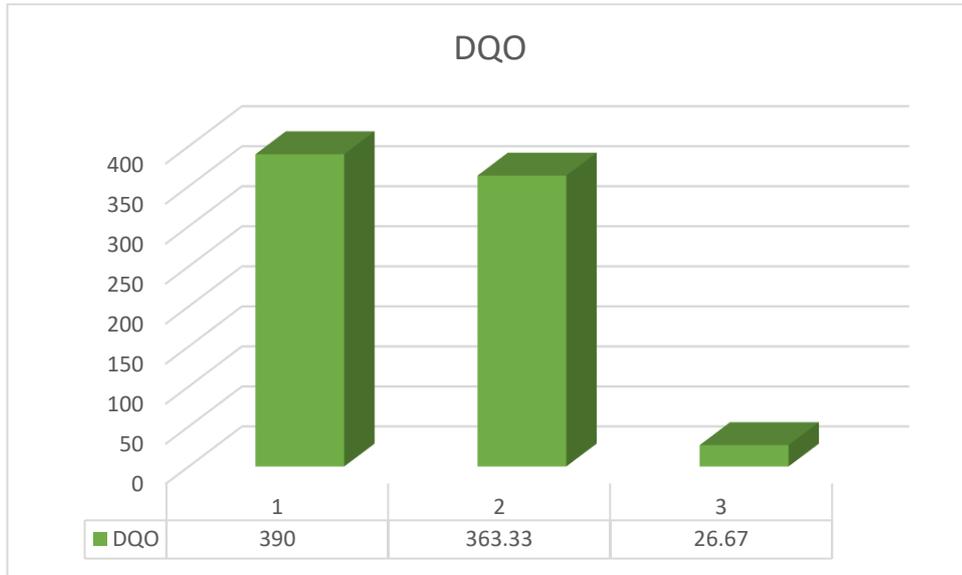


Figura 26. Remoción de DQO en el sedimentador 1  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

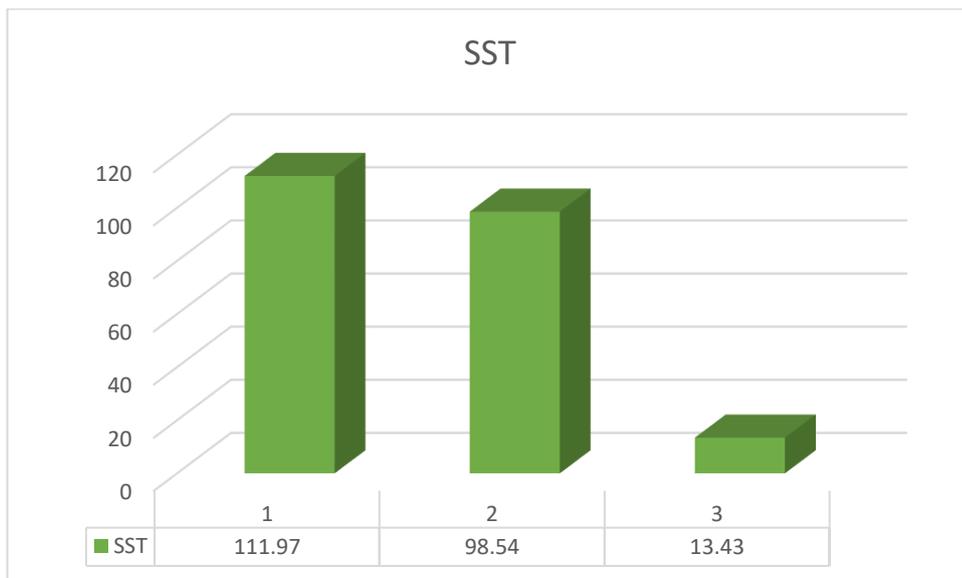


Figura 27. Remoción de SST en el sedimentador 1  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 17 se indica que el porcentaje de remoción más elevado sin mencionar al parámetro aceites y grasas es la remoción de solidos totales en suspensión con una eficiencia de 11.99%, en la tabla 7, se tiene que la eficiencia de un sedimentador primario tiene un porcentaje de eficiencia que varía entre 50-65 en Solidos suspendidos, esto indica que el sedimentador 1 tiene una eficiencia baja, otro punto importante es la remoción de



DBO<sub>5</sub> y DQO con un 6.88% y 6.84% que, aunque son bajos son aceptables ya que, seguidamente se complementa con otro sedimentador

#### 4.1.1.4 Evaluación de la eficiencia del sedimentador primario 2

Para evaluar la eficiencia de esta componente se utilizó los resultados de los puntos de muestreo 4 y 5 es decir los resultados obtenidos a la salida del sedimentador 1 y a la salida del sedimentador 2, para esto lo primero que se hizo es el cálculo de la media aritmética, es decir:

Tabla 18

*Evaluación de la eficiencia del sedimentador primario 2*

Parámetros	Und	Promedio puntos de muestreo		Eficiencia
		Salida del sedimentador 1	Salida del sedimentador 2	
Aceites y grasas	mg/l	0.21	0.16	22.58
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	159.20	146.20	8.17
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	363.33	334.33	7.98
Potencial de hidrogeno	pH	6.70	6.70	0.05
Solidos totales en suspensión	mg/l	98.54	93.18	5.45
Coliformes terotolerantes	NMP/100ml	1900.00	800.00	57.89

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

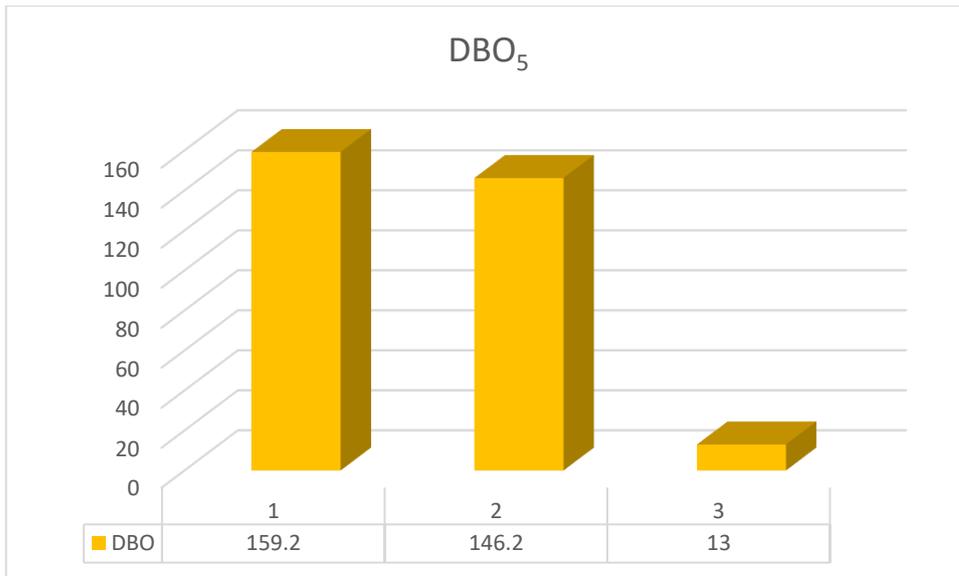


Figura 28. Remoción de DBO<sub>5</sub> en el sedimentador 2  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

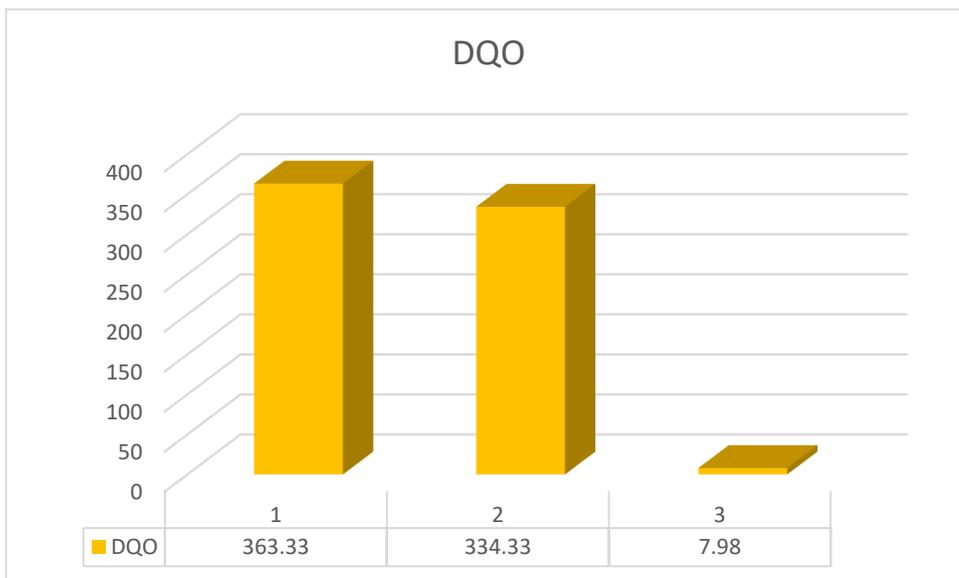


Figura 29. Remoción de DQO en el sedimentador 2  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

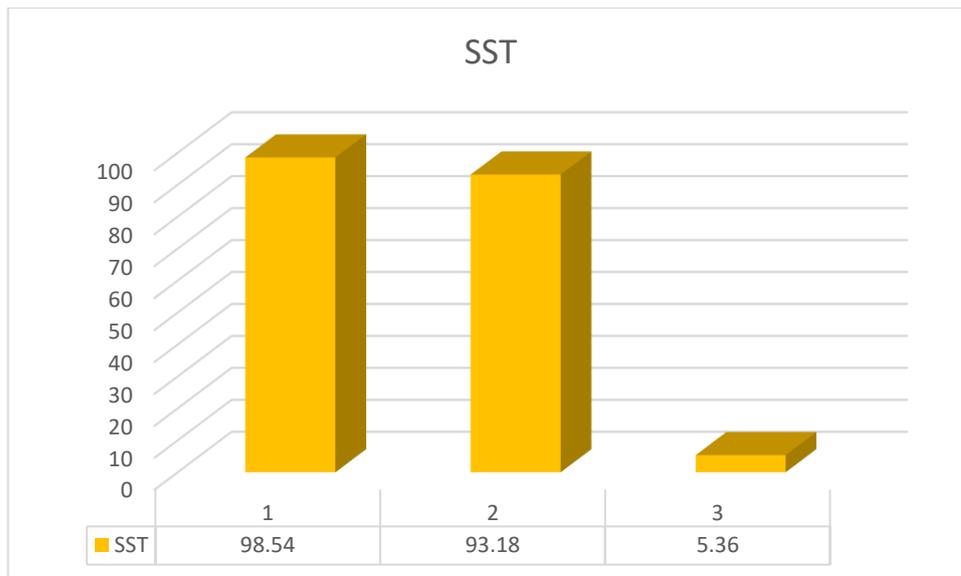


Figura 30. Remoción de SST en el sedimentador 2  
*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*

Como muestra la tabla 18 observamos que la eficiencia en la remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO es de 8.17% y 7.98% los cuales son más elevados que el primer sedimentador pero la remoción de los sólidos totales en suspensión bajo a 5.45% esto indica que ya alcanzo el límite de su eficiencia, además la remoción de coliformes es de 57.89% un porcentaje bastante elevado esto se da por las alturas de cada sedimentador

#### 4.1.1.5 Evaluación de la eficiencia del filtro de arena y grava

Para evaluar la eficiencia de esta componente se utilizó los resultados de los puntos de muestreo 5 y 6 es decir los resultados obtenidos a la salida del sedimentador 2 y a la salida del filtro de arena y grava, para esto lo primero que se determinó es el cálculo de la media aritmética, es decir:

Tabla 19  
*Evaluación de la eficiencia del filtro de arena y grava*

Parámetros	Und	Promedio puntos de muestreo		Eficiencia
		Salida del sedimentador 2	Salida del filtro de arena y grava	
Aceites y grasas	mg/l	0.16	0.12	27.08
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	146.2	134.07	8.30
Demanda química de oxígeno	mg/l	334.33	307.33	8.08
Potencial de hidrogeno	pH	6.7	6.95	-3.73
Solidos totales en suspensión	mg/l	93.18	89.36	4.09
Coliformes terotolerantes	NMP/100ml	800	376.67	52.92

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la tabla 19, se aprecia que la eficiencia de la componente filtro de arena y grava en la remoción de  $DBO_5$  y DQO es de 8.3% y 8.08% lo que indica que tiene un mayor porcentaje de remoción que los sedimentadores 1 y 2, además se menciona que el pH aumenta esto debido a que en este filtro el agua se pone color verdoso y por eso que aumenta el valor de pH.

#### 4.1.1.7 Evaluación de la eficiencia del filtro percolador

Para evaluar la eficiencia de esta componente se utilizó los resultados de los puntos de muestreo 6 y 7 es decir los resultados obtenidos a la salida del filtro de arena y grava y a la salida del filtro percolador, para esto lo primero que se determinó es el cálculo de la media aritmética, es decir:

Tabla 20  
*Evaluación de la eficiencia del filtro percolador*

Parámetros	Und	Promedio puntos de muestreo		Eficiencia
		Salida del filtro de arena y grava	Salida del filtro percolador	
Aceites y grasas	mg/l	0.12	0.09	25.71
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	134.07	129.13	3.68
Demanda química de oxígeno	mg/l	307.33	296.33	3.58
Potencial de hidrogeno	pH	6.95	6.83	1.77
Solidos totales en suspensión	mg/l	89.36	90.03	-0.75
Coliformes terotolerantes	NMP/100ml	376.67	216.67	42.48

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Observando la tabla 20, notamos que la eficiencia de la componente filtro percolador siendo este un tratamiento secundario es bajo pues el porcentaje de remoción en DBO<sub>5</sub> y DQO es solamente de 3.68% y 3.58%, también otro problema surge en la no remoción de solidos totales en suspensión, lo cual indica que el filtro percolador está fallando

#### 4.1.1.8 Evaluación de la eficiencia de los humedales artificiales

Para evaluar la eficiencia de esta componente se utilizó los resultados de los puntos de muestreo 7 y 8 es decir los resultados obtenidos a la salida del filtro de arena y grava y a la salida del filtro percolador, para esto lo primero que se determinó es el cálculo de la media aritmética, es decir:

Tabla 21  
*Evaluación de la eficiencia de los humedales artificiales*

Parámetros	Und	Promedio puntos de muestreo		Eficiencia
		Salida del filtro percolador	Salida de los humedales artificiales	
Aceites y grasas	mg/l	0.09	0.07	15.38
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	129.13	122.00	5.52
Demanda química de oxígeno	mg/l	296.33	281.33	5.06
Potencial de hidrogeno	pH	6.83	6.81	0.29
Solidos totales en suspensión	mg/l	90.03	84.48	6.17
Coliformes terotolerantes	NMP/100ml	216.67	56.67	73.85

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la tabla 21, se ve que la componente humedales artificiales tiene una eficiencia en la remoción de  $DBO_5$  de 5.52% y DQO de 5.06%, al comparar estos resultados con los obtenidos a la salida de la componente filtro percolador se ve que tiene una eficiencia levemente superior, finalmente se observa que la remoción del parámetro coliformes termotolerantes es de 73.85%.

#### 4.1.1.9 Comparación con los límites máximos permisibles

Para poder realizar esta comparación se utilizó los resultados obtenidos en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales con los LMP, para esto lo primero que se determinó es la media aritmética de las tres muestras en el efluente es decir:

TABLA 22  
*Comparación del efluente con los LMP*

Parámetros	Und	Promedio	LMP	Comparación
		Efluente de la PTAR		
Aceites y grasas	mg/l	0.07	20	cumple
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	122.00	100	no cumple
Demanda química de oxígeno	mg/l	281.33	200	no cumple
Potencial de hidrogeno	pH	6.81	6.5-8.5	cumple
Solidos totales en suspensión	mg/l	84.48	150	cumple
Coliformes terotolerantes	NMP/100ml	56.67	10000	cumple
Temperatura	°C	14.03	<35	cumple

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la tabla 22, se ve que al comparar el efluente final de la PTAR con los LMP los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO no cumplen con la normativa, mientras que aceites y grasas, pH, SST, coliformes termotolerantes y temperatura si cumplen con los limites maximos permisibles.

#### 4.1.1.10 Comparación con los estandares de calidad ambiental para riego

Para poder realizar esta comparación se utilizó los resultados obtenidos en el efluente de la Planta de tratamiento de aguas residuales con los Estandares de Calidad Ambiental para riego obtenidos del DECRETO SUPREMO N° 004-2017-

MINAM, para esto lo primero que se determino es la media aritmética de las tres muestras en el efluente, es decir:

Tabla 23

*Comparación del efluente con los ECA*

Parámetros	Und	Promedio	ECA para riego	Comparación
		Efluente de la PTAR		
Aceites y grasas	mg/l	0.07	5	cumple
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	122.00	15	no cumple
Demanda química de oxígeno	mg/l	281.33	40	no cumple
Potencial de hidrogeno	pH	6.81	6.5-8.4	cumple
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	56.67	1000	cumple

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la tabla 23, se ve que al comparar el efluente final de la PTAR con los ECA los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO no cumplen con la normativa, mientras que Aceites y Grasas, pH y Coliformes Termotolerantes si cumplen con los ECA categoría 3 (subcategoría D1).

#### 4.1.1.11 Evaluación de la eficiencia de los tratamientos biológicos

Para poder calcular la eficiencia en la remoción de contaminantes de los tratamientos biológicos, utilizaremos los puntos de muestreo 1 y 8 es decir el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, para esto se determinó la media aritmética de los resultados de los tres muestreos

Tabla 24  
*Eficiencia de los tratamientos biológicos de la PTAR San José*

Parámetros	Und	Promedio puntos de muestreo		Eficiencia
		Afluente de la PTAR	Efluente de la PTAR	
Aceites y grasas	mg/l	1.25	0.07	94.40
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	186.87	122.00	34.71
Demanda química de oxígeno	mg/l	428.33	281.33	34.32
Potencial de hidrogeno	pH	6.97	6.81	2.30
Solidos totales en suspensión	mg/l	128.03	84.48	34.02
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	6333.33	56.67	99.11

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

## 4.2 Discusión

Al evaluar la eficiencia de los tratamientos biológicos en la remoción de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José, según la tabla 24, se tiene 34.71% de remoción en DBO<sub>5</sub>, 34.32% de remoción en DQO y 34.02% de remoción en solidos totales en suspensión, estos resultados son los más resaltantes, puesto que tienen menor % de remoción que todos los parámetros evaluados. Estos resultados son inferiores a los obtenidos por Lavagnino (2016), quien señala que el tratamiento biológico utilizado en su investigación, logra una remoción del 60% de los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO y solidos suspendidos, al comparar ambos resultados con la tabla 6, podemos indicar que ambas investigaciones están por debajo de los 80-95% para DBO<sub>5</sub>



que se indica en Alianza por el agua (2008) para plantas de tratamiento que cuenten con tratamiento secundario.

En lo que respecta a la cámara de rejillas y trampa de grasas en la remoción de contaminantes, se observa que según las tablas 15 y 16 la capacidad de remoción del pretratamiento, en el periodo de estudio es de 8.51% en  $DBO_5$ , es decir se encuentra sobre los valores 5-10% que indica (Alianza por el agua, 2008).

En cuanto a la eficiencia de remoción de contaminantes del sedimentador 1 y sedimentador 2, según las tablas 17, 18 el % de remoción en  $DBO_5$  es 6.88% y 8.17% respectivamente, al contrastar estos resultados con los obtenidos por Cuba (2019), quien señala que los sedimentadores 01 y 02 de la PTAR del distrito Jose Domingo Choquehuanca tienen una remoción promedio de 10.29% y 16.92%, podemos ver que los resultados se aproximan ligeramente, pero ambos están muy por debajo de los 30-40% que indica Romero J. (2010) para  $DBO_5$  y DQO; por otra parte en la investigación realizada por Lavagnino (2016) si se cumplen estos porcentajes ya que el sedimentador de dicha PTAR para los meses de febrero, marzo y abril alcanza una eficiencia de 41.86% en remoción de DQO y 38.18% en  $DBO_5$

En lo que concierne a los filtros de arena y grava según la tabla 19, se aprecia una eficiencia de remoción de 8.3% en  $DBO_5$ , al comparar este resultado con lo encontrado por Cuba (2019), quien señala que de un total de 15 muestras realizadas a los filtros de arena y grava, se obtuvo una remoción promedio del 10.90% en  $DBO_5$ , se ve que la planta de tratamiento del distrito de San José tiene 2.6% menos eficiencia.

Al evaluar la eficiencia de los filtros percoladores, vemos que es la componente más relevante de la investigación realizada ya que según la tabla 20, los porcentajes de remoción de  $DBO_5$  y DQO son los más bajos de todo el sistema de tratamiento con un 3.68% y 3.58% respectivamente, al confrontar estos resultados con los obtenidos por



Ramires (2012), el cual señala que la eficiencia promedio de los filtros percoladores en remoción de  $DBO_5$  es de 32.62%, vemos que existe una diferencia del 28.94% esto debido a que el filtro percolador de la planta de tratamiento del distrito de San José, no tiene la eficiencia esperada; por otro lado Chuchón & Aybar (2002) en su investigación en la planta de tratamiento de aguas residuales la totora de Ayacucho, concluyen que la capacidad de remoción de  $DBO_5$  en los filtros percoladores se mantienen con valores por debajo del valor del parámetro de diseño (86% de remoción de  $DBO_5$ ). Se observó también que los valores más bajos se obtuvieron en los meses de marzo con 56.7% y julio con un 60.3% de remoción de  $DBO_5$ , estas variaciones se deben a que el agua ingresa con una alta carga de materia orgánica al filtro. Indica también que esto sea posiblemente debido a que se definió como condición inicial las siguientes características de aguas a tratar: para el horizonte 2010 y 2020 valores de ingreso a la planta de 204 mg/l y 208 mg/l de  $DBO_5$  respectivamente, estos valores no representan la realidad porque los resultados obtenidos desde el mes de marzo el agua residual cruda ingresa a la planta con valores de  $DBO_5$  mayores a 250 mg/l (251.5 mg/l de  $DBO_5$  en marzo) alcanzando en julio el valor más alto con 408.5 mg/L de  $DBO_5$  como promedio mensual. Estos valores discordantes habrían generado un inadecuado dimensionamiento de las unidades de tratamiento, generando deficiencias en su capacidad de remoción, en el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José, no se tiene información acerca de las condiciones iniciales para las que fue diseñada. Tchobanoglous & Burton (1995), consideran una remoción adecuada de 80 a 90% de  $DBO_5$  para filtros percoladores. valores muy superiores a los obtenidos en la presente investigación. De Leon (2017) en su investigación concluye que en los filtros percoladores, si el sistema de aspersión no trabaja correctamente, la eficiencia disminuye, también indica que si el área de mojado es mayor, mayor es la eficiencia, apoyándonos en esta investigación podemos, indicar



que uno de los motivos por los que la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José, tiene una eficiencia baja es debido al sistema de aspersion, tiene un área de mojado menor al área existente, sin embargo, al mejorar la operación y mantenimiento de los filtros, el sistema de aspersores trabajará de manera más eficiente. En cambio Jaramillo & Jesús (2018) al diseñar y construir filtros percoladores en serie y al realizar mediciones luego de 40 días, obtuvo una eficiencia de 98.12%, 96.36% y 95.76% para DBO<sub>5</sub>, DQO y SST, estos resultados difieren enormemente con la presente investigación ya que los valores obtenidos en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José están muy por debajo de estos. Ramirez (2012) indica que al considerar solamente al filtro percolador, la etapa I alcanza una eficiencia promedio del 71.71%, la etapa II del 25.08% y la etapa III del 3.97%, este tipo de tratamiento tiene una mejor eficiencia, en comparación con los otros sistemas mencionados. Amezquita & Bejarano (2018) evaluaron un filtro percolador de sección circular de lecho sintético, donde determinaron la eficiencia de remoción para la DBO<sub>5</sub> de 80.3%, y en la presente investigación la eficiencia de remoción máxima alcanzada para la DBO<sub>5</sub> fue de 34.71%, esta diferencia significativa en la eficiencia de remoción se le atribuye al tipo de filtro percolador de sección cuadrada de lecho de piedra o natural que tiene una menor capacidad de remoción. Por otra parte Barrera et al (2018) determinó que el filtro percolador de lecho de piedra con sección rectangular logra remover como promedio; el 18.99% de DQO, el 16.95% de DBO, al comparar estos resultados con los de la presente investigación podemos apreciar que los valores obtenidos en la PTAR San Jose son inferiores en 15.31% en DBO y 13.37% en DQO, de acuerdo a los resultados de estos dos estudios se puede decir que ninguno alcanza la eficiencia de remoción esperada. Juarez (2019) en su investigación concluye que los filtros percoladores no cumplen las características técnicas recomendados por la Norma técnica OS 090 para el diseño de



filtro percoladores, también concluye que el tipo de filtro percolador de sección cuadrada con una distribución fija no optimiza el uso total del medio filtrante construido, esta diferencia se debe al sistema de distribución fija mediante tubería cribada que no distribuye de forma uniforme el agua residual sobre el lecho filtrante y a la forma cuadrada de la estructura del filtro percolador, debido a que en las esquinas se generan zonas muertas (no tiene contacto de las aguas residuales). De la contrastación de los resultados de los diferentes investigadores que analizaron y evaluaron plantas de tratamiento con filtros percoladores citados en la presente investigación, se deduce que los filtros percoladores de sección cuadrada o rectangular con sistemas de distribución fija y medio filtrante natural (piedras) no logran remover eficientemente los contaminantes del agua residual, porque la forma del diseño y el sistema de distribución fija no favorece el uso máximo de medio filtrante; pero ninguna tiene la eficiencia que se obtiene en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José, ya que esta, es la que tiene menor eficiencia de todas las investigaciones, por otra parte según la Norma técnica OS 90, el tratamiento previo recomendable para filtros percoladores es una sedimentación primaria, lo cual no se cumple en la PTAR del distrito de San José, puesto que el tratamiento que precede a los filtros percoladores, son los filtros de arena y grava y los que preceden a estos son los sedimentadores primarios; se todo esto se verifica que, estos filtros de arena y grava, reducen la eficiencia de los filtros percoladores. Estas afirmaciones se pudieron corroborar con los resultados obtenidos por Cuba (2019), quien recomienda que el tratamiento previo y posterior a los filtros percoladores sean con sedimentadores.

Con respecto a los humedales artificiales Jaramillo-Gallego & Agudelo-Cadavid (2016) en su investigación señalan que al usar humedales artificiales se logró mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento en 7,1% para  $DBO_5$ , 4,1% para DQO, 56,9% para



solidos totales y 117.2% para solidos suspendidos totales, tambien menciona que se podrian obtener mayores eficiencias, si se logra mejorar el sistema de tratamiento primario, según la tabla 21 para eficiencia de humedales artificiales en la PTAR del distrito de San Jose, se tiene 5.52% en  $DBO_5$ , 5.06% en DQO y 6.17% para solidos totales en suspensión; al comparar estos resultados vemos que la  $DBO_5$  y la DQO tienen resultados similares pero para los solidos totales en suspension hay una diferencia de 110.03%, esto debido a que el tratamiento anterior a los humedales artificiales son los filtros percoladores.

Al comparar los parametros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San Jose, con los limites maximos permisibles, vemos que según la tabla 22, se tiene que los unicos parametros que no cumplen con lo que se indica en el D.S. N° 003-2010-MINAM, son la  $DBO_5$  y la DQO. Estos resultados son los mismos que encuentra Arocutipa (2013), quien al comparar los valores determinados en el efluente con los LMP establecidos en el D.S. 003-2010-MINAM, concluye que el nivel de contaminación es alto y que los parametros ya que los parametros a la salida del efluente para  $DBO_5$  y DQO, superan los LMP en mas del doble, con lo cual el agua residual no cumple con los LMP para poder ser vertida al cuerpo receptor. Asi tambien Fernandez (2018) en su trabajo de investigacion indica que los parametros analizados no cumplen con los LMP que indica la normativa vigente.

Al comparar los parametros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San Jose, con los estandares de calidad ambiental, vemos que según la tabla 23, se tiene que los unicos parametros que no cumplen con lo que indica en el D.S.N° 004-2017 MINAM, son  $DBO_5$  y DQO. Estos resultados son los mismos que obtiene Mamani C. (2018), quien en su investigacion señala que los valores obtenidos en el efluente de la planta de tratamiento para la  $DBO_5$  reporta valores de 78mg/l y para la



DQO reporta valores de 130mg/l, esto indica que no cumplen con los estandares de calidad ambiental, lo que indica que la materia orgánica es degradada por los microorganismos y ocasiona que se consuma el oxigeno.



## V. CONCLUSIONES

La remoción de contaminantes de todo el tren de tratamiento tiene un porcentaje de eficiencia de 94.4% en aceites y grasas, 34.71% en DBO, 34.32% en DQO, 2.3% en pH, 34.02% en sólidos suspendidos totales y 99.11% en coliformes termotolerantes, por lo que podemos señalar que esta planta no está funcionando correctamente y que los parámetros del efluente no están cumpliendo con la normativa vigente.

La remoción de contaminantes por parte de la componente cámara de rejillas tiene un porcentaje de eficiencia en Aceites y Grasas del 10.7%, demanda bioquímica de oxígeno 2.76%, demanda química de oxígeno 3.11%, pH 0.72%, sólidos suspendidos totales 18.51% y coliformes termotolerantes con un 57.89%.

La componente trampa de grasas tiene una remoción del 67.96% en aceites y grasas, lo cual indica que dicha componente está cumpliendo con la función de remoción de este parámetro; y además al calcular la eficiencia del pretratamiento (cámara de rejilla – trampa de grasas), podemos señalar que funciona correctamente ya que tiene un % de eficiencia aceptable.

El sedimentador 1 tiene una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes del parámetro SST del 11.99% y eficiencias de reducción de DBO<sub>5</sub> y DQO del 6.88% y 6.84%, además se tiene que el sedimentador 2 remueve DBO<sub>5</sub> y DQO en 8.17% y 7.98% los cuales son más elevados que el primer sedimentador pero la remoción de los sólidos totales en suspensión bajo a 5.45%, por lo que podemos señalar que siendo los sedimentadores 1 y 2, tratamientos primarios, no funcionan correctamente y no cumplen con el % de remoción esperado.

La componente filtro de arena y grava tiene una remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO de 8.3% y 8.08%, lo que indica que tiene un mayor porcentaje de remoción que los



sedimentadores 1 y 2; a pesar de eso podemos indicar que esta componente no funciona eficientemente.

La eficiencia de la componente filtro percolador siendo este un tratamiento secundario es bajo, pues el porcentaje de remoción en  $DBO_5$  y DQO es solamente de 3.68% y 3.58%, por lo que podemos señalar que este tratamiento secundario, no funciona eficientemente.

Los humedales artificiales tienen una eficiencia de remoción en  $DBO_5$  de 5.52% y DQO de 5.06%, por lo que podemos indicar que esta componente no funciona eficientemente.

Al comparar los resultados obtenidos en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales con los límites máximos permisibles, vemos que los parámetros aceites y grasas, pH, sólidos suspendidos totales, coliformes termotolerantes y temperatura cumplen con lo que se indica en el D. S. N° 003-2010-MINAM, mientras que la  $DBO_5$  y la DQO no cumplen con el D. S. N° 003-2010-MINAM.

Al comparar los resultados obtenidos en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales con los estándares de calidad ambiental, vemos que los parámetros aceites y grasas, pH, y coliformes termotolerantes cumplen con lo que se indica en el D. S. N° 004-2017-MINAM, mientras que los parámetros que no cumplen esta normativa son  $DBO_5$  y DQO.



## VI. RECOMENDACIONES

Se sugiere para posibles investigaciones relacionadas, evaluar la eficiencia en la remoción de contaminantes, de un sistema compuesto por filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales, puesto que los filtros percoladores de las plantas de tratamiento de aguas residuales construidos en la región de Puno, trabajan de forma independiente.

Incentivar investigaciones que impliquen realizar un análisis y tratamiento de lodos residuales generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, para utilizarlos como agregado en materiales de construcción.

Se recomienda seguir estudiando, este tipo de tratamientos biológicos, para lo cual se sugiere realizar investigaciones de los tratamientos primarios que preceden a los tratamientos secundarios; es decir evaluar la eficiencia en la remoción de contaminantes de plantas de tratamiento de aguas residuales que cuenten con el siguiente tren de tratamiento: semimentadores - filtros percoladores y compararlos con plantas de tratamiento de aguas residuales que tengan el tren de tratamiento: sedimentadores - filtros de arena y grava - filtros percoladores, puesto que estos últimos tienen una eficiencia por debajo de lo esperado.



## VII. REFERENCIAS

- Aguirre, N., & Yanac, A. (2018). Determinación de parámetros biocinéticos del agua residual del colector raymondi, en un sistema de lodos activados a escala de laboratorio; Huaraz-Ancash, diciembre 2015 - mayo 2016. *Tesis de ingeniería*. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Huaraz.
- Alianza por el agua. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. centroamerica: ARPLrelieve.
- Amezquita, D., & Bejarano, P. (2018). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Gachancipa. (*Trabajo de Grado*). Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- Arias, C. (2005). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Revista científica general Jose Maria Cordova*, 6.
- Arias, O. (2004). Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial. *Tesis*. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental, Barcelona.
- Arocutipa, J. (2013). Evaluación y propuesta técnica de una planta de tratamiento de aguas residuales en Massiapo del distrito de Alto Inambari - Sandía. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Puno.
- Ayala, R., & Gonzales, G. (2008). Apoyo didáctico en la enseñanza - aprendizaje de la asignatura de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Proyecto de Grado*. Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba.
- Barrera, L., Ada, D., Lopez, E., Medina, E., Rivera, M., & Vallester, E. (2018). Evaluación del desempeño del filtro biológico de la Universidad Tecnológica de Panamá. *RIC*, 23-29. doi:<https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.1.1863>



- Bayas, L. (2018). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en poblaciones rurales de la sierra norte del Ecuador; aplicacion a la parroquia Lita. (*Trabajo final de master*). Universidad politecnica de Valencia, Valencia.
- Belzona. (2010). *Tratamiento de aguas residuales*. Miami: Belzona Inc.
- Bermeo, M. (2016). *Tratamiento de aguas residuales técnicas convencionales*. Guayaquil: EMSABA EP.
- Blas, A. (2018). Determinación y mejoramiento de la eficiencia del sistema de tanque séptico y filtro biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Jivia - Departamento de Huánuco. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional Sntiago Antúnez de Mayolo, Huaraz.
- Callata, J. (2014). Evaluación y propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales del Distrito de Ajoyani - Carabaya - Puno - 2013. (*Titulo de Ingeniero*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Campos, G. (2003). *Saneamiento Ambiental*. San Jose: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Campoverde, J. (2015). Analisis del efecto toxicológico que provoca el consumo humano de agua no potable, mediante la determinacion de cloro libre residual en aguas tratadas de las parroquias rurales del cantón cuenca. *Tesis de Maestría*. Universidad Estatal de Cuenca, Ecuador.
- CARE. (2009). *Care Peru Memoria Institucional*. Lima: Publimagen ABC sac.
- Carpio, N., & Vidalon, M. (2016). Evaluación Tecnologica pra la inhibicion de la acción corrosiva en el agua potable utilizando parametros de control y seguridad. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de San Agustín Arequipa, Arequipa.
- Chuchon, S., & Aybar, C. (2008). Evaluación de la capacidad de remocion de bacterias coliformes fecales y Demanda Bioquimica de Oxígeno de la Planta de



- Tratamiento de Aguas Residuales "La Tatora", Ayacucho, Perú. *Ecología Aplicada* 7(1-2), 165-171.
- Cuba, A. (2019). Evaluación de la remoción de carga orgánica y patógena en los sedimentadores y filtros verticales de la PTAR del distrito José Domingo Choquehuanca. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca.
- De Leon, R. (2017). Evaluación técnica y propuesta de mejora de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Delgadillo, o., Camacho, A., Perez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba: Centro andino para la gestión y uso del agua.
- Díaz, M. (2018). *Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.
- Ernestina, C. (2009). Efecto del ozono en la formación de subproductos del proceso TPA+cloro aplicado a agua residual. (*Grado de Maestro*). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Espinoza, R. (2010). Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores. (*Tesis de Grado*). Universidad de Piura, Piura.
- Fernández, Y. (2018). Evaluación, diagnóstico y propuestas de mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la localidad de Tambo Real Nuevo en el distrito de Chimbote, provincia de Santa - Ancash. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote.



- Garcia, D. (2015). Investigación sobre la aplicación de energía solar a una depuradora convencional de fangos activados. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Gonzalez, M. (2015). Optimización del tratamiento biológico de la planta de aguas residuales de papelera nacional S. A. *Tesis de Maestría*. Universidad Estatal de Guayaquil, Guayaquil.
- Jaramillo, A., & Jesús, P. (2018). Evaluación de la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Santa Lucía - Morales, 2018. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Peruana Unión, Tarapoto.
- Jaramillo-Gallego, M., & Agudelo-Cadavid, R. (2016). Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 20-29.
- Juarez, E. (2019). Remoción de la carga orgánica y patógena de las aguas residuales domésticas en los filtros percoladores ubicados en la zona ceja de montaña - Sandía. (*Tesis de pregrado*). Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Sandía.
- Lara, J. (1999). Depuración de aguas residuales con humedales artificiales. *tesis de Maestría*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Lavagnino, R. (2016). Eficiencia en la remoción de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, campus central. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Lozano, W. (2012). Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Bogotá.



- Luna, V., & Ramirez, H. (2004). Medios de soporte alternativos para la remocion de fosforo en humedales artificiales. *Revista internacional de contaminacion ambiental*, 9.
- Mamani, C. (2018). Evaluación de carga contaminante generado por el vertimiento de aguas residuales de la Municipalidad provincial de Yunguyo. *Tesis de pregrado*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Mamani, Y. (2017). Evaluación de la operatividad y rediseño de la laguna de estabilización del distrito de Ilave, Provincia de el Collao. (*Titulo de Ingeniero*). Universidad Nacional Del Altiplano, Puno.
- Marin, C., Solis, R., Lopez, G., Bautista, R., & Romellon, M. (2007). Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México. *Revista iberoamericana de las ciencias Biologicas y Agropecuarias*, 20.
- Martinez, M. (2016). Eficiencia en la remocion de la Demanda Bioquimica de Oxígeno, Demanda Quimica de Oxigeno y Solidos Suspendidos Totales en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendin. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional de Cajamarca, Celendin.
- Molina, M. (2015). Propuesta de tratamiento de aguas residuales en industria láctea. *Tesis de Grado*. Universidad San Francisco de Quito, Quito.
- Morales, G. (2008). *Tendencias de la investigacion en Ingenieria Ambiental*. Medellin: Logoformas S.A.
- Moratiel, R. (2017). *Riego en cultivos: Fundamentos y manejo*. Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Muñoz, A. (2014). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. *Monografia de Tesis*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Estado de Hidalgo.



- Murillo, M. (2011). Evaluación del proceso biológico anaerobio, en el sistema de tratamiento de aguas residuales de una compañía dedicada a la fabricación de galletas. *Trabajo final de graduación*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Paricahua, E. (2018). Evaluación de la operatividad de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de ayaviri, Provincia de Melgar - Puno. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Puno.
- Pedroza, E. (2001). *Canal parshall*. Jiutepec: IMTA.
- Peña, C., & Lara, J. (2012). Tratamiento de aguas de escorrentia mediante humedales artificiales: Estado del arte. *Ciencia e Ingenieria Neogranadina*, 25.
- Pérez, J. (2010). Caracterización de la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable y en la red de distribución de la ciudad de Yopal. (*Tesis Pregrado*). Universidad Industrial de Santander, Yopal.
- Perez, M., Sanchez, S., & Rojo, C. (2000). Funcion depuradora de los humedales II: una revision bibliografica sobre el papel del sedimento. *Humedales mediterraneos*, 8.
- Pidre, J. (2010). Influencia del tipo y granulometria del sustrato en la depuracion de las aguas residuales por el sistema de humedales artificiales de flujo vertical y horizontal. (*Tesis Doctoral*). Universidad de Cadiz, Cadiz.
- Pilato, A. (2017). Diseño del tratamiento biológico de fangos activos para la eliminacion de materia orgánica y nutrientes para una poblacion de 60000 habitantes equivalentes. *tesis de ingenieria*. Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales Valencia, Valencia.
- Prado, V. (2015). Aprovechamiento de aguas residuales en el patio taller de la linea 1 del metro de Lima. (*Titulo de Pregado*). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.



- Quintuña, J., & Samaniego, M. (2016). Evaluación Fisicoquímica y Microbiológica del Agua Potable de la Planta Potabilizadora del Cantón Chordeleg. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Raffo, E. (2013). Tratado del agua y la legislación peruana. *Revista de investigación*, 106-117.
- Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. New York: Editorial Reverte.
- Ramires, O. (2012). Investigación de la eficiencia de las etapas en serie del filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de San Carlos. *Tesis de Post Grado*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Reyes, M. (2016). Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas: desinfección y formación de subproductos. *Grado de Maestro*. Instituto Politécnico Nacional, Durango.
- Rigola, P. (1999). *Tratamiento de aguas industriales*. México: Alfa omega grupo editor.
- Rodríguez, A. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid: ELECÉ Industria Gráfica.
- Romero, J. (2010). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, M., Colin, A., Sanchez, E., & Ortiz, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 10.
- Rossi, M. (2010). *Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú*. Lima.
- Salguero, E. (2018). Análisis de piedra pomez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria florícola la Herradura FLoherrera S.A.,



- Ubicada en el Canton Salcedo. *Tesis de Pregrado*. Universidad Tecnica de Ambato, Ambato.
- Santiago, S. (2013). Efecto de picos de concentracion de compuestos Fenolicos Sobre Biomasa Granular Aerobia. *Grado de Magister*. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico.
- Suarez, C. (2011). Tratamiento de aguas municipales en el valle del cauca. (*Tesis de Magister*). Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Tchobanoglous, G., & Burton, F. (1995). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilizacion*. Aravaca: Impresos y Revistas, S. A.
- Torres, I. (2016). Propuesta de mejoramiento de las operaciones en la planta de tratamiento de agua residual en el municipio de la calera. *Tesis de Grado*. Universidad Católica de Colombia, cundinamarca.
- Vargas, K. (2015). Evaluación de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la remoción de parametros de las aguas residuales domesticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba, 2015. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Moyobamba.
- Vigueras, S. (2002). Digestión Anaerobia en una y dos etapas de lodos residuales secundarios pretratados químicamente. *Tesis de Maestria*. Universidad Autonoma Metropolitana Iztapalapa, Iztapalapa.
- Villamar, C., & Espinoza, P. (2019). Humedales artificiales microbianas como sistemas individuales y combinados para el tratamiento de aguas residuales: una revision. *Humedales Artificiales*, 23.
- Vivanco, E., Yaya, R., & Chamy, R. (s.f.). *Manual técnico sobre tecnologías biológicas anaerobias aplicadas al tratamiento de aguas y residuos industriales*.



## ANEXOS

ANEXO 1. Certificados de Laboratorio.

ANEXO 2. Monitoreo de la calidad de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José.

ANEXO 3. Panel Fotográfico.

ANEXO 4. Planos de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José.



## **ANEXOS 1. Certificados de Laboratorio**



Universidad Nacional del Altiplano - Puno  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
FACULTAD ACREDITADA  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD  
LQ - 2019



# Certificado de Análisis

Nº 001034

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL: PTAR  
**PROCEDENCIA** : DISTRITO SAN JOSE, PROVINCIA AZANGARO - PUNO  
**PROYECO** : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL DISTRITO DE SAN JOSE PROVINCIA DE AZANGARO"  
**INTERESADO** : Bach. REYNALDO AMILCAR APAZA MAMANI  
**MOTIVO** : Ejecución de Tesis  
**MUESTREO** : 07/10/2019, por el interesado  
**MUESTREO** : 07/10/2019

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

PARÁMETROS	UND	PUNTOS DE MUESTREO							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Aceites y Grasas	Mg/l	1.19	1.03	0.32	0.22	0.15	0.12	0.08	0.07
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	184.00	179.50	170.00	159.00	147	135.00	130.00	123.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	426.0	415.00	390.00	365.00	333.00	305.00	293.00	279.00
Potencial de Hidrogeno	pH	6.97	6.89	6.77	6.81	6.78	6.96	6.80	6.79
Solidos totales en suspensión	mg/L	129.1	105	106.6	94	87.8	82.3	85.2	80.21
Temperatura	° C	14.4	14.3	14.4	14.3	14.4	14.5	14.3	14.4

**PUNTOS DE MUESTREO**

- 1 : Ingreso a la cámara de rejillas (Afluente de la PTAR)
- 2 : Salida de la Cámara de Rejas
- 3 : Salida del Desgrasador
- 4 : Salida del Sedimentador Primario 01
- 5 : Salida del Sedimentador Primario 02
- 6 : Salida de los Filtros de arena y grava
- 7 : Salida de los Filtros Percoladores
- 8 : Salida de Humedales Superficiales (Efluente de la PTAR)

Puno, C.U. 18 de octubre del 2019.  
vºBº

Edith Tello Paima  
 DECANO  
 FACULTAD ING. QUÍMICA  
 UNA - PUNO

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE  
 ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD  
 FIO - UNA - CIP - 182953



LQ - 2019

Nº 001030

## Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL: PTAR  
**PROCEDENCIA** : DISTRITO SAN JOSE, PROVINCIA AZANGARO - PUNO  
**PROYECO** : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL DISTRITO DE SAN JOSE PROVINCIA DE AZANGARO"  
**INTERESADO** : Bach. REYNALDO AMILCAR APAZA MAMANI  
**MOTIVO** : Ejecución de Tesis  
**MUESTREO** : 14/10/2019, por el interesado  
**ANÁLISIS** : 14/10/2019

### CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARÁMETROS	UND	PUNTOS DE MUESTREO							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Aceites y Grasas	Mg/l	1.25	1.1	0.36	0.19	0.16	0.11	0.09	0.07
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	185.60	180.30	169.60	159.00	146.00	134.00	129.00	122.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	428	413.00	388.00	366.00	339.00	315.0	304.00	287.00
Potencial de Hidrogeno	pH	7.10	7.07	6.68	6.63	6.71	6.95	6.86	6.83
Solidos totales en suspensión	mg/L	135	110.00	128.30	106.40	99.30	94.90	93.50	83.56
Temperatura	° C	13.4	13.3	13.5	13.3	13.4	13.6	14.1	13.6

### PUNTOS DE MUESTREO

- 1 : Ingreso a la cámara de rejillas (Afluente de la PTAR)
- 2 : Salida de la Cámara de Rejillas
- 3 : Salida del Desgrasador
- 4 : Salida del Sedimentador Primario 01
- 5 : Salida del Sedimentador Primario 02
- 6 : Salida de los Filtros de arena y grava
- 7 : Salida de los Filtros Percoladores
- 8 : Salida de Humedales Superficiales (Efluente de la PTAR)

Puno, C.U. 07 de noviembre del 2019.  
vºBº



*Edith Tello Palma*  
DECANA  
FACULTAD ING. QUÍMICA  
UNA - PUNO

*Luz Marina Teves Ponce*

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE  
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD  
FIG - UNA - CIF - 162993



LQ - 2019

Nº 001031

# Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de AGUA RESIDUAL: PTAR  
**PROCEDENCIA** : DISTRITO SAN JOSE, PROVINCIA AZANGARO - PUNO  
**PROYECO** : EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL DISTRITO DE SAN JOSE PROVINCIA DE AZANGARO"  
**INTERESADO** : Bach. REYNALDO AMILCAR APAZA MAMANI  
**MOTIVO** : Ejecución de Tesis  
**MUESTREO** : 21/10/2019, por el interesado  
**ANÁLISIS** : 21/10/2019

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARÁMETROS	UND	PUNTOS DE MUESTREO							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Aceites y Grasas	Mg/l	1.3	1.21	0.39	0.21	0.17	0.12	0.09	0.08
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	191	185.30	173.30	159.60	145.60	133.2	128.40	121.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	431	417.00	392.00	359.00	331.00	302.0	292.00	278.00
Potencial de Hidrogeno	pH	6.85	6.81	6.74	6.67	6.61	6.94	6.82	6.8
Solidos totales en suspensión	mg/L	120	98.00	101.00	95.23	92.43	90.89	91.4	89.67
Temperatura	° C	13.2	13.3	13.1	13.5	13.2	13.8	14.1	14.1

### PUNTOS DE MUESTREO

- 1 : Ingreso a la cámara de rejas (Afluente de la PTAR)
- 2 : Salida de la Cámara de Rejas
- 3 : Salida del Desgrasador
- 4 : Salida del Sedimentador Primario 01
- 5 : Salida del Sedimentador Primario 02
- 6 : Salida de los Filtros de arena y grava
- 7 : Salida de los Filtros Percoladores
- 8 : Salida de Humedales Superficiales (Efluente de la PTAR)

Puno, C.U. 07 de noviembre del 2019.  
VºBº



Edith Tello Paima  
DECANA  
FACULTAD ING. QUÍMICA  
UNA - PUNO

*Luz Marina Teves Ponce*

ING. LUZ MARINA TEVES PONCE  
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD  
FIC - UNA - CIP - 182993



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE ALIMENTOS



CERTIFICADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

I. DATOS GENERALES

Solicitante : **Bachiller Reynaldo Amilcar Apaza Mamani**  
Muestra : Aguas residuales de planta de tratamiento  
Procedencia : Distrito de San José, Prov de Azángaro Departamento de Puno  
Motivo : Ejecución de Tesis Intitulado: "EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL DISTRITO DE SAN JOSÉ- PROVINCIA AZÁNGARO"  
Número de muestras : 08 de 200 ml c/u  
Fecha de muestreo : 07 de Octubre del 2019  
Métodos de análisis : Bacterias indicadoras de contaminación: Coliformes termotolerantes

II. RESULTADOS

**Muestras de aguas residuales: Primer Muestreo**

**MUESTRA 01: Ingreso a la Cámara de Rejas**  
Coliformes termotolerantes : 6000 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 02: Salida Cámara de Rejas**  
Coliformes termotolerantes : 2900 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 03: Salida de trampa de grasas**  
Coliformes termotolerantes : 950 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 04: Salida Sedimentador 1**  
Coliformes termotolerantes : 1100 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 5: Salida sedimentador 2**  
Coliformes termotolerantes : 750 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 6: Salida filtro Arena y Grava**  
Coliformes termotolerantes : 380 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 7: Salida de filtro Percolador**  
Coliformes termotolerantes : 210 NMP/100 ml

**MUESTRA 8: Salida humedales Artificiales (Efluente)**  
Coliformes termotolerantes : 40 NMP/100 ml



### III.INTERPRETACIÓN

El análisis bacteriológico de las aguas residuales, demostró elevada carga de bacterias coliformes termotolerantes en el Afluente, seguido de una reducción de carga bacteriana de coliformes termotolerantes en la muestra 7 (filtro percolador) y muestra de agua residual 8 (Efluente). El análisis microbiológico se realizó siguiendo metodologías estandarizadas del Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) Lima, Perú; American Public Health Association 19<sup>th</sup> (apha-awwa-WEF-2005).

Puno 10 de Octubre del 2019



Bigo, M.Sc. *Eva Laura Chacra*  
DOCENTE PRINCIPAL D.E. FCCBB - UNA  
COLBIOP N° 908  
JEFE DE LABORATORIO



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**CERTIFICADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

**I. DATOS GENERALES**

Solicitante : **Bachiller Reynaldo Amilcar Apaza Mamani**  
Muestra : Aguas residuales de planta de tratamiento  
Procedencia : Distrito de San José, Prov de Azángaro Departamento de Puno  
Motivo : Ejecución de Tesis Intitulado: "EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL DISTRITO DE SAN JOSÉ- PROVINCIA AZÁNGARO"  
Número de muestras : 08 de 200 ml c/u  
Fecha de muestreo : 14 de Octubre del 2019  
Métodos de análisis : Bacterias indicadoras de contaminación: Coliformes termotolerantes

**II. RESULTADOS**

**Muestras de aguas residuales: Segundo Muestreo**

**MUESTRA 01: Ingreso a la Cámara de Rejas**  
Coliformes termotolerantes : 7100 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 02: Salida Cámara de Rejas**  
Coliformes termotolerantes : 3000 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 03: Salida de trampa de grasas**  
Coliformes termotolerantes : 850 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 04: Salida Sedimentador 1**  
Coliformes termotolerantes : 2300 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 5: Salida sedimentador 2**  
Coliformes termotolerantes : 800 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 6: Salida filtro Arena y Grava**  
Coliformes termotolerantes : 350 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 7: Salida de filtro Percolador**  
Coliformes termotolerantes : 200 NMP/100 ml

**MUESTRA 8: Salida humedales Artificiales (Efluente)**  
Coliformes termotolerantes : 60 NMP/100 ml



### INTERPRETACIÓN

El análisis bacteriológico de las aguas residuales, demostró elevada carga de bacterias coliformes termotolerantes en el Afluente, seguido de una reducción de carga bacteriana de coliformes termotolerantes en la muestra 7 (filtro percolador) y muestra de agua residual 8 (Efluente). El análisis microbiológico se realizó siguiendo metodologías estandarizadas del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) Lima, Perú; American Public Health Association 19<sup>th</sup> (apha-awwa-WEF-2005).

Puno 16 de Octubre del 2019



Dr. Sc. Eva Laura Chauca  
PRINCIPAL D.E. FCCBB-UNA  
COP N° 905

JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE ALIMENTOS



CERTIFICADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

I. DATOS GENERALES

Solicitante : **Bachiller Reynaldo Amilcar Apaza Mamani**  
Muestra : Aguas residuales de planta de tratamiento  
Procedencia : Distrito de San José, Prov de Azángaro Departamento de Puno  
Motivo : Ejecución de Tesis Intitulado: "EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL DISTRITO DE SAN JOSÉ- PROVINCIA AZÁNGARO"  
Número de muestras : 08 de 200 ml c/u  
Fecha de muestreo : 21 de Octubre del 2019  
Métodos de análisis : Bacterias indicadoras de contaminación: Coliformes termotolerantes

II. RESULTADOS

**Muestras de aguas residuales: Tercer Muestreo**

**MUESTRA 01: Ingreso a la Cámara de Rejas**  
Coliformes termotolerantes : 5900 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 02: Salida Cámara de Rejas**  
Coliformes termotolerantes : 2100 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 03: Salida de trampa de grasas**  
Coliformes termotolerantes : 750 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 04: Salida Sedimentador 1**  
Coliformes termotolerantes : 2300 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 5: Salida sedimentador 2**  
Coliformes termotolerantes : 850 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 6: Salida filtro Arena y Grava**  
Coliformes termotolerantes : 400 NMP/ 100 ml

**MUESTRA 7: Salida de filtro Percolador**  
Coliformes termotolerantes : 240 NMP/100 ml

**MUESTRA 8: Salida humedales Artificiales (Efluente)**  
Coliformes termotolerantes : 70 NMP/100 ml



### INTERPRETACIÓN

El análisis bacteriológico de las aguas residuales, demostró elevada carga de bacterias coliformes termotolerantes, observándose una reducción de carga bacteriana de coliformes termotolerantes en la muestra 7 (filtro percolador) y muestra de agua residual 8 (Efluente). El análisis microbiológico se realizó siguiendo metodologías estandarizadas del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) Lima, Perú; American Public Health Association 19<sup>th</sup> (apha-awwa-WEF-2005).

Puno 24 de Octubre del 2019



Mgo. M.Sc. Eya Laura Chauca  
DOCENTE PRINCIPAL D.E. FCCB-UNA  
COLBIOP N° 905  
JEFE DE LABORATORIO



## **ANEXO 2**

### **Monitoreo de la calidad de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José**



## **Metodología**

### **Puntos de Monitoreo**

Los puntos de monitoreo que se establecieron para la presente investigación fueron 8 en total:

- 1: Ingreso a la cámara de rejas (afluente de la PTAR)
- 2: Salida de la cámara de rejas
- 3: Salida de la trampa de grasas
- 4: Salida del sedimentador 1
- 5: Salida del sedimentador 2
- 6: Salida de los filtros de arena y grava
- 7: Salida de los filtros percoladores
- 8: Salida de los humedales artificiales (efluente de la PTAR).

Para el registro de datos se utilizó el formato del Anexo 1 RM-273-2013-VIVIENDA, incluyendo los 8 puntos que se establecieron



<b>Nombre de EPS/Municipio:</b> Municipalidad distrital de San José			
<b>Nombre de PTAR:</b> Planta de tratamiento de aguas residuales San José			
<b>Ubicación de PTAR:</b> Distrito San José - provincia de Azángaro			
<b>Localidad</b>	<b>Distrito</b>	<b>Provincia</b>	<b>Región</b>
San José	San José	Azángaro	Puno
<b>IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO</b>			
Denominación del punto de muestreo	Ingreso a la cámara de rejillas (Afluente)		
<b>COORDENADAS U.T.M. (WGS84)</b>			
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Zona UTM</b>	
8376479	374206	19	
Denominación del punto de muestreo	Salida de la cámara de rejillas		
<b>COORDENADAS U.T.M. (WGS84)</b>			
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Zona UTM</b>	
8376480	374203	19	
Denominación del punto de muestreo	Salida de la trampa de grasas		
<b>COORDENADAS U.T.M. (WGS84)</b>			
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Zona UTM</b>	
8376476	374195	19	
Denominación del punto de muestreo	Salida del sedimentador 1		
<b>COORDENADAS U.T.M. (WGS84)</b>			
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Zona UTM</b>	
8376481	374200	19	
Denominación del punto de muestreo	Salida del sedimentador 2		
<b>COORDENADAS U.T.M. (WGS84)</b>			
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Zona UTM</b>	
8376485	374197	19	
Denominación del punto de muestreo	Salida de los filtros de arena y grava		
<b>COORDENADAS U.T.M. (WGS84)</b>			
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Zona UTM</b>	
8376490	374199	19	
Denominación del punto de muestreo	Salida de los filtros percoladores		
<b>COORDENADAS U.T.M. (WGS84)</b>			
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Zona UTM</b>	
8376483	374190	19	
Denominación del punto de muestreo	Salida de los humedales artificiales(Efluente)		
<b>COORDENADAS U.T.M. (WGS84)</b>			
<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Zona UTM</b>	
8376489	374171	19	
<b>Datos del GPS (marca, modelo, número de serie, precisión del equipo)</b>			
GPS garmin monterra			

Figura A1. Formato Anexo N° 1 ubicación de puntos de monitoreo

## Croquis de los puntos de monitoreo

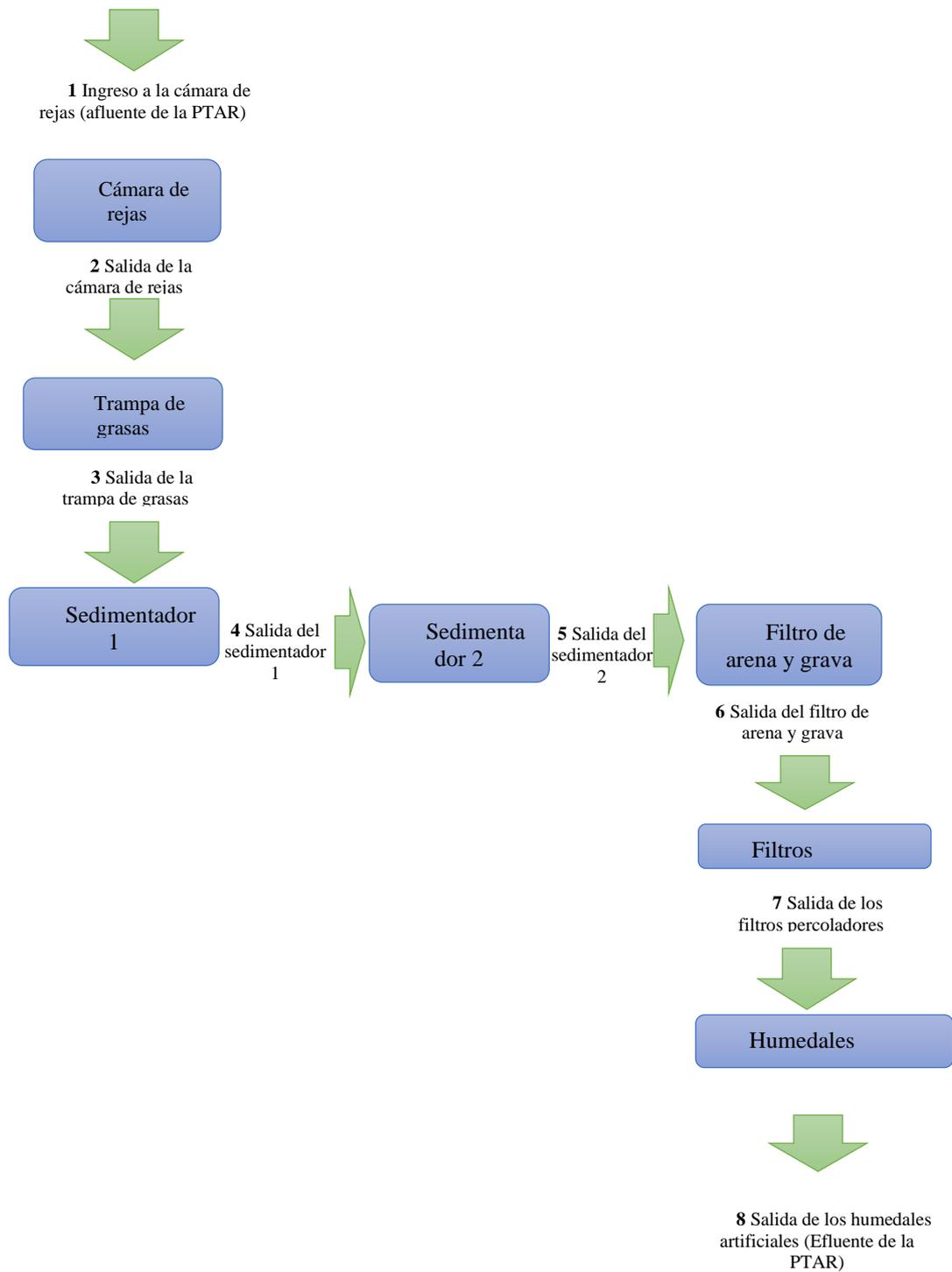


Figura A2. Croquis de los puntos de muestreo

Los parámetros sujetos al monitoreo de los efluentes de la PTAR San José, son los indicados en el D.S. N° 003-2010-MINAM para los cuales se fija los límites máximos permisibles. Estos son los siguientes:

- Aceites y grasas
- Coliformes termotolerantes
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Demanda química de oxígeno
- pH
- Sólidos totales en suspendidos
- Temperatura

### 6.3. Frecuencia de monitoreo

Para determinar la frecuencia de monitoreo de la PTAR del distrito de San José, se utilizó, el formato del anexo II de la R.M. 273-2013-VIVIENDA

Rango de caudal promedio anual de la PTAR	Frecuencia de monitoreo	Frecuencia mínima de medición de caudal
> 300 L/s	Mensual	Lecturas horarias, 365 días
>100 a 300 L/s	Trimestral	Lecturas horarias por 24 horas, una vez por mes
>10 a 100 L/s	Semestral	Lecturas horarias por 24 horas, una vez por trimestre
< 10 L/s	Anual	Lecturas horarias, por 24 horas, una vez por semestre

Figura A3. Formato anexo N° II frecuencia de monitoreo

La frecuencia de monitoreo para la PTAR del distrito de San José es anual, con una frecuencia mínima de medición de caudal (lecturas horarias, por 24 horas, una vez por semestre), puesto que el rango de caudal promedio anual de la PTAR es < a 10 l/s.



## **6.4 Desarrollo del monitoreo**

### **a) Materiales**

- Fichas de registro de campo
- Papel secante
- Cinta adhesiva
- Plumón indeleble
- Frascos debidamente etiquetados
- Cajas térmicas (pequeña y grande)
- Agua destilada y/o desionizada
- Solución amortiguadora de pH
- Cronómetro
- Reloj
- Cinta métrica
- Vaso o probeta graduado de 1 L

### **b) Equipos**

- GPS para la identificación inicial del punto de monitoreo
- pH-metro con función de registro de temperatura
- Cámara fotográfica

### **c) Indumentaria de protección**

- Botines de seguridad
- Gafas de seguridad
- Guantes de jebe
- Casco
- Mascarilla descartable

### **Precauciones durante el monitoreo**

1. Si el acceso al punto de muestreo es profundo (mayor a 1,50 m), está prohibido el ingreso para la toma de muestra. En tales casos, recoger las muestras con ayuda de un



brazo telescópico o con un recipiente con lastre sujeto a una soguilla, pero guardando las medidas de seguridad (uso de arnés, chalecos flotadores, máscara antigases, etc.).

2. Si el punto de muestreo está confinado es necesario ventilarlo antes de realizar la toma de muestra en un período mínimo de una hora. Es necesario, además, usar un equipo de respiración autónoma.

3. Utilizar zapatos antideslizantes y cascos.

4. Después del monitoreo, es necesario cambiarse la indumentaria utilizada durante el mismo, para prevenir contaminación a terceros.

### **Muestreo**

#### **Medición de parámetros de campo y registro de información**

Los parámetros de campo son: pH y temperatura, además de la medición y registro de caudal.

- Equipo portátil calibrado (pH-metro), con registro de la calibración y mantenimiento. Debe realizarse la verificación del equipo antes del inicio del trabajo de campo y calibrar el equipo, de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante.
- Las mediciones no deben ser realizadas directamente en el flujo de aguas residuales, se debe tomar una muestra simple en un recipiente apropiado y limpio. La determinación de pH y temperatura, debe realizarse en forma inmediata a la toma de muestra.
- Realizar la medición y registro del caudal del afluente y efluente durante el período de muestreo.
- La información recabada de la medición de parámetros de campo, así como el caudal del afluente y efluente se ingresó en el formato de registro de datos de



campo que se muestra en el formato del anexo N° IV de la R.M. 273-2013-

VIVIENDA.

<b>Nombre de la PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales San José</b>				
<b>Denominación del punto de monitoreo: Entrada a la cámara de rejillas (Afluente)</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal
07/10/2019	9am	6.97	14.4	4.87
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal
07/10/2019	9:10am	6.89	14.3	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal
07/10/2019	9:18am	6.77	14.4	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal
07/10/2019	9:30am	6.81	14.3	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal
07/10/2019	9:36am	6.78	14.4	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal
07/10/2019	9:45am	6.96	14.5	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal
07/10/2019	9:52am	6.80	14.3	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal
07/10/2019	9:58am	6.79	14.4	4.63
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				

Figura A4. Anexo N° IV registro de datos de campo (fecha: 07/10/2019)



<b>Nombre de la PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales San José</b>				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Caudal</b>
14/10/2019	9:05am	7.10	13.4	4.95
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Caudal l/s</b>
14/10/2019	9:15am	7.07	13.3	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Caudal l/s</b>
14/10/2019	9:24am	6.68	13.5	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Caudal l/s</b>
14/10/2019	9:35am	6.63	13.3	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Caudal l/s</b>
14/10/2019	9:45am	6.71	13.4	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Caudal l/s</b>
14/10/2019	9:52am	6.95	13.6	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Caudal l/s</b>
14/10/2019	10:05am	6.86	14.1	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Caudal l/s</b>
14/10/2019	10:15am	6.83	13.6	4.45
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				

Figura A5. Anexo N° IV registro de datos de campo (fecha: 14/10/2019)



<b>Nombre de la PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales San José</b>				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C	Caudal l/s
21/10/2019	9:15am	6.85	13.2	5.12
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C	Caudal l/s
21/10/2019	9:25am	6.81	13.3	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C	Caudal l/s
21/10/2019	9:35am	6.74	13.1	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C	Caudal l/s
21/10/2019	9:42am	6.67	13.5	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C	Caudal l/s
21/10/2019	9:54am	6.61	13.2	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C	Caudal l/s
21/10/2019	10:05am	6.94	13.8	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C	Caudal l/s
21/10/2019	10:15am	6.82	14.1	
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
<b>Denominación del punto de monitoreo:</b>				
Fecha	Hora	pH	Temperatura °C	Caudal l/s
21/10/2019	10:28am	6.80	14.1	4.63
observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				

Figura A6: Anexo N° IV registro de datos de campo (Fecha: 21/10/2019)

## Toma de muestras de agua, preservación, etiquetado, rotulado y transporte

Las muestras fueron recolectadas y preservadas teniendo en cuenta cada uno de los parámetros considerados. En este caso se siguió las instrucciones generales de preservación, embalaje y transporte de las muestras, mostradas en el formato del Anexo N° III de la R.M. 273-2013-VIVIENDA requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo, así como las instrucciones de etiquetado mostradas en el anexo N° V de la R.M. 273-2013-VIVIENDA etiqueta para muestras de agua residual.

Determinación/Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra	Preservación y concentración	Tiempo máximo de duración
<b>Fisicoquímico</b>				
Temperatura	P,V	1000 mL	No es posible	15 min
pH		50 mL	No es posible	15 min
DBO <sub>5</sub>	P,V	1000 mL	Refrigerar a 4°C	48 horas
DQO	P,V	100 mL	Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH	28 días
Aceites y grasas	V, ámbar boca ancha calibrado	1000 mL	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar a 4°C	28 días
Sólidos suspendidos Totales (SST)	P,V	100 mL	Refrigerar a 4°C	7 días
<b>Microbiológico</b>				
Coliformes termotolerantes (NMP)	V, esterilizado	250 mL	Refrigerar a 4°C Agregar tiosulfato en plantas con cloración	6 horas

Figura A.7 Formato anexo N° III Requisitos para toma de muestras de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo.

### Etiqueta para muestras de agua residual

La etiqueta de identificación de la muestra debe contener los siguientes datos:

Etiqueta adhesiva para etiquetar los frascos de la toma de muestras de 12 cm X 8,5 cm.

<b>Nombre de la PTAR:</b>	
<b>Denominación del punto de monitoreo (afluente o efluente):</b>	
No. de muestra (orden de toma de muestra)	
Fecha y hora	
Ensayo físico químico	<input type="checkbox"/> DBO <input type="checkbox"/> DQO <input type="checkbox"/> AyG <input type="checkbox"/> SST
Ensayo microbiológico	<input type="checkbox"/> CTT
Otros parámetros	
Otros parámetros	
Preservación	
Operador del muestreo	

Figura A8. Anexo N° V Etiqueta para muestra de agua residual

### Llenado del formato de Cadena de Custodia

Para llenar el formato de cadena de custodia que indiquen los parámetros a evaluar, tipo de frasco, tipo de muestra de agua, volumen, número de muestras, reactivos de preservación, condiciones de conservación y otra información relevante.

Se utilizó el formato del anexo N° VI. Cadena de custodia.



Nombre de la PTAR:										
Muestra No.	Puntos de monitoreo	Fecha	Hora	Tipo de frasco	Vol	Parámetro a ser medido				
						AyG	DBO	DQO	SST	CTT
1	Ingreso a la cámara de rejas	07/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de la cámara de rejas	07/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de la trampa de grasas	07/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida del sedimentador 1	07/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida del sedimentador 2	07/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de los filtros de arena y grava	07/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de los filtros percoladores	07/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de los humedales artificiales	07/10/19				X	X	X	X	X
Hora de entrega al medio de transporte										
Recepción en Laboratorio										
Nombre y apellido		Institución			Firma		Hora	Fecha		

Figura A9. Formato anexo N° VI cadena de custodia



Nombre de la PTAR:										
Muestra No.	Puntos de monitoreo	Fecha	Hora	Tipo de frasco	Vol.	Parámetro a ser medido				
						A y G	DBO	DQO	SST	CTT
1	Ingreso a la cámara de rejas	14/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de la cámara de rejas	14/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de la trampa de grasas	14/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida del sedimentador 1	14/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida del sedimentador 2	14/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de los filtros de arena y grava	14/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de los filtros percoladores	14/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de los humedales artificiales	14/10/19				X	X	X	X	X
Hora de entrega al medio de transporte										
Recepción en Laboratorio										
Nombre y apellido		Institución			Firma		Ho ra	Fecha		

Figura A10. Formato anexo N° VI cadena de custodia



Nombre de la PTAR:										
Muestra No.	Puntos de monitoreo	Fecha	Hora	Tipo de frasco	Vol.	Parámetro a ser medido				
						AyG	DBO	DQO	SST	CTT
1	Ingreso a la cámara de rejas	21/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de la cámara de rejas	21/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de la trampa de grasas	21/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida del sedimentador 1	21/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida del sedimentador 2	21/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de los filtros de arena y grava	21/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de los filtros percoladores	21/10/19				X	X	X	X	X
1	Salida de los humedales artificiales	21/10/19				X	X	X	X	X
Hora de entrega al medio de transporte										
Recepción en Laboratorio										
Nombre y apellido		Institución			Firma		Hora	Fecha		

Figura A11. Formato anexo N° VI cadena de custodia

### Medición de caudales

El aforo de las aguas residuales al ingreso y a la salida de la Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José, se realizó en las siguientes fechas:

01/05/2019

01/08/2019

01/11/2019

Tabla A1

*Medición de caudal PTAR San José (Afluente)*

Tiempo	Caudal(l/s) 01/05/2019	Caudal(l/s) 01/08/2019	Caudal(l/s) 01/11/2019
06 Horas	4.50	4.54	4.79
07 Horas	4.62	4.68	4.85
08 Horas	4.75	4.70	4.84
09 Horas	4.64	4.69	4.85
10 Horas	4.60	4.78	4.80
11 Horas	4.62	4.79	4.90
12 Horas	4.70	4.75	4.95
13 Horas	4.73	4.79	5.10
14 Horas	4.86	5.05	5.30
15 Horas	4.65	4.67	5.40
16 Horas	4.60	4.66	4.67
17 Horas	4.71	4.67	4.69
18 Horas	4.82	4.46	4.98
Promedio	4.68	4.71	4.93
Máximo	4.86	5.05	5.40
Mínimo	4.5	4.54	4.79

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla A.2

*Medición de caudal PTAR San José (Efluente)*

Tiempo	Caudal(l/s) 01/05/2019	Caudal(l/s) 01/08/2019	Caudal(l/s) 01/11/2019
06 Horas	4.35	4.40	4.54
07 Horas	4.48	4.36	4.62
08 Horas	4.63	4.50	4.59
09 Horas	4.51	4.51	4.67
10 Horas	4.44	4.57	4.64
11 Horas	4.48	4.60	4.72
12 Horas	4.67	4.58	4.96
13 Horas	4.63	4.61	4.85
14 Horas	4.71	4.90	5.05
15 Horas	4.53	4.44	5.10
16 Horas	4.51	4.43	4.41
17 Horas	4.56	4.41	4.62
18 Horas	4.46	4.24	4.72
Promedio	4.54	4.50	4.73
Máximo	4.67	4.90	5.10
Mínimo	4.35	4.36	4.54

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



### **ANEXO 3. Panel Fotográfico**



Figura A12. Llegada a la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de san José

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A13. Medición del pH en campo a la entrada de la cámara de rejillas

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A14. Toma de muestras a la entrada de la cámara de rejillas

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A15. Toma de muestras a la salida de la cámara de rejillas

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A16. Medición del pH y temperatura en la salida de la cámara de rejas

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A17. Toma de muestras a la salida de la trampa de grasas

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A18. Toma de muestras a la salida del sedimentador 1

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A19. Toma de muestras a la salida del sedimentador 2

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A20. Toma de muestras en el ingreso a la cámara de rejillas

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A21. Toma de muestras a la salida del filtro percolador

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A22. Toma de muestras a la salida del filtro percolador

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A23. Toma de muestras a la salida de los humedales artificiales

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A24. Registro de datos en la PTAR San Jose

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



Figura A25. Registro de datos en la PTAR San José

*Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo*



## **ANEXO 4**

### **Planos de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San Jose**