

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DISTRITO DE MACUSANI, REGIÓN PUNO - 2020**

**PRESENTADO POR:  
REYNA ANDRADE YUCRA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO – PERÚ  
2020**

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DISTRITO DE MACUSANI, REGIÓN PUNO - 2020**

**PRESENTADO POR:**  
**REYNA ANDRADE YUCRA**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE



---

Dr. ANGEL AMADOR MELENDEZ HUISA

PRIMER MIEMBRO



---

Dr. SERGIO PAÚL GUTIÉRREZ CASTILLO

SEGUNDO MIEMBRO



---

Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

ASESOR DE TESIS



---

M.Sc. GERMAN RAFAEL ESPINOZA RIVAS

Área: Ingeniería y Tecnología.  
Disciplina: Hidrología y Recursos del Agua  
Especialidad: Contaminación y Mitigación de Aguas Superficiales

Puno, 16 de octubre del 2020

## DEDICATORIA

*Esta tesis primeramente la dedico **A DIOS**, por estar invariablemente en mis momentos más críticos, además de contar con una hermosa familia, una buena salud, y así lograr uno de mis primeros objetivos más deseados.*

*A mi **Madrecita**, Antonia Victoria Yucra de Andrade con mucho amor y cariño le dedico todo mi esfuerzo a la vez agradecerle por darme la vida y por depositar su confianza en mí, asimismo por tener paciencia y esmero guiándome por un buen camino hasta formarme como profesional y superar frente a inconvenientes.*

*A mis **Hermanos** (a), Jaime, Rosa, Rogelio, Pascual, Yonatan y Juan Carlos, quienes supieron comprenderme siempre, además de exigir a cada instante para poder concretar con el desarrollo de mi tesis; y como olvidar a mis 03 angelitos Henry, Rolando Esmeralda, que desde el cielo me protegen y cuidan de mí.*

*A mis **sobrinos**, Alison, Esteban, Kely, Mathieu, Paola y Gabriela por llenarme de alegría en cada ocasión de mi vida los quiero mucho y estaré con ustedes por siempre.*

*A **Roger "Lito"** mi enamorado por ser mi soporte moral brindado y buenos consejos acertados.*

**Reyna Andrade Yucra**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Universidad Privada San Carlos, por darme la oportunidad de mi formación profesional.*

*Agradezco a la Facultad de Ingenierías, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, a mis docentes de mi Facultad de Ingeniería Ambiental, por sus enseñanzas brindadas para mi formación profesional.*

*Mi más sincero agradecimiento a los miembros del jurado dictaminador: Dr. Angel Amador Meléndez Huisa, al Dr. Sergio Paúl Gutiérrez Castillo y a la Mg. Elvira Anani Durand Goyzueta, por su participación en la realización de la investigación de tesis.*

*A mi asesor de tesis M.Sc. Germán Rafael Espinoza Rivas por su asesoramiento constante con profesionalismo ético en la adquisición de conocimiento en el desarrollo de mi tesis de investigación hasta culminar la tesis.*

**Reyna Andrade Yucra**

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>1.1</b>	<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>3</b>
	1.1.1 Problema General.....	4
	1.1.2 Problemas Específicos.....	4
<b>1.2</b>	<b>Antecedentes.....</b>	<b>5</b>
	1.2.1 Antecedentes Internacionales.....	5
	1.2.2 Antecedentes Nacionales.....	6
	1.2.3 Antecedentes Locales.....	8
<b>1.3</b>	<b>Objetivos de la investigación.....</b>	<b>10</b>
	1.3.1 Objetivo General.....	10
	1.3.2 Objetivos Específicos.....	10

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1</b>	<b>Marco Teórico.....</b>	<b>11</b>
	2.1.1 Plantas de tratamiento de aguas residuales.....	11
	2.1.2 Aguas residuales.....	11
	2.1.3 Lagunas aerobias.....	12
	2.1.4 Laguna facultativa.....	12
	2.1.5 Laguna anaeróbica.....	13
	2.1.6 Laguna de estabilización.....	14
	2.1.7 Laguna de maduración.....	14
	2.1.8 Tipos de aguas residuales municipales.....	14
	2.1.9 Principios del tratamiento de aguas residuales.....	15
	2.1.10 Tratamiento anaeróbico.....	15
	2.1.11 Tratamiento aeróbico.....	16
	2.1.12 Factores climáticos principales que afectan a las lagunas.....	16
	2.1.13 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos.....	17
	2.1.14 Eficiencia de remoción para PTAR.....	20
	2.1.15 Parámetros físicos químicos de aguas residuales.....	21
	2.1.16 Consideraciones ambientales.....	22
	2.1.17 Operación, mantenimiento y control.....	23
	2.1.18 Mejoramiento del efluente.....	24
	2.1.19 Impacto ambiental de las lagunas de estabilización.....	25
<b>2.2</b>	<b>Marco conceptual.....</b>	<b>27</b>
	2.2.1 Marco legal.....	29
<b>2.3</b>	<b>Hipótesis de la investigación.....</b>	<b>30</b>
	2.3.1 Hipótesis General.....	30
	2.3.2 Hipótesis Específicas.....	30

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

<b>3.1</b>	<b>Zona de estudio.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2</b>	<b>Tamaño de la muestra.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3</b>	<b>Métodos y técnicas.....</b>	<b>32</b>
	3.3.1 Muestreo.....	32
	3.3.2 Tomas de muestra.....	33
	3.3.3 Equipos de muestreo.....	34
	3.3.4 Etiquetado y rotulado de las muestras de aguas residuales.....	35
	3.3.5 Llenado de la cadena de custodia.....	35
	3.3.6 Preservado y transporte de las muestras .....	36
	3.3.7 Aforo de aguas residuales.....	36
	3.3.8 Análisis del laboratorio ... ..	37
	3.3.9 Evaluación de los parámetros de calidad de las aguas del río Macusani cumplen con las normas establecidas ECA de conservación del medio acuático.....	37
	3.3.10 Evaluación de la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el vertimiento de las aguas residuales tratadas en el efluente cumplen con las normas ambientales de LMP.....	37
<b>3.4</b>	<b>Identificación de variables.....</b>	<b>39</b>
<b>3.5</b>	<b>Método o diseño estadístico.....</b>	<b>39</b>

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

<b>4.1</b>	<b>Resultados y Discusión.....</b>	<b>41</b>
------------	------------------------------------	-----------

4.1.1 Evaluación de los parámetros de calidad de las aguas del río Macusani cumplen con las normas establecidas ECA de conservación del medio acuático .....	41
4.1.2 Evaluación de la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el vertimiento de las aguas residuales tratadas en el efluente cumplen con las normas ambientales de LMP.....	50
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>70</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 01: Tipos de aguas residuales.....	15
Tabla 02: Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en la calidad de agua.....	18
Tabla 03: Parámetro indicativo de DBO <sub>5</sub> .....	19
Tabla 04: Probables rangos de remoción de parámetros en lagunas.....	20
Tabla 05: Principales propiedades físicas del agua residual, y sus principales Constituyentes químicos, biológicos y su procedencia.....	21
Tabla 06: LMP de efluentes de PTAR para vertidos a cuerpos de agua.....	29
Tabla 07: Parámetros recomendados para evaluar cuerpos de agua ríos, lagos....	29
Tabla 08: Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.....	33
Tabla 09: Métodos de análisis y resultados de los parámetros físico químicos y microbiológicos del afluente de la PTAR de Macusani con fecha 16 de noviembre del 2019 .....	38
Tabla 10: Métodos de análisis y resultados de los parámetros físico químicos y microbiológicos del efluente de la PTAR de Macusani con fecha 16 de noviembre del 2019 .....	38
Tabla 11: Operacionalización de variables.....	39
Tabla 12: Resumen de los parámetros físico químicos y microbiológicos según Los ECA, ríos.....	41
Tabla 13: Resumen de los parámetros físico químicos y microbiológicos según Los LMP para efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales.....	50
Tabla 14: Eficiencia final de remoción de carga orgánica contaminante de la Planta de tratamiento de aguas residuales de Macusani.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 01: Actividad entre algas y bacterias.....	12
Figura 02: Expediente técnico de la PTAR de Macusani, 2019.....	31
Figura 03: Vista satelital de la PTAR de Macusani.....	32
Figura 04: Toma de muestras.....	34
Figura 05: Etiquetado y rotulado de muestras de aguas residuales.....	35
Figura 06: Escaneo de la cadena custodia.....	36
Figura 07: pH del río Macusani.....	42
Figura 08: Temperatura del río Macusani.....	43
Figura 09: Oxígeno disuelto del río Macusani.....	44
Figura 10: Conductividad eléctrica del río Macusani.....	45
Figura 11: Sólidos suspendidos totales del río Macusani.....	46
Figura 12: Demanda bioquímica de oxígeno del río Macusani.....	47
Figura 13: Cianuro total del río Macusani.....	48
Figura 14: Coliformes termotolerantes del río Macusani.....	49
Figura 15: pH del efluente de la PTAR medido en octubre y noviembre.....	51
Figura 16: Temperatura del efluente de la PTAR medido en octubre y noviembre....	52
Figura 17: Sólidos suspendidos totales del efluente de la PTAR medido en octubre y noviembre.....	53
Figura 18: Demanda bioquímica del oxígeno del efluente de la PTAR medido en octubre y noviembre.....	54
Figura 19: Demanda química de oxígeno del efluente de la PTAR.....	55
Figura 20: Aceites y grasas del efluente de la PTAR medido en octubre y noviembre.....	56
Figura 21: Coliformes termotolerantes del efluente de la PTAR medido en octubre y noviembre.....	57

Figura 22: Comparación de eficiencias de remoción de carga contaminante en (%) de la DBO <sub>5</sub> , DQO, SST y coliformes termotolerantes de diferentes investigaciones realizadas en PTAR de diferentes lugares.....	58
Figura 23: Afluente punto de inicio donde se vierte agua cruda al buzón - PTAR...	83
Figura 24: Cámara de rejillas con residuos sólidos al costado y desarenador, por donde está pasando el desagüe crudo, presentando desbordes del agua residual hacia los lados del canal.....	83
Figura 25: Reconocimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (lagunas de estabilización) existente.....	84
Figura 26: Efluente de la PTAR de la laguna de maduración se encuentre en malas condiciones y no está operando correctamente.....	84

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 01: Matriz de consistencia.....	71
Anexo 02: Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.....	72
Anexo 03: Estándares de calidad ambiental categoría 4.....	73
Anexo 04: Resultados de muestreo del afluente y efluente de la PTAR evaluados Por el laboratorio analítico del Sur, certificado por INACAL.....	75
Anexo 05: Resultados de muestreo del afluente y efluente de la PTAR evaluados por el laboratorio analítico del Sur, certificado por INACAL.....	76
Anexo 06: Resultados de muestreo de parámetros microbiológicos del afluente y efluente de la PTAR de Macusani, evaluados por el laboratorio Analítico del Sur, certificado por INACAL.....	77
Anexo 07: Resultados de parámetros físicos del afluente y efluente de la PTAR de Macusani evaluados por el laboratorio SGS del Perú S.A.C, certificado por INACAL, con fecha 17 de noviembre del 2019.....	78
Anexo 08: Resultados de parámetros químicos y microbiológicos del afluente y efluente de la PTAR de Macusani evaluados por el laboratorio SGS, del Perú S.A.C, certificado por INACAL, con fecha 17 de noviembre del 2019.....	79

Anexo 09: Resultados de parámetros de control de calidad de parámetros Químicos evaluados por el laboratorio SGS del Perú S.A.C, Certificado por INACAL, con fecha 17 de noviembre del 2019.....	80
Anexo 10: Referencia de los métodos de ensayos de parámetros químicos y microbiológicos evaluados por el laboratorio SGS del Perú S.A.C, Certificado por INACAL, con fecha 17 de noviembre del 2019.....	81
Anexo 11: Cadena de custodia.....	82
Anexo 12: Panel fotográfico de la zona de estudio PTAR de Macusani.....	83

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

A.G.	Aceites y Grasas
ECA	Estándares de Calidad Ambiental
CE	Conductividad eléctrica
C. T.	Coliformes Termotolerantes
D. S.	Decreto Supremo
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
LMP	Límites Máximos Permisibles
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
OMA	Oficina de Medio Ambiente
OMS	Organización Mundial de la Salud
SST	Sólidos Suspendidos Totales
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
R.N.E	Reglamento Nacional de Edificaciones
MINAM	Ministerio del Ambiente:
RUPAP	Registro Único para el Proceso de Adecuación Progresiva
T <sup>a</sup>	Temperatura

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Macusani, Provincia de Carabaya y el río Macusani durante los meses de octubre y noviembre del 2019; los objetivos específicos fueron evaluar los parámetros de calidad de las aguas del río Macusani con las normas establecidas ECA de conservación del medio acuático; asimismo determinar la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el vertimiento de las aguas residuales tratadas del efluente de la PTAR Macusani y el cumplimiento con las normas ambientales LMP. La metodología aplicada fue mediante la medición in-situ y ex-situ de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según los ECA para aguas y LMP para efluentes de PTAR. Posteriormente, se tomaron 2 muestras de 1 L. de aguas residuales domésticas para análisis de los SST, DQO, DBO<sub>5</sub>, aceites y grasas, coliformes termotolerantes con la finalidad de evaluar la eficiencia de la PTAR de Macusani. Los parámetros in-situ analizados fueron pH con 7.56, Temperatura en 20.1 °C, en SST fue de 44 mg/L, en la DBO<sub>5</sub> 100 mg/L, en la DQO 209 mg/L, aceites y grasas fue de 0.32 mg/L; estos resultados no exceden a los LMP para efluentes de PTAR. Respecto a los valores obtenidos para coliformes termotolerantes fueron de 11000 NMP/100 mL lo cual excede y no cumple con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Los parámetros físicos medidos en el río Macusani fueron el pH con 8.7, temperatura con 17.5 °C, oxígeno disuelto con 80 mg/L y conductividad eléctrica con 145 µS/cm cumpliendo con los ECA para agua en la categoría 4. Además, en cuanto a la eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub> es 93.42 %, en la DQO es 94.88 %, en SST es 67.16 % y en los Coliformes Termotolerantes fue de 77.55.

**Palabras clave:** afluente, aguas residuales, eficiencia, efluente y parámetros.

## ABSTRACT

The present study was conducted in the tributary and effluent of the wastewater treatment plant of the city of Macusani, Carabaya Province and the Macusani River during the months of October and November 2019; the specific objectives were to evaluate the quality parameters of the waters of the Macusani River with the established ECA standards of conservation of the aquatic environment; also to determine the removal efficiency of the physical, chemical and microbiological parameters for the discharge of the treated waste water from the effluent of the Macusani PTAR and the compliance with the LMP environmental standards. The methodology applied was through the in-situ and ex-situ measurement of the physical-chemical and microbiological parameters according to the ECA for water and LMP for PTAR effluent. Subsequently, two 1L samples of domestic wastewater were taken for analysis of TSS, COD, BOD<sub>5</sub>, oils and fats, and thermotolerant coliforms in order to evaluate the efficiency of Macusani. The in-situ parameters analyzed were pH with 7.56, temperature in 20.1 °C, in TSS was 44 mg/L, in BOD<sub>5</sub> 100 mg/L, in COD 209 mg/L, oils and fats was 0.32 mg/L; these results do not exceed the PMLs for effluent of RWTP. The values obtained for thermotolerant coliforms were 11000 NMP/100 mL, which exceeds and does not comply with Supreme Decree No. 003-2010-MINAM. The physical parameters measured in the Macusani River were pH at 8.7, temperature at 17.5 °C, dissolved oxygen at 80 mg/L, and electrical conductivity at 145 µS/cm, in compliance with the ECA for water in category 4. In addition, the BOD<sub>5</sub> removal efficiency is 93.42%, COD is 94.88%, TSS is 67.16% and Thermotolerant Coliforms was 77.55.

**Keywords:** efficiency, effluent, parameters, tributafluent and wastewater.

## INTRODUCCIÓN

Los ríos han sido utilizados como sumideros para los desechos urbanos. Gracias a los volúmenes de agua que transportan y al movimiento de las mismas, los ríos son capaces de regenerarse por sí mismos, neutralizando los efectos de las grandes cantidades de aguas residuales industriales, domésticas, agrícolas, etc. que reciben. Sin embargo, las descargas de agua contaminada superan la capacidad de autoregeneración y los ríos se deterioran, lo cual conlleva a la pérdida del oxígeno disuelto en el agua, la desaparición de insectos, peces y la consecuente destrucción del ecosistema fluvial (Metcalf y Eddy, 1998).

En relación a la ciudad de Macusani, el crecimiento poblacional ha ocasionado que el río Macusani reciba gran cantidad de aguas residuales, las que interfieren con los usos a los que se destina el agua, agotando el oxígeno disuelto y produciendo olores desagradables. La problemática de la presente investigación es el efluente de la laguna de estabilización de la ciudad de Macusani esta no cumple con el sistema de tratamiento en las descargas de sus aguas residuales hacia el río Macusani. De acuerdo al D.S. N° 003-2010-MINAM para descargas de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, estos líquidos no son tratados y seguirá contaminando al río Macusani.

El contenido de la presente es de la siguiente manera: Capítulo I, aborda las directrices de la investigación en el cual se describen los antecedentes del tema de investigación mediante una búsqueda de estudios de investigación desde el ámbito internacional, nacional y regional, así mismo se realiza el planteamiento del problema de investigación y del cual surgen las preguntas de investigación que conforman el proyecto, objetivos y justificación. En el Capítulo II se expone el marco teórico, conceptual y legal que sustenta el trabajo y en el cual se abordan subtemas como los estudios de lagunas de estabilización sobre recursos hídricos y se presentan las consideraciones de incluir el

concepto de aguas residuales municipales como la unidad de investigación. Mientras que en el Capítulo III, se describen los métodos y técnicas de recolección, así como el análisis de la información y medición de parámetros físico químicos y microbiológicos del área de estudio destacando el nivel de contaminación del río Macusani, la metodología que se empleó para la toma de muestras es la indicada por la (ANA, 2010), para la evaluación de los parámetros en el efluente fueron de la disposición del D.S N° 003-2010-MINAM y la evaluación de la eficiencia fue mediante fórmula indicada por (Lettinga,1995). Para la realización de este trabajo se pidió información a los operadores correspondientes del Área Técnica de la municipalidad de Macusani, y con ello se desarrolló el trabajo de investigación, esperando que sirva como apoyo para todos aquellos interesados en el tema de tratamiento de las aguas residuales.

Las muestras de aguas residuales fueron tomadas en frascos de vidrio de 1 L. y fue de la siguiente manera: primer punto fue en la PTAR del efluente a la salida de la laguna de estabilización, el segundo punto fue en el río de Macusani aguas arriba. La zona de estudio está ubicada a 4km. de la plaza de armas de la ciudad de Macusani.

Posteriormente en el Capítulo IV se presenta el análisis de los resultados obtenidos para finalmente entrar en discusión con otros temas de investigación y concluir sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Por lo tanto, los objetivos de la tesis es evaluar los parámetros físicos de calidad de agua del río Macusani con las normas establecidas de ECA, conservación de medios acuáticos y determinar la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el vertimiento de las aguas residuales tratadas en el efluente de la PTAR del distrito de Macusani y el cumplimiento de los LMP.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Uno de los problemas que afronta en la localidad de Macusani es el servicio del sistema de alcantarillado sanitario siendo el 54.1%, donde el 42% utilizan “pozos ciegos” en estos pozos se vierten tanto aguas negras como aguas grises y en esta unidad no se realiza ningún tipo de tratamiento más por el contrario se infiltran directamente, y el 48% usan letrinas (solo se arroja excretas) las aguas grises los arrojan a la vía pública y el resto de (10%) realiza sus necesidades fisiológicas a campo abierto y vierten las aguas grises a la vía pública, y en algunos lugares las aguas residuales discurren directamente por las calles propagando malos olores y dejando residuos contaminantes en el suelo. Para resolver este problema se necesita la instalación del sistema de alcantarillado que recolecta las aguas servidas (negras y grises) donde son tratadas finalmente en las lagunas de estabilización existente y donde finalmente se pretende conocer la calidad del efluente que debe cumplir los estándares de calidad ambiental.

Actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales está conformada por una laguna de estabilización, desarrollando una serie de funciones como el tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario donde las aguas residuales son tratadas a una altitud media de 4321 msnm. la temperatura, la saturación de oxígeno disuelto, entre otros, son parámetros difíciles de completar dichos procesos que garanticen la calidad del agua tratada, por lo que se realizará la evaluación de la eficiencia de remoción de carga contaminante de los parámetros físico químicos y biológicos del funcionamiento con respecto al medio ambiente y que deben encontrarse dentro de los estándares de calidad ambiental y límites máximos permisibles.

La experiencia de plantas de tratamiento en nuestra región se basa en la identificación del tipo de laguna adecuada y el proceso que se puede generar en ella.

#### **1.1.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macusani, Región Puno - 2020?

#### **1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Los parámetros de calidad de agua del río Macusani se encuentran dentro de los parámetros de los ECA, conservación de medios acuáticos?
- ¿Cómo será la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos, microbiológicos y el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macusani cumplirá con los LMP?

## 1.2 ANTECEDENTES

### 1.2.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Rabanales, (2015) realizó su investigación con base a un muestreo en época lluviosa y uno en época seca, tomando 3 puntos de muestreo diferente, afluente, efluente y un punto externo a 30 m. río Chichorin concluyendo que, al determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual, haciendo un análisis de los resultados para evaluar y determinar mejoras en alguno de los procesos del tratamiento de las aguas. la eficiencia en época de lluvia fue de 46% y en época seca fue de 59%.

Rabanales, (2015) realizó su investigación con base a un muestreo en época lluviosa y uno en época seca, tomando 3 puntos de muestreo diferente, afluente, efluente y un punto externo a 30 m. río Chichorin concluyendo que, al determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual, haciendo un análisis de los resultados para evaluar y determinar mejoras en alguno de los procesos del tratamiento de las aguas. la eficiencia en época de lluvia fue de 46% y en época seca fue de 59%.

Gálvez, (2013) el trabajo de investigación fue "Eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual de San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez, Guatemala". concluye que, es común clasificar las aguas residuales en dos tipos: industriales y municipales. La PTAR de San Lucas Sacatepéquez recibe agua de tipo doméstico ya que no supera los 500 mg/L, en el afluente medido en el mes de enero donde el valor fue de 645 mg/L. la relación entre la DQO y la DBO<sub>5</sub> nos indica que el tipo de vertido y su posibilidad de depuración no cumple con los límites permitidos.

Olea, (2013) en su investigación "Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales por lagunas de estabilización de Coatepec, Veracruz, México" Concluye que los parámetros de efluentes evaluados cumplieron con la normativa y una menor eficiencia de 75%, referente al pH en el afluente los resultados varían de 7 a 7.5, DBO<sub>5</sub> y la DQO en el afluente presentaron valores dentro del rango de lo típico y se consideran aceptables entre 60 al 79%, concluyendo que la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Coatepec opera de manera correcta porque cumple tanto con la normatividad de la materia como con los estándares establecidos.

Correa, (2008) en su investigación "Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del Municipio de Antioquia, Colombia" concluye que, el sistema de tratamiento tiene una laguna anaeróbica que funciona en serie y dos facultativas que operan en paralelo. En la laguna anaeróbica dio una temperatura de 26.7 °C. Al analizarse la eficiencia del sistema, este dio una remoción de una DBO<sub>5</sub> de 92%.

### **1.2.2 ANTECEDENTES NACIONALES**

Cavero, (2018) en su investigación "Gestión para la evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en la costa Peruana, 2017" tuvo como objetivo general, determinar la relación entre la gestión para la evaluación de las PTAR domésticas en la costa Peruana, 2017". Utilizó el diseño no experimental, descriptivo y transversal, según los resultados se observó que el 37.0% representa un nivel deficiente, seguido por un nivel regular de 43.5% y nivel eficiente de 19.6%. Los niveles deficientes indican que no todas las PTARs en la costa peruana están cumpliendo los ECA Agua según D. S. N° 015-2015 -

MINAM, para lo cual debemos mejorar la Gestión de Evaluación de PTARs con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población de la costa peruana.

Satalaya, (2015) en su investigación “Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas de estabilización de la ciudad de Uchiza” concluyó que en afluente P1, tuvo un comportamiento normal para las descargas de agua residuales brutas y en efluente tratado P2, la T° en noviembre fue de 30°C, pH está dentro de los LMP para aguas residuales domésticas, en DBO<sub>5</sub> afluente fue de 199.6 mg/L, en el efluente fue de 190.86 mg/L, no cumpliendo con el D. S. N° 003-2010; la DQO tuvo un 9.14 mg/L a lo referido por el D.S. N° 003-2010, en el DBO<sub>5</sub> y SST están por encima del LMP y en la eficiencia del sistema para la DBO<sub>5</sub> fue de 20.76% y SST con 23.56%, estos valores son bajos para una eficiencia óptima que es de 70 – 80% y STS 90%, los resultados obtenidos determinan un mal funcionamiento de la PTAR y se tendría que mejorar el tratamiento en la remoción de DBO<sub>5</sub> es el parámetro que indica la contaminación de las aguas residuales domésticas o municipales.

Jimenez, (2014) en su trabajo “Calidad del agua de las lagunas de oxidación de Covicorti, Trujillo, La Libertad” concluyó que la calidad del agua de las lagunas de oxidación de Covicorti-La Libertad no es aceptable y sobrepasa los LMP de Coliformes termotolerantes, DBO y Sólidos totales en suspensión para aguas residuales domésticas, así como tampoco se admite para uso agrícola y pecuario por superar lo estipulado en el Estándar de Calidad de Agua.

Mondragón y Sánchez, (2014) en su investigación “Análisis de la operatividad del sistema de tratamiento de aguas residuales en el continuo urbano de Trujillo, Perú”. Constataron coliformes termotolerantes en exceso de 40 %, y una mayor

DQO de 58.5 % del límite admisible, lo cual, refleja un deficiente tratamiento que conlleva al incremento de la contaminación.

Espinoza, (2010) en la investigación denominada “Planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Miraflores” El cual tuvo como objetivo diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales, que reemplace a las lagunas de estabilización existentes, utilizando el área disponible actual, para su posterior reuso en el distrito de Villa El Salvador, permitiendo así reducir la contaminación por desagües del océano Pacífico en la bahía de Miraflores y mejorar la salud de la población. Diagnóstico y evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento actual, por lagunas de estabilización.

### **1.2.3 ANTECEDENTES LOCALES**

Paricahua, (2018) en la: “Evaluación de la operatividad de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ayaviri, provincia de Melgar - Puno”. En la evaluación de parámetros físicoquímico y microbiológico los resultados de análisis de laboratorio, los cuales son comparados con los LMP en la DBO<sub>5</sub> afluente fue de 184.57 mg/L y en efluente fue de 67.58 mg/L, siendo el LMP de 100 mg/L cuyo parámetro cumple; en la DQO afluente es 420.43 y en efluente es 184.57 mg/L siendo el LMP de 200 mg/L cuyo parámetro cumple; para SST en el afluente fue de 218.14 mg/L y en la afluente fue de 132.43 mg/L, siendo el LMP de 150 mg/L cumpliendo los STS; para coliformes termotolerantes en el afluente dio una concentración de  $1.08 \times 10^7$  y un efluente de  $1.5 \times 10^5$  NMP/100 mL siendo el LMP de  $10 \times 10^3$  permitido cuyo parámetro no cumple; respecto al pH, fue de 7.42 afluente y 7.43 efluente, siendo el LMP entre 6.5 y 8.5, el cual cumple; para Aceites y Grasas, en el afluente fue de 24.25 y efluente 13.56 mg/L, siendo su

LMP 20 mg/l, cumpliendo con el parámetro establecido según el D. S. N°003-2010-MINAM.

Callata, (2014) en la "Evaluación y propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito (EPTARs) de Ajoyani", concluye que, los parámetros evaluados en el efluente de la PTAR fueron la DBO<sub>5</sub> que tuvo una eficiencia de 80.59%, la DQO fue de 80.59%, en aceites y grasas fue de 0.012 mg/L, los SST de un 7.77% estos valores fueron encontrados en el efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico; también determinó la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes que es de 55.14% También comparó los valores del efluente de la PTAR con los LMP según D. S. N°. 003-2010-MINAM.

Arocutipa, (2013) en la: "Evaluación y propuesta técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales, se realizó en la localidad de Massiapo distrito de Alto Inambari Sandia", comparó los análisis del efluente de la PTAR con los LMP establecido en el D. S. N°. 003-2010-MINAM, concluyo que la DBO<sub>5</sub> y la DQO exceden a los LMP, afectando de esta manera a la vida acuática del río Inambari, los parámetros evaluado son: DBO<sub>5</sub> en 37.04%, DQO en 34.06%, aceite y grasas de un 54.04%, SST en 46.51%, la eficiencia de remoción de carga de coliformes totales es de 69.44% y coliformes fecales es de 63.59%.

Jilaja, (2010) En el Perú, la producción de aguas residuales de origen doméstico, correspondiente a la zona urbana, alcanza los 30 m<sup>3</sup>/s. De este total de aguas servidas generadas, el 21% es descargado en los ríos, 43% en el mar, en el departamento de Puno la descarga es el 6% en el Lago Titicaca y el 30% en otros cuerpos receptores. Del total de aguas residuales producidas sólo el 15% es sometido a algún tipo de tratamiento, siendo el más usado los sistemas de

lagunas que constituyen el 84% de las instalaciones de tratamiento existentes en el país.

### **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macusani, Región Puno - 2020.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar los parámetros físicos de calidad de agua del río Macusani con las normas establecidas de ECA, conservación de medios acuáticos.
- Determinar la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el vertimiento de las aguas residuales tratadas en el efluente de la PTAR del distrito de Macusani y el cumplimiento de los LMP.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1 MARCO TEÓRICO**

##### **2.1.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)**

Romero, (2002) determina que, son un conjunto de estructuras que se encarga del proceso de tratamiento aguas residuales, es aquí donde los sólidos y líquido que contiene son separados parcialmente, de esta manera, el resto de los sólidos orgánicos complejos quedan convertidos en sólidos minerales relativamente estables. y la NORMA OS.090 (2015) define que una PTAR es una infraestructura que permite el proceso de la depuración de aguas residuales.

##### **2.1.2 AGUAS RESIDUALES**

Madera, (2011) Las aguas residuales crudas son aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso y para Romero, (1998) las aguas residuales o aguas servidas son una mezcla de líquidos procesos procedentes de hogares, establecimientos y zonas comerciales que contienen una pequeña cantidad de sólidos en relación con el peso del agua.

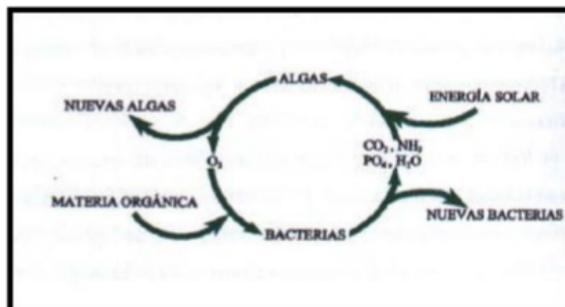
### 2.1.3 LAGUNA AEROBIAS

Oakley, (2011) En el tratamiento de las aguas servidas, se llaman lagunas aeróbicas o lagunas de oxidación, cuando se usa el oxígeno molecular disuelto como aceptor de electrones, el proceso es aeróbico. En la forma simplificada:  $\text{Materia Orgánica} + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{Biomasa}$  y para Lettinga, (1998) la profundidad de una laguna aerobia está entre 0.3 a 0.45 metros, en la cual, mediante la penetración de la luz solar hasta el fondo y por su diseño para una máxima producción de algas con cortos períodos de retención, la reducción de la materia orgánica es efectuada por la acción de organismos aeróbicos.

### 2.1.4 LAGUNA FACULTATIVA

Oakley, (2011) Estanque cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias en presencia de oxígeno, y en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia. La superficie es aerobia por existir la simbiosis entre algas y bacterias y el fondo interior es anaeróbica su profundidad varía entre 1.5 m a 2.5 m. Existen dos mecanismos de adición de oxígeno al estrato superior: la fotosíntesis llevada a cabo por las algas, y las reacción a través de la acción del viento de la superficie. Según Rolim, (2000) Las bacterias y algas actúan en forma simbiótica y degradan la materia orgánica.

*Figura 1. Actividad entre algas y bacterias*



*Fuente: (Rolim, 2000).*

Rolim, (2000) menciona que, en una laguna facultativa existen tres zonas y son:

a) zona superficial: las bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica.

b) zona inferior: zona anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias.

c) zona intermedia: zona que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas. Los sólidos de gran tamaño se sedimentan para formar una capa de fango anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las algas presentes cerca de la superficie. El  $\text{CO}_2$ , que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono para las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango implica la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y el  $\text{CH}_4$ , que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera.

### **2.1.5 LAGUNA ANAERÓBICA**

Martínez, (2003) sintetiza que, una laguna anaeróbica es un estanque de mayor profundidad, varía entre 2.5 a 5 metros, con tiempos de retención del agua residual en ellas de 5 días. En éste tipo de lagunas, no se remueven los flotantes para conservar el calor y para aislar la laguna del oxígeno atmosférico y Oakley (2011) fundamenta que, y su propósito fundamental es remover un porcentaje de la carga orgánica y la mayoría de los sólidos suspendidos bajo condiciones anaeróbicas por la acción de bacterias anaeróbicas su profundidad varía entre 2.5 m a 5 m.

### **2.1.6 LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN**

Silva, (2004) Las lagunas de estabilización son estructuras sencillas de tierra, abiertas al sol y al aire, los cuales constituyen los recursos naturales a que pueden recurrir para lograr su misión. una laguna de estabilización es una estructura simple, que se basa en el embalsamiento del agua por un tiempo de retención específico y Ruiz, (2001) indica que las lagunas de estabilización son grandes embalses donde la carga orgánica del afluente es depurada por la acción de microalgas y bacterias saprófitas.

### **2.1.7 LAGUNA DE MADURACIÓN**

Oakley, (2011) el propósito principal de las lagunas de maduración es proveer un periodo de retención hidráulica adicional para la remoción de los patógenos; también el de mejorar la calidad del efluente en términos de DBO; se considera para estas lagunas una profundidad entre 0.50 m. a 1 m. hasta 1.50 m.

### **2.1.8 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES**

Jilaja, (2010) son las aguas contaminadas por la actividad humana cuyo caudal es conducido mediante tuberías al emisor y finalmente entregar a la planta de tratamiento de aguas residuales y se clasifican en:

- a) Aguas residuales domésticas o municipales: son aguas residuales crudas provenientes de viviendas, edificios, centros comerciales, institucionales públicas, etc. Estas aguas residuales son conducidas por un sistema de alcantarillado.
- b) Aguas residuales Industriales: son provenientes de descargas de industrias de manufactura. También a las aguas residuales se les llama aguas negras y grises.

Tabla 1: Tipos de agua residual

TIPO DE AGUA	DEFINICIÓN	CARACTERÍSTICAS
<b>Agua residual doméstica</b>	Producida en las diferentes actividades al interior de las viviendas, colegios, etc.	Los contaminantes están presentes en moderadas. concentraciones
<b>Agua residual municipal</b>	Son transportadas por el alcantarillado de una ciudad o población.	Contiene materia orgánica, nutrientes, patógenos, etc.
<b>Agua residual industrial</b>	Las resultantes de las descargas de industrias.	Su contenido depende del tipo de industria y/o procesos industriales.
<b>Agua negra</b>	Contiene orina y heces	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos farmacéuticos.
<b>Agua amarilla</b>	En la orina transportada con ó sin agua.	Alto contenido de nutrientes, productos farmacéuticos, hormonas y alta concentración de sales.
<b>Agua Café</b>	Agua con pequeña cantidad de heces y de orina.	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas, y residuos.
<b>Agua Gris</b>	Provenientes de lavamanos, duchas, lavadoras.	Tiene pocos nutrientes y agentes patógenos y por el contrario presentan máxima carga de productos para el cuidado personal y detergentes.

Fuente: (Suárez, (2010).

## 2.1.9 PRINCIPIOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### 2.1.10 Tratamiento anaeróbico

Romero, (2008) La oxidación anaeróbica se define como aquella en que la descomposición se ejecuta en ausencia de oxígeno disuelto y se usa el oxígeno de compuestos orgánicos, nitratos y nitritos, los sulfatos y el CO<sub>2</sub>, como aceptador de electrones.

en el proceso conocido como desnitrificación, los nitratos y nitritos son usados por bacterias facultativas, en condiciones anóxicas, condiciones intermedias, con formación de CO<sub>2</sub>, agua y nitrógeno gaseoso como productos finales.

#### **2.1.11 Tratamiento aeróbico**

Romero, (2008) Cuando se usa oxígeno molecular disuelto como aceptador final de electrones, el proceso es aeróbico y se conoce, también, como respiración aeróbica. la oxidación biológica aeróbica es la conversión bacterial de los elementos, de su forma orgánica a su forma inorgánica altamente oxidada, en un proceso conocido también como “mineralización”.

la mineralización o descomposición microbiológica del material orgánico de las aguas residuales en productos finales inorgánicos como dióxido de carbono, agua, nitrógeno amoniacal o nitratos, ortofosfatos y sulfatos es característica de la oxidación aeróbica de carbohidratos y lípidos; sin embargo, no se aplica a muchos compuestos aromáticos que tienen masa molecular alta, estado de oxidación alto y son estables bioquímicamente, como la lignina, materia húmica y muchos hidrocarburos aromáticos clorados.

#### **2.1.12 FACTORES CLIMÁTICOS PRINCIPALES QUE AFECTAN A LAS LAGUNAS**

##### **a) Radiación solar**

Jimenez, (2014) la radiación solar es un fenómeno que da lugar a dos efectos: el oxígeno disuelto y el pH del agua presentan valores mínimos al final de la noche, y aumentan durante las horas de luz solar hasta alcanzar valores máximos a media tarde. y Rolim, (2000) indica que la luz es importante para la actividad fotosintética, ésta depende no solo de la luz que alcanza la superficie del agua, sino de la que penetra en profundidad.

## 2.1.13 PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

### a) pH

Metcalf y Eddy, (2004) el pH está en un rango de 1 a 14 unidades de pH, la acidez de 1 a 6.9 y la alcalinidad en 7.1 a 14; para el caso de aguas residuales domésticas el rango de pH que permite la actividad normal microbiológica está en el rango de 6 a 9. Según Madera *et al.* (2011) el pH de las aguas residuales está entre 6.4 y 7.1.

### b) Temperatura

Según Rodier, (1981) la temperatura del agua residual varía de estación en estación, por la posición geográfica y altitud. En climas fríos varía de 7 a 18 °C y en climas cálidos varían de 13 a 30 °C; para un buen desarrollo de la actividad microbiológica está entre 25 a 35 °C. Los procesos de digestión aeróbica y nitrificación se detienen a 50 °C, alrededor de 15 °C las bacterias productoras de metano cesan su actividad y según Jimenez, (2014) la temperatura del agua es un parámetro muy importante porque afecta directamente a las reacciones químicas y las velocidades de reacción. Un incremento de la temperatura puede causar cambios en las especies de peces que existen en un cuerpo de agua receptor.

### c) Oxígeno disuelto

Metcalf y Eddy, (1998) resaltan que, el oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, también evitan la presencia de olores fétidos en las aguas residuales. En cuanto a la calidad del agua a mayor oxígeno disuelto en ríos, lagos, mares significa una mayor actividad biológica en la tabla 2 se presenta el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en la calidad

de agua. MINAM, (2010) indica que un nivel mayor a 4 mg/L de oxígeno disuelto en el agua es de mejor calidad.

*Tabla 2: Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en la calidad de agua.*

Nivel de oxígeno disuelto (mg/L)	Calidad de agua
0 – 4	Mala (Algunas poblaciones de peces bajan)
4.1 – 7.9	Aceptable
8 – 12	Buena
Mayor a 12	Repita la prueba

Fuente: (Metcalf y Eddy, 1998).

#### **d) Sólidos suspendidos totales (SST)**

Rodier, (1981) los sólidos suspendidos son utilizados en la evaluación de afluentes y determinan la necesidad de filtrar el efluente antes de su reúso, los sólidos volátiles son la materia orgánica y los sólidos fijos son el residuo inorgánico y para Metcalf y Eddy, (1998) los sólidos suspendidos son uno de los dos estándares universales usados en la evaluación de afluentes junto con la DBO y señalan la necesidad de filtrar el efluente antes de su reúso. El MINAM, (2010) indica que un nivel permitido para efluentes de SST es de 150 mg/L.

#### **e) Demanda química de oxígeno (DQO)**

Gil, (2005) según el autor indica que las aguas residuales crudas presentan una demanda química de oxígeno de entre 150 y 1000 mg/L, mientras que las aguas residuales depuradas o tratadas no deberían superar los 100 mg/L. y el MINAM, (2010) establece un valor límite de 200 mg/L de DQO para efluente de PTAR.

## f) Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Marsilli, (2003) indica que para medir la carga contaminantes orgánica de las aguas residuales de origen doméstico el parámetro más utilizado es la DBO<sub>5</sub>, y es la concentración de oxígeno disuelto consumido por microorganismos presentes en el agua para efectuar la medición en la oxidación de toda la materia orgánica presente en la muestra de agua. Según Rivera *et al*, (1995) las aguas residuales de origen doméstico para DBO<sub>5</sub> fluctúa entre los 20 a 100 mg/L. El MINAM, (2010) indica que un nivel permitido para efluentes de DBO<sub>5</sub> es de 150 mg/L.

La DBO<sub>5</sub> es un indicador que muestra el estado del agua.

Tabla 3: Parámetro indicativo de DBO<sub>5</sub>.

Estado	DBO <sub>5</sub> mg/L
Agua pura	0 - 20
Agua levemente contaminada	20 - 100
Agua medianamente contaminada	100 - 500
Agua muy contaminada	500 - 3000
Agua extremadamente contaminada	3000 - 15000

Fuente: (Rivera *et al*, 1995).

## g) Aceites y grasas contaminantes en las aguas residuales

Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que, al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual su efecto en los sistemas de tratamiento de aguas residuales o en las aguas naturales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. No permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO<sub>2</sub> del agua hacia la atmósfera; en casos extremos producen la

acidificación del agua junto con bajos niveles del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar. El MINAM, (2010) indica que un nivel permitido para efluentes de SST es de 20 mg/L.

#### **h) Coliformes termotolerantes**

Hayes, (1993) los coliformes termotolerantes son microorganismos que soportan temperaturas de hasta 45°C, mayormente están conformados por *escherichia coli* y menos frecuentes en *citrobacter freundii* y *klebsiella pneumoniae*, su origen se asocia normalmente con la vegetación y ocasionalmente aparecen en el intestino.

#### **2.1.14 Eficiencia de remoción para plantas de tratamiento de aguas residuales**

Fórmula dada por Lettinga (1995) para calcular la eficiencia de remoción PTAR.

$$E = \left[ \frac{S_o - S}{S_o} \right] \times 100$$

Dónde:

E = Eficiencia del proceso (%)

S<sub>o</sub> = Concentración del sustrato en el afluente (mg/L)

S = Concentración del sustrato en el efluente (mg/L)

*Tabla 4: Probables rangos de remoción de parámetros en lagunas*

Parámetro	Remoción esperada
DBO <sub>5</sub>	50 – 90 %
DBO <sub>5</sub> (Laguna facultativa)	70 – 80 %
Bacterias coliformes	90 – 95 %
Sólidos Totales en suspensión	90 %
Sólidos disueltos	80 %

Fuente: (Lettinga, 1995).

### 2.1.15 Parámetros físico químicos del agua residual

Tabla 5: se presentan las principales propiedades físicas del agua residual y sus constituyentes químicos, biológicos y procedencia.

“Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual”.

*Tabla 5: Principales propiedades físicas del agua residual y sus constituyentes químicos, biológicos y procedencia.*

Parámetros	Descripción	Intervalo
Sólidos Totales	Inorgánicos y orgánicos, sedimentables suspendidos y materia disuelta	375-1800
Sedimentables en ml/L	Porción de sólidos orgánicos e inorgánicos, que sedimentan durante una hora en un cono Imhoff	5-20
Disueltos Totales (SDT), mg/L	Porción de sólidos orgánicos e inorgánicos, que no son filtrables, materia más pequeña que una milimicra ( $\mu\text{m}$ ) caen en esta categoría	250-800
DBO <sub>5</sub> mg/L Demanda bioquímica de oxígeno 5 a 20°C	Representa la fracción biodegradable, de los compuestos orgánicos. Mide la cantidad de oxígeno disuelto empleado por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica en 5 días.	110-400
DQO, mg/L	Mide la concentración de materia orgánica. Representa la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica con un oxidante fuerte (dicromato de potasio) bajo condiciones ácidas	200-780
Nitrógeno Total (NT), mg/L	El nitrógeno total incluye nitrógeno orgánico, amonio, nitritos y nitratos. El Nitrógeno, y el Fósforo junto con el carbono, más otros elementos sirven como nutrientes, aceleran el crecimiento de plantas acuáticas en aguas naturales	20-85
Nitrógeno Orgánico N), mg/L	Es el nitrógeno ligado a las proteínas, (NO), (como aminoácidos y urea	8-35
Nitrógeno (como N), mg/L	El nitrógeno del amoníaco se Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N), produce primero en la etapa de descomposición de nitrógeno orgánico	12-50
Nitrito y Nitrato (como N), mg/L	Los nitritos y los nitratos son la forma de nitrógeno más elevado número de oxidación Estas dos formas de nitrógeno están ausentes de las aguas residuales crudas.	0-poco
Fósforo Total (PT), mg/L	El fósforo total existe en forma orgánica e inorgánica, el fósforo en aguas naturales es fuente de la eutroficación	4-8

Fósforo Orgánico (como P), mg/L	El fósforo orgánico se encuentra en proteínas y aminoácidos	1-3
Fósforo Inorgánico (como P), mg/L	La forma inorgánica de fósforo existe como ortofosfato y polifosfato	3-6
pH	ácida o básica del agua, una solución es neutra a pH $\bar{}$ 6,5-7,5	
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> ), mg/L	La alcalinidad en el agua residual, se debe a la presencia de los iones bicarbonato, hidroxilo y carbonato	50-200
Dureza (como CaCO <sub>3</sub> ), mg/L	La dureza en el agua residual se debe principalmente a los iones calcio y magnesio. La dureza del agua residual obviamente depende de la dureza del agua potable	180-350
Cloruros, mg/L	Los cloruros en el agua residual provienen de los desperdicios humanos, y de los suavizantes domésticos	30-100
Aceites y Grasas, mg/L	Estos son solubles en porciones de materia orgánica en hexano. Su fuente son las grasa y aceites empleadas en los alimentos	50-150

Fuente: WASTEWATER TREATMENT PLANTS, Syed R. Qasim, Second Edition CRC Press 1999.

### 2.1.16 CONSIDERACIONES AMBIENTALES

En todo proceso biológico, los organismos se desarrollarán apropiadamente si se les provee, básicamente, lo siguiente:

- ❖ Nutrientes suficientes.
- ❖ Ausencia de compuestos tóxicos.
- ❖ Condiciones ambientales apropiadas.

En general las bacterias requieren, principalmente, carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno; en menor proporción, fósforo, azufre, potasio, calcio, hierro y magnesio, y como suplemento nutricional cantidades mínimas de zinc y molibdeno. Comúnmente, las aguas residuales domésticas contienen los nutrientes requeridos para el crecimiento bacterial, pero algunos residuos industriales puede que no.

## 2.1.17 OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONTROL

### a) Operación y Mantenimiento

La operación y mantenimiento de las lagunas de estabilización tiene como objetivos básicos los siguientes:

- ★ Mantener limpias las estructuras de entrada, interconexión y salida.
- ★ Mantener en lagunas facultativas primarias un color verde intenso brillante, el cual indica pH y OD alto.
- ★ Mantener una concentración alta de OD en lagunas de maduración.
- ★ Mantener libre de vegetación la superficie del agua.
- ★ Mantener adecuadamente podados los taludes para prevenir problemas de insectos y erosión.
- ★ Mantener un efluente con concentraciones mínimas de DBO Y SS.
- ★ Mantener, en lagunas anaeróbicas, un pH aproximadamente igual a 7.0 y un manto denso de nata sobrenadante que minimice la presencia de olores.

Las labores típicas de operación y mantenimiento incluyen:

- ★ Mantener limpia la rejilla en todo momento, remover el material retenido, desaguarlo y enterrarlo diariamente. Es recomendable medir el volumen diario de material dispuesto.
- ★ Mantener controlada la vegetación de los diques impidiendo su crecimiento más allá del nivel del triturado o grava de protección contra la erosión.
- ★ Remover toda vegetación emergente en el talud interior de las lagunas.
- ★ Cortar el pasto de los taludes exteriores y áreas circunvecinas, en seco, para mantenerlo en una altura máxima de 15 cm.

- ★ Verificar el estado adecuado del triturado o grava de protección de los diques.
- ★ Remover la nata sobrenadante de lagunas facultativas o de maduración y disponerla apropiadamente.
- ★ Mantener limpias las unidades de entrada, interconexión y salida. lubricar, si es del caso, válvulas y/o compuertas existentes.
- ★ Inspeccionar y prevenir cualquier daño en diques, cerca o unidades de entrada, interconexión y salida.

**b) Control**

El control adecuado del proceso de tratamiento exige el registro, por el operador, de los caudales de aguas residuales y de las características del afluente, contenido de la laguna y efluente.

**2.1.18 MEJORAMIENTO DEL EFLUENTE**

**a) Filtros de piedra**

Romero, (2008) para quitar algas de efluentes de lagunas se han desarrollados filtros de piedra o medio grueso. el método más común de operación es el de flujo horizontal del efluente de la laguna a través de un lecho de piedra recubierto de película biológica y captación del efluente final mediante tubería perforada colocada a nivel con la elevación del agua en la laguna.

**b) Filtros intermitentes de arena**

La filtración intermitente de efluentes de lagunas de estabilización en filtros de arena es semejante a la filtración lenta en arena de aguas para consumo. A medida que el agua residual pasa por el lecho filtrante de

arena, los sólidos suspendidos y la materia orgánica son removidos por medio de procesos físicos de filtración y cribado así como por acción biológica.

El material removido se acumula en los 5 a 7.5 cm de lecho superior de arena y, eventualmente, taponan el filtro. El filtro se saca entonces de servicio y se separa la capa sucia de arena para su lavado o reemplazo oportuno.

### **c) Lagunas de jacintos**

Las lagunas de jacintos son lagunas cubiertas con jacinto de agua, *Eichornia crassipes*. El jacinto de agua es una planta grande, acuática, flotante, prolífica, de hojas verdes brillantes anchas y flores azulosas salpicadas con amarillo canario, nativa de Suramérica, que se encuentra en zanjas y muchas lagunas y embalses de agua del país.

La reproducción del jacinto es muy rápida y le permite cubrir en breve tiempo una laguna, especialmente si la  $T^{\circ}$  es mayor de  $20^{\circ}$  C. El control del jacinto de agua es uno de los problemas más serios de mantenimiento, en embalses de agua para consumo humano como el de Tibitoc. Sin embargo, el uso exclusivo del jacinto de agua para tratamiento de aguas residuales ha sido promovido por muchos individuos. El jacinto de agua, además de remover nutrientes como el N, P y metales pesados es eficiente en la remoción de algas y sólidos suspendidos.

## **2.1.19 IMPACTO AMBIENTAL DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

### **a) Justificación del sistema de tratamiento**

la justificación del sistema de tratamiento propuesto debe incluir un diagrama de flujo con el diseño conceptual y con las razones técnicas y económicas evaluadas para justificar su selección. Las PTAR se constituyen para remover SSD (materia orgánica e inorgánica, nutrientes, grasas y aceites, sustancias tóxicas y organismos patógenos) que tienen efectos perjudiciales sobre el medio en el cual van a ser dispuestos. por tanto, cuando se construyen y operan adecuadamente, tienen un impacto ambiental (IA) neto muy positivo.

**b) Descripción del medio ambiente existente**

La descripción del medio ambiente existente cubre el área afectada por el proyecto, reseña las características físicas del sitio: sus condiciones meteorológicas, climatológicas, geológicas e hidrológicas; el medio biológico y sus componentes en flora y fauna; el medio cultural y socioeconómico; los usos del suelo y la normatividad existente. Este aspecto constituye el inventario ambiental, el cual sirve de base para predecir y evaluar el impacto ambiental del proyecto.

**c) Medidas de mitigación del impacto ambiental negativo de la planta de tratamiento**

una vez identificados los impactos ambientales negativos de la planta de tratamiento, se formulan las medidas remediales para prevenir o mitigar los efectos negativos. Las medidas remediales deben incluir las acciones técnicas sociales, económicas o legales que minimicen los impactos negativos y prevengan todo litigio costoso.

**d) Programa de monitoreo del impacto ambiental**

El programa de monitoreo del impacto ambiental de la PTAR incluye la meteorología para satisfacer los requerimientos de recolección de muestras, caracterización del afluente y del efluente, así como los procedimientos para asegurar el cumplimiento de las medidas de mitigación de los impactos ambientales negativos.

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

**Afluente:** Agua residual u otro líquido que ingresa a un reservorio o algún proceso de tratamiento (ANA, 2010).

**Aguas crudas:** Agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos (MINAM, 2010).

**Aguas residuales:** Son composiciones variadas proveniente de las descargas de usos domésticos, agrícolas, industriales, pecuarios y de cualquier otro uso (MINAM, 2010).

**Cadena de Custodia:** Formato donde se escribe la información relacionada con la toma de muestras de agua, la que será entregada al laboratorio para su respectivo análisis (ANA, 2010).

**Contaminación del agua:** Es cualquier cambio físico o químico en el agua de superficie o subterránea que puede ser nocivo para los organismos vivos o volverla no apta para su uso (MINAM, 2019).

**Cooler:** Caja térmica que permite mantener la temperatura de 4 °C, para el transporte de la muestra al laboratorio, para su posterior análisis (ANA, 2010).

Cuerpo receptor de agua: Curso de agua, río o arroyo; un lago, bahía, golfo, al cual se descarga un efluente de aguas servidas, ya sea de áreas urbanas, de industrias, o de sistemas de riego (SUNASS, 2015).

Efluente: Agua residual u otro líquido que sale de un sistema o proceso (ANA, 2010).

Estándares de Calidad Ambiental (ECA): Son indicadores que miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se encuentran presentes en el aire, agua o suelo, pero no presentan un riesgo significativo para la salud de las personas y tampoco al medio ambiente (MINAM, 2010).

Frasco para muestras: Son botellas de vidrio de material borosilicato o de plástico de boca ancha con tapa rosca, que soportan la esterilización por la autoclave a una temperatura de 121 °C durante 15 minutos (ANA, 2010).

Lagunas de estabilización: Son estructuras sencillas de tierra, abiertas al sol y al aire, los cuales constituyen los recursos naturales a que pueden recurrir para lograr su misión (MINAM, 2010).

Lagunas facultativas: Son estanques de embalse de aguas residuales de origen doméstico tiene una profundidad de 1,5 a 2,5 m; y en el tratamiento se desarrolla por la acción de bacterias aeróbicas en la capa superior y de bacterias anaeróbicas o anóxicas en la capa inferior (Lettinga, 1998).

Límites Máximos Permisibles (LMP): Es la medida de la concentración o grado de elementos, parámetros físico químicos y microbiológicos, que se caracterizan en un efluente, que al ser excedida puede causar daños a la salud humana y ambiental (MINAM, 2010).

Proceso anaerobio: Es un proceso lento y presenta malos olores. Las condiciones anaerobias se establecen cuando el consumo de oxígeno disuelto es mayor que la incorporación del mismo a la masa de agua por la fotosíntesis de las algas y el oxígeno disuelto, generalmente la laguna tiene un color gris oscuro (Lettinga, 1998).

Proceso aerobio: Se caracteriza por la descomposición de la materia orgánica, la cual se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto, en este proceso participan bacterias aeróbicas, las cuales originan compuestos inorgánicos que sirven de nutrientes a algas, éstas a su vez producen el oxígeno que facilita la actividad de las mismas bacterias (Marsillini, 2003).

Toma de muestra: Es un conjunto de métodos destinados a obtener información, una parte representativa cuantitativamente a partir de un todo (ANA, 2010).

## 2.2.1 MARCO LEGAL

- **Decreto Supremo N° 004-2017 - MINAM**, Aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA.

-**Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM**, aprueban los Límites Máximos Permisibles

*Tabla 6: Límites máximos permisibles para efluentes de PTAR*

PARÁMETROS	UNIDAD	LMP para efluentes de PTAR
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 - 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	Menor a 35

Fuente: D. S. Nro. 003-2010-MINAM.

*Tabla 7: Parámetros recomendados para evaluar cuerpos de aguas ríos, lagos*

Actividades	En campo "in-situ"	En laboratorio "ex-situ"
Poblacionales	Oxígeno disuelto, temperatura, pH y CE.	DBO <sub>5</sub> , sólidos totales disueltos, coliformes termotolerantes y cianuro

Fuente: RJ N° 202-2010-ANA.

## **2.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL**

La eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macusani, Región Puno - 2020, cumple con las normas ambientales.

### **2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- Los parámetros físicos de calidad de agua del río Macusani cumplen con las normas establecidas de ECA, conservación de medios acuáticos.
- los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el vertimiento de aguas residuales tratadas en el efluente cumplen con los LMP.

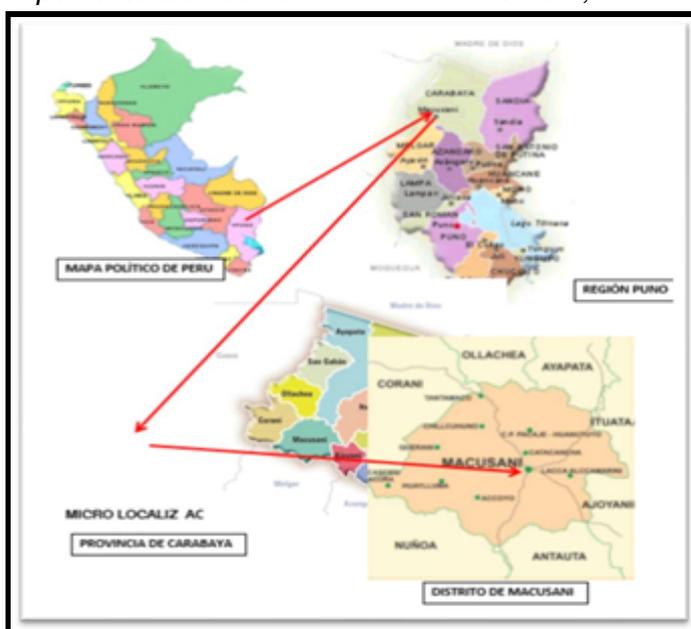
## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 ZONA DE ESTUDIO

La planta de tratamiento de aguas residuales está ubicada en el distrito de Macusani, provincia de Carabaya, región Puno a una altitud de 4268 msnm. enmarcado en las coordenadas UTM – WGS 84, zona 18 Norte, 343506 Este, 8447758 Norte y desde la localidad urbana de Macusani hasta la PTAR existe una distancia promedio de 4 km. con dirección a San Gabán.

*Figura 2: Ubicación Región Puno, Provincia de Carabaya, Distrito de Macusani Expediente técnico de la PTAR de Macusani, 2019*



Fuente: <https://es.slideshare.net/dpereyra38/pvpp-carabaya>

### 3.1.1 Ubicación de la PTAR de la ciudad de Macusani y río Macusani

Figura 3: Vista Satelital de la PTAR de Macusani



Fuente: <https://es.scribd.com/doc/300051909/Diseno-Macusani-Ptar-Laguna-Maduracion>

## 3.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA

La presente investigación es no-experimental porque no se manipularon las variables y el diseño estadístico es descriptivo porque se muestran y se describe las características físicas de la calidad del agua y los parámetros físico químicos y microbiológicos de aguas residuales municipales del efluente de la PTAR – MACUSANI.

## 3.3 METODOS Y TECNICAS

### 3.3.1 Muestreo

El agua es esencial para la prosperidad de los seres vivos y para la salud del medio ambiente por otra parte está el efluente de la planta de tratamiento de agua residual de Macusani sobre los cuerpos de agua en este caso el río Macusani, ahí surge la importancia de medir la concentración de sustancias o

parámetros físicos químicos y microbiológicos, que caracterizan a estos vertimientos. Se realizó un muestreo en la calidad del río Macusani y en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Macusani en los días 07 de octubre y 16 de noviembre del presente año con un total de 3 puntos de muestreos de los cuales 1 punto de muestreo se realizó en el río Macusani y 2 puntos de muestreo fue en el afluente y efluente de la PTAR de Macusani con la intención de conocer la concentración de carga contaminante del efluente además se recolectó muestras de aguas residuales de 1 L. y después se envió al laboratorio SGS S.A.C. certificado por INACAL ubicado en la ciudad de Arequipa ver anexo 7. En la tabla 08 se muestra las coordenadas y fechas de los puntos muestreados de la PTAR - Macusani.

*Tabla 8: Coordenadas UTM de los puntos de muestreo*

Fecha de muestreo	Río Macusani		PTAR-Macusani	
	Punto 1		Afluente	Efluente
07 de octubre	E: 343542	E: 343566	E: 343865	E: 343551
	N: 8447703	N: 8447758	N: 8447825	N: 8447820
16 de noviembre	E: 343578	E: 343402	E: 343455	E: 343551
	N: 8447834	N: 8447325	N: 8445475	N: 8447324

Fuente: Coordenadas UTM del río y PTAR Macusani (Fuente propia)

### **3.3.2 Toma de muestras**

Se recolectó muestras del afluente y efluente de la PTAR de Macusani y una muestra de acuerdo a lo establecido por el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

*Figura 4: Toma de muestras.*



### **3.3.3 Equipos de muestreo, materiales e insumos utilizados**

- Medidor multiparamétrico y GPS marca "Garmin X20" canales
- Botellas de vidrio con capacidad de 1 litro para la toma de muestras de agua residual destinadas al análisis físico-químico, lavadas y esterilizadas con una solución de permanganato de potasio y ácido sulfúrico.
- 1 recipiente con boca ancha para aceites y grasas, debidamente esterilizadas.
- Equipo de refrigeración apropiado para transporte de las muestras.
- Balde de volumen conocido.
- Cinta para etiquetar las muestras
- Zapatos de seguridad
- Lentes.
- Guantes de nitrilo.
- Mascarilla.
- Mandil.
- Casco
- Soguilla

### 3.3.4 Etiquetado y rotulado

Una vez tomado las muestras, se procedió inmediatamente a etiquetar y rotular, con letra clara y legible los datos básicos como nombre de la PTAR, número de muestra, fecha y hora de la toma de muestra, y operador de muestreo; de acuerdo a lo indicado por el laboratorio de Ensayo SGS PERÚ S.A.C. laboratorio certificado por INACAL. figura 5.

*Figura 5: Etiquetado y rotulado de muestras de aguas residuales.*



### 3.3.5 Llenado de la cadena de custodia

En el llenado de la Cadena de custodia se escribe e indican los parámetros evaluados por cada punto de muestreo, el tipo de frasco utilizado, tipo de muestra de agua, en este caso es de origen residual el volumen de la muestra, número de las muestras, condiciones de conservación, operador del muestreo y otra información que se considere relevante, como la fecha y hora, número de



PTAR, nada adecuado para poder realizar el cálculo del caudal y es complicado tratar de calcularlo debido a la complejidad y riesgo de sufrir un accidente.

### **3.3.8 Análisis de laboratorio**

Se recolectó muestras de aguas residuales del afluente y efluente de la PTAR de la ciudad de Macusani y se trasladaron al laboratorio de ensayos acreditados por INACAL con registro N° LE-050 “Laboratorios Analíticos del Sur” ubicado en el parque industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado – Arequipa - Perú y laboratorios SGS Perú S.A.C con la finalidad de que los resultados sean verídicos y precisos mediante métodos de ensayos acreditados; para tal efecto se adjunta en el anexo 05 y 08 con números de códigos de informes de ensayos con valor oficial “LAS-AC-1701753 y MA1929328 Rev. 0”

### **3.3.9 Evaluación de los parámetros de calidad de las aguas del río Macusani cumplen con las normas establecidas ECA de conservación del medio acuático**

El primer objetivo específico se cumplió de la siguiente manera, con un medidor multiparamétrico de marca ADWA, se procedió a la medición in-situ de la calidad del río Macusani y los parámetros evaluados fue de acuerdo al Decreto Supremo Nro. 004 – 2017 – MINAM, ECA categoría IV, conservación del medio acuático menciona la necesidad de evaluar parámetros como pH, cianuro total, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, DBO<sub>5</sub> y C. termotolerante.

### **3.3.10 Evaluación de la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el vertimiento de las aguas residuales tratadas en el efluente cumplen con las normas ambientales de LMP**

El segundo objetivo específico se cumplió de la siguiente manera, con los resultados de las muestras de aguas residuales analizadas en el laboratorio del efluente de la PTAR de Macusani y con la fórmula descrita por (Lettinga, 1995) se halló la eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub>, DQO y SST. Además, con los resultados del pH, temperatura, coliformes termotolerantes, SST, DBO<sub>5</sub>, DQO, aceites y grasas se comparó con el D.S. N° 003-2010-MINAM, PTAR.

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100$$

Dónde: E = Eficiencia de remoción de PTAR o uno de sus componentes (%)

S = Carga contaminante de efluente (mg/L. DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, etc.)

S<sub>0</sub> = Carga contaminante de afluente (mg/L. DQO, DBO<sub>5</sub>, SST, etc.)

### 3.3.10.1 Resultados del laboratorio, ver Anexos 05 y 08 pág. 56 y 59

*Tabla 9: Métodos de análisis y resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente de la PTAR de Macusani con fecha 16 de noviembre del 2019*

Parámetros	Unidad	Resultados de afluente	Método analítico
Potencial de hidrogeniones	pH	7.27	Electrométrico
Sólidos suspendidos totales	mg/L	134	Colorímetro
Demanda química de oxígeno	mg/L	4090	Digestión cerrada
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	1520	Digestión cerrada
Aceites y Grasas	mg/L	1.8	Método de Soxlet
Temperatura	° Celsius	20.3	Termómetro
Coliformes termotolerantes	NMP/100	49*10 <sup>3</sup>	

Fuente: Certificado de análisis cód. lab. AG17001200, Muestreo: 16/11/2019 ver anexo

*Tabla 10: Métodos de análisis y resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de la PTAR de Macusani con fecha 16 de noviembre del 2019*

Parámetros	Unidad	Resultados de efluente	Método analítico
Potencial de hidrogeniones	pH	7.56	Electrométrico
Sólidos suspendidos totales	mg/L	44	Colorímetro
Demanda química de oxígeno	mg/L	209	Digestión cerrada

Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100	Digestión cerrada
Aceites y Grasas	mg/L	0.32	Método de Soxlet
Temperatura	° Celsius	20.1	Termómetro
Coliformes termotolerantes	NMP/100	11*10 <sup>3</sup>	

Fuente: Certificado de análisis cód. lab. AG17001201, Muestreo: 16/11/2019 ver anexo

### 3.4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

*Tabla 11: Operacionalización de variables.*

Variable de estudio	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
<b>INDEPENDIENTE</b>			
Calidad de agua del río Macusani usando los ECA según el DS N° 004-2017-MINAM	Parámetros físicoquímicos y microbiológico ECA - río	pH	Und. pH
		CE	µS/cm
		OD	mg/L
		SST	mg/L
		T°	°C
		CN	mg/L
		DBO <sub>5</sub>	mg/L
		CT	NPM/100 mL
<b>DEPENDIENTE</b>			
PTAR del distrito de Macusani usando los LMP para efluentes de PTAR según el DS N° 003-2010-MINAM	Físicos - LMP	pH	Und. pH
		T°	°C
		STD	mg/L
	Químicos - LMP	DBO <sub>5</sub>	mg/L
		DQO	mg/L
		AG	mg/L
		Microbiológico - LMP	CT

### 3.5 MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño del estudio es de tipo descriptivo y se basa en la recolección de datos, está orientado a mostrar los sucesos tal como se manifiestan en la realidad, describiendo de manera cuantitativa las características físicoquímicas y microbiológicas de la calidad del agua, aguas residuales y comparándolas con los ECA y LMP.

El estudio no es experimental, porque no se realizó ninguna clase de control por parte de la estudiante en las variables, sino que se registró la realidad tal como se muestra en barras y diagrama de tablas. Para ello, se utilizó el software EXCEL para el procesamiento y síntesis de los datos.

El diseño estadístico fue de bloque completo al azar, modelo lineal según (Bernal, 2006).

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij}$$

Donde:

$i$  : Puntos de muestreo ( $i=1,2$ ).

$j$  : Repeticiones expresado en meses ( $j=1,2$ ).

$Y_{ij}$  : Variable de medición del parámetro.

$\mu$  : Media general.

$\alpha_i$  : Efecto de  $i$ -ésimo punto de muestreo.

$\beta_j$  : Efecto de bloque por mes de muestreo.

$e_{ij}$  : Error experimental (0.05).

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1.1 Evaluación de los parámetros de calidad de las aguas del río Macusani cumplen con las normas establecidas ECA de conservación de medios acuáticos

Tabla 12: Resumen de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según ECA, ríos.

Parámetros	Unidad de medida	Resultado de muestreo	ECA (Decreto Supremo 004-2017-MINAM), ríos	Cumplimiento
pH	Uni. de pH	8.86	Entre 6.5 - 9	<b>Si cumple</b>
Temperatura	(°C)	17.5	21.5	<b>Si cumple</b>
Oxígeno disuelto	(mg/L)	6.2	Mayor a 5	<b>Si cumple</b>
Conductividad e.	(μS/cm)	154	No debe superar a 1000	<b>Si cumple</b>
Sólidos s. totales	(mg/L)	3	Menor a 100	<b>Si cumple</b>
DBO <sub>5</sub>	(mg/L)	2.6	No debe superar a 10	<b>Si cumple</b>
Cianuro total	(mg/L)	0.0008	No debe superar a 0.0052	<b>Si cumple</b>
C. termotolerante	NMP/100mL	33	No debe superar a 2000	<b>Si cumple</b>

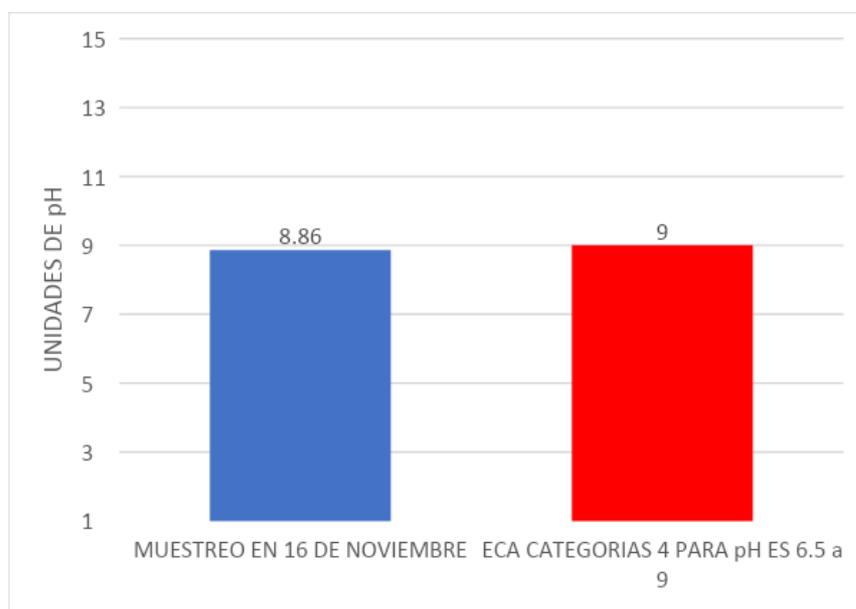
Fuente: Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río macusani

Se presenta el resumen de los valores obtenidos de los parámetros analizados en el río Macusani el cual se encuentra a 150 metros de la PTAR de Macusani. Se

observa también que los parámetros evaluados cumplen con los ECA categoría 4, conservación de medios acuáticos, ríos. Los resultados de la tabla 12 demuestra la comprobación de la primera hipótesis planteada en la investigación.

#### a) Potencial de hidrogeniones del río Macusani vs ECA categoría 4

Figura 7: pH del río Macusani



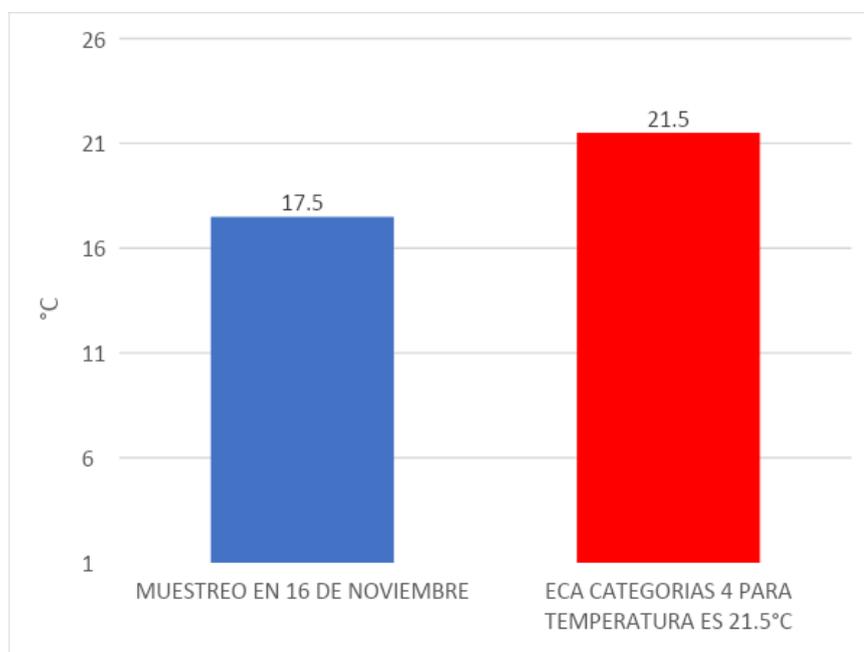
En la figura 7 se presentan en forma de barras los valores del pH y el ECA para cuerpos de agua, ríos que está en el rango de 6.5 a 9. La barra de color azul es el pH evaluado fue de 8.86 y está dentro del rango de los ECA categoría 4, ríos. los valores de la presente investigación guarda relación con lo establecido por Jimenez (2014) En el pH para las lagunas facultativas fue de 7,9 mostrando una mínima oscilación entre 7,85 y 7,96 de pH, y el pH para la laguna aireada 2 durante la primera y cuarta semana de noviembre fueron 8,0 y 7,3 respectivamente.

Yana, (2014) en su investigación obtuvo un mayor promedio de pH que se presentó en el río Torococha - Juliaca y fue en la Zona C con un pH de 7.5, seguida por la Zona B con un pH 7.3 y finalmente en la Zona A presentó un

pH de 6.8, Torres, (2008), indica que todas las muestras de pH en su estudio cumplían con el límite máximo permisible de 6.5 - 9, valores que no son iguales a la presente investigación de un 8.86 de pH del río Macusani.

#### b) Temperatura del río Macusani vs ECA categoría 4

Figura 8: Temperatura del río Macusani

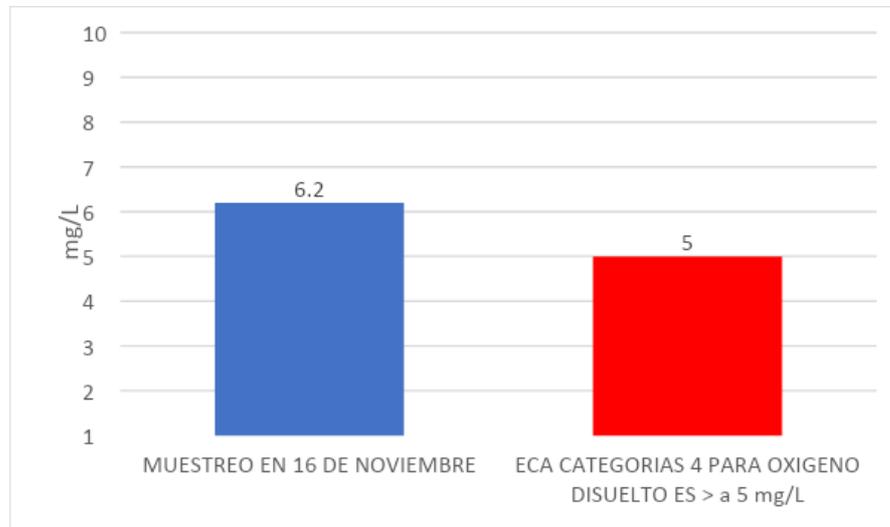


Yana, (2014). registró temperaturas de 12.99 °C, 12.53 °C y 12.24 °C en los meses de abril, agosto y enero valores estadísticamente similares entre sí, valores que no es igual al presente trabajo que es 17.5 °C esto significa que no hay actividad bacteriana en el río Macusani según Rodier (1981) menciona una temperatura para el desarrollo de actividad bacteriana está en el rango de 25 a 35 °C, en la figura 8 se presentan en forma de barras los valores de la temperatura y el ECA temperatura para cuerpos de agua, ríos. La temperatura registrada es 17.5°C esto significa que está dentro del rango permitido de los ECA categoría IV, para ríos y en los LMP para el efluente de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales (MINAM, 2010) establecen que la temperatura del agua emitida por la

Planta es menor a 35 °C, en ese sentido los valores obtenidos en el estudio cumplen, sin embargo temperaturas altas pueden ser perjudiciales a los peces y el oxígeno de los seres acuáticos aumenta (EPA, 1986).

### c) Oxígeno disuelto del río Macusani vs ECA categoría 4

Figura 9: Oxígeno disuelto del río Macusani



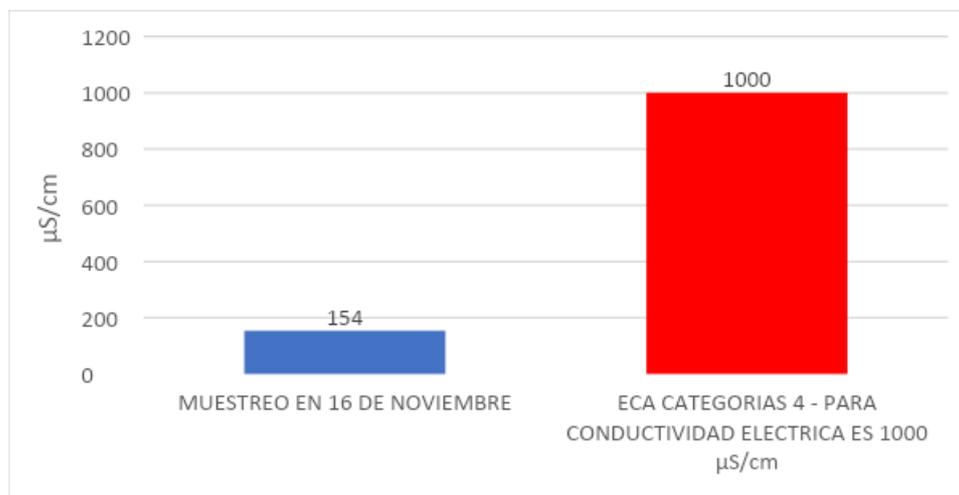
Los estándares de la calidad ambiental (ECA) para el oxígeno disuelto (OD) en ríos es mayor a 5 mg/L. El OD registrado en el mes de noviembre fue de 6.2 mg/L esto significa que cumple con el rango establecido por los ECA en la categoría 4, ríos. Según Veliz et al., (2010), reportan para la Planta de tratamiento de aguas residuales de Culiacán (México), un valor de oxígeno disuelto promedio de 1,60 mg/L, y Méndez et al. (2006) indican que las aguas residuales del afluente fueron de 0 mg/L.

De acuerdo a lo reportado por Pari, (2017) los resultados obtenidos en los puntos de muestreo para el oxígeno disuelto en el río llave fueron de 5.8 mg/L el valor más alto que se registró en el P1 y el valor más bajo fue de 4.2 mg/L en el P2. El promedio de los valores del OD para el mes de noviembre fue de 4.9 mg/L, seguido del mes diciembre con de 4.4 mg/L, y

finalmente el mes de enero con 5.7 mg/L estos valores guardan relación con los valores obtenidos de la presente investigación y la calidad de OD es buena según los ECA para medios acuáticos que es mayor a 5 mg/L.

#### d) Conductividad eléctrica del río Macusani vs ECA categoría 4

Figura 10: Conductividad eléctrica del río Macusani

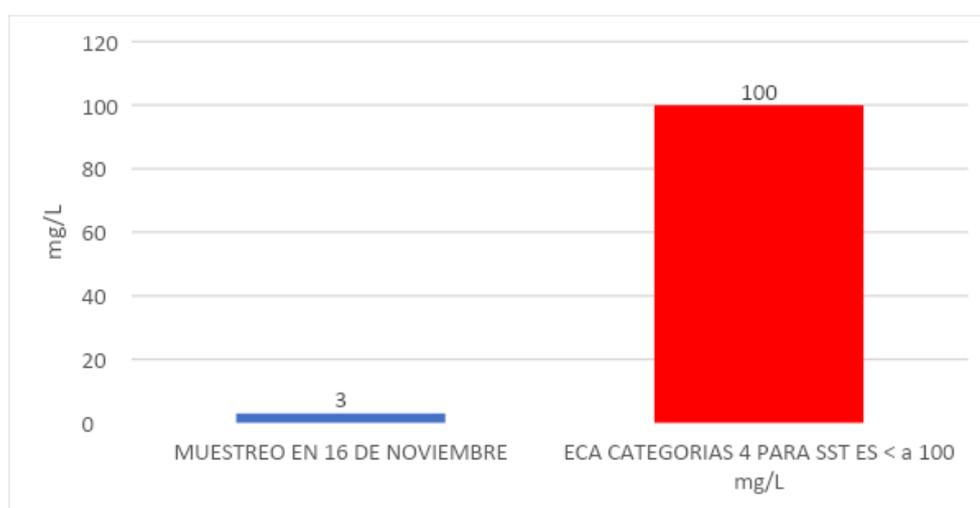


Los estándares de la calidad ambiental (ECA) para la conductividad eléctrica CE en ríos es 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La CE registrada en el mes de noviembre fue de 154  $\mu\text{S}/\text{cm}$  esto significa que cumple con el rango establecido por los ECA en la categoría 4, ríos. Jimenez (2012) registró los promedios de conductividad eléctrica que oscilan entre 542 y 893  $\mu\text{S}/\text{cm}$  estos resultados indican que se encuentra en los ECA para ríos que es 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  además indicó que existe gran cantidad de sales inorgánicas y no podrían ser utilizadas sin un tratamiento previo si se quiere clasificar estas aguas para uso potencial de riego con fines agrícolas en un futuro, también mencionó que el comportamiento del parámetro de la CE en los diferentes puntos existe un ligero incremento en la descarga de aguas residuales. Los resultados obtenidos para la CE según Pari (2017) fueron

820  $\mu\text{S}/\text{cm}$  el valor más alto fue en el P1 muestreado en el mes de diciembre, y el más bajo fue de 390  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en los en los puntos 1,2 3. El promedio de los valores del CE para el mes de noviembre fue de 765  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , seguido del mes diciembre con de 693  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y finalmente el mes de enero con 393  $\mu\text{S}/\text{cm}$  esto fue en los puntos de muestreo del río llave además indicó con los resultados obtenidos cumplen con los ECAS para cuerpos de agua en la categoría IV.

#### e) Sólidos suspendidos totales del río Macusani vs ECA categoría 4

Figura 11: Sólidos suspendidos totales del río Macusani

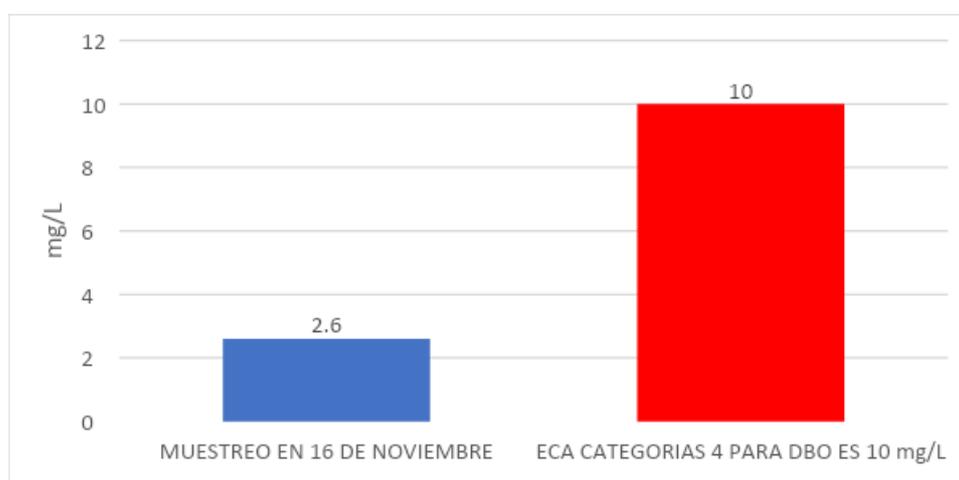


La figura 11 se presentan en forma de barras los Sólidos suspendidos totales (SST) y el ECA para SST en ríos. Los SST registrados fueron de 3 mg/L esto significa que está dentro del rango permitido de los ECA categoría 4, para ríos que es de 100 mg/L, en cambio Méndez, (2006) reportó un valor de SST de 39 mg/L, por lo cual especificó que el agua podría ser usada para riego y Yana, (2014) los valores promedio obtenidos para los SST del río Torococha, Juliaca en la Zona A es de 92.58 mg/L, Zona B es de 185.58 mg/L y para la Zona C es de 141.42 mg/L valores que son diferentes a la presente investigación, además concluyó que en la

Zona B presentó un nivel más alto de SST puesto que existe una remoción del fondo causada por la corriente del caudal y el vertimiento de aguas residuales de origen doméstico, seguida por la Zona C donde las aguas residuales van mezcladas con el cauce del río y por último la Zona A que presentó los valores más bajos, debido a que en este punto no se encontró vías de vertimiento de aguas residuales así mismo dijo que no cumple con los ECA para ríos categoría.

#### f) Demanda bioquímica de oxígeno del río Macusani vs ECA categoría 4

Figura 12: Demanda bioquímica de oxígeno del río Macusani

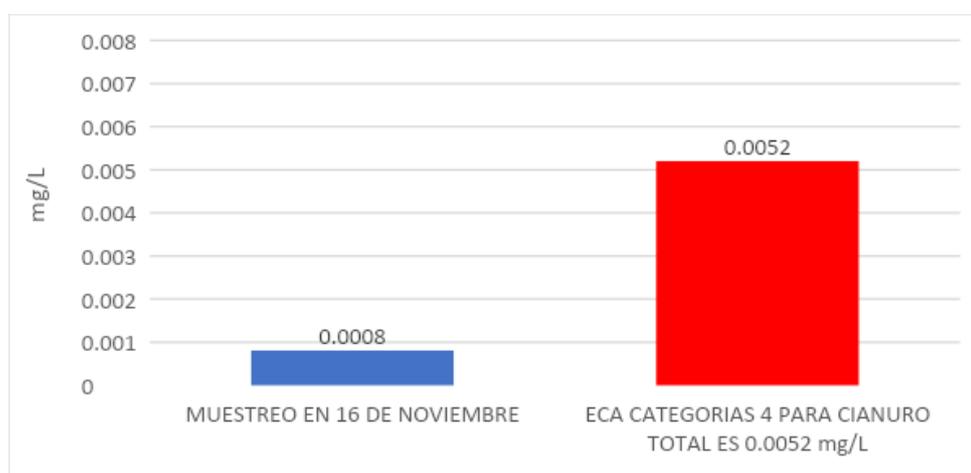


Los estándares de la calidad ambiental (ECA) para la  $DBO_5$  en ríos es de 10 mg/L. La  $DBO_5$  registrada en el mes de noviembre fue de 2.6 mg/L esto significa que cumple con el rango establecido por los ECA en la categoría 4, ríos. en cambio Rivas y Chuquilin, (2012), encontró valores de  $DBO_5$  en un rango de 7 a 50 mg/L, con un promedio de 39.50 mg/L en época de estiaje y de 12.33 mg/L en época de avenidas, lo que cataloga a ésta agua como contaminada al sobrepasar en el valor de  $DBO_5$  de 10 mg/L y de acuerdo a los resultados obtenidos de la presente investigación son diferentes a lo reportado por Rivas y Chuquilin, (2012) y Jimenez, (2014)

registró en el mes de septiembre en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales obtuvo una  $DBO_5$  de 80 mg/L, éste valor es mayor a lo reportado en la presente investigación y según Yana, (2014) los valores de  $DBO_5$  encontrados en el río Torococha el promedio mayor fue en el mes de abril con 81.55 mg/L, seguido por el mes de agosto con 53.01 mg/L y en el mes de enero fue de 25.06 mg/L además concluyó que en los meses de lluvia el nivel de  $DBO_5$  disminuye y en época seca la  $DBO_5$  se incrementa.

#### g) Cianuro total del río Macusani vs ECA categoría 4

Figura 13: Cianuro total del río Macusani



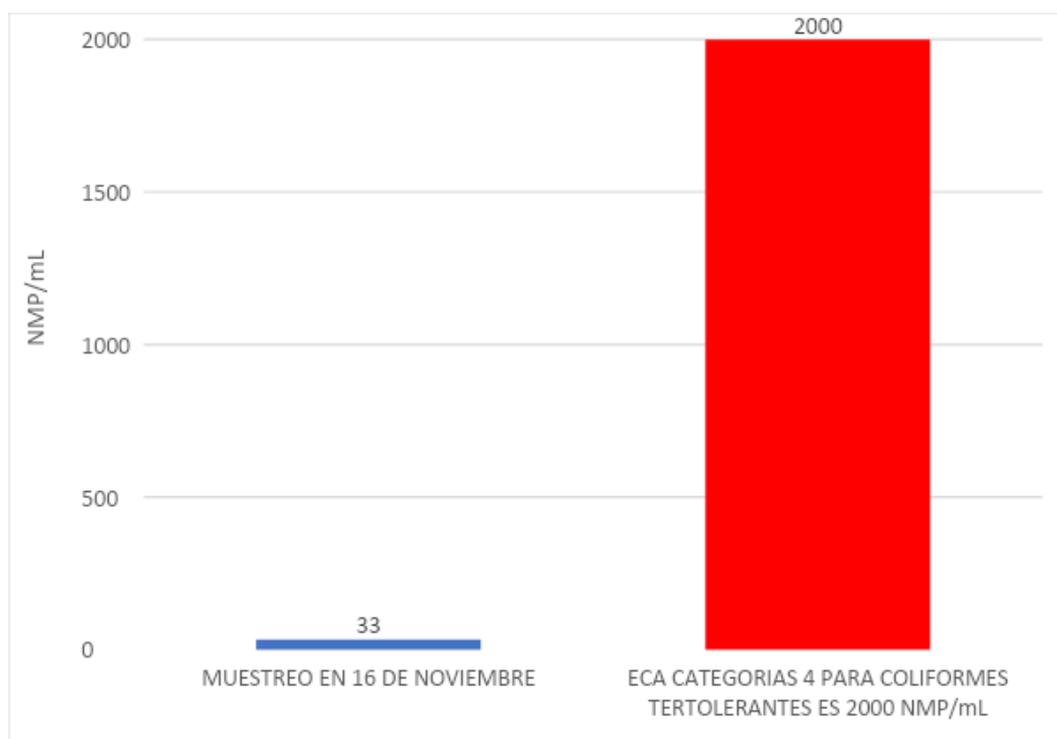
De acuerdo a los estándares de la calidad ambiental (ECA) para cianuro total en ríos es 0.0052 mg/L. El cianuro total (CN) registrado en noviembre fue 0.0008 mg/L esto significa que está dentro de lo establecido por los ECA en la categoría 4, ríos.

En el caso de la evaluación realizada por Mejia, (2016) indicó que el cianuro total, en todos los puntos de muestreo del río Zaña, Lambayeque, se encuentra en un nivel menor a 0.004 mg/L comparándolo con los ECA para agua, esta concentración es menor que los valores límite para Cianuro en las clasificaciones de uso 1: Población y recreación: aguas

superficiales destinadas a la producción de agua potable (Código A1) y aguas superficiales destinadas a recreación (código B1); asimismo el resultado es menor para el límite de ECA-agua según uso 4: conservación del ambiente acuático, para el caso de los ríos.

#### h) Coliformes termotolerantes (CT) del río Macusani vs ECA categoría 4

Figura 14: Coliformes termotolerantes del río Macusani



Los estándares de calidad ambiental (ECA) para coliformes termotolerantes (CT) en ríos es 2000 NMP/100 mL, los CT registrado en noviembre fue de 33 NMP/100 mL esto significa que cumple con lo establecido por el ECA en la categoría 4, ríos. Asimismo se observó que los ECA categoría ríos de las normativas ambientales de Ecuador y Chile es de 1000 NMP/100 mL, cumpliendo con la normativa de otros países.

Los resultados en los puntos de muestreo en diciembre para los CT fueron 3200 NMP/100mL, el valor más alto en el P3 y el más bajo de 0

NMP/100mL en el P1 según Pari, (2017) indicó que el efluente de aguas residuales de las lagunas de estabilización es una fuente de contaminación a la calidad de agua del río llave porque no es tratada adecuadamente. Los valores registrados por Pari no guardan relación con el presente trabajo.

#### 4.1.2 Evaluación de la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el vertimiento de las aguas residuales tratadas en el efluente cumplen con las normas ambientales de LMP

*Tabla 13: Resumen de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según los LMP-PTAR*

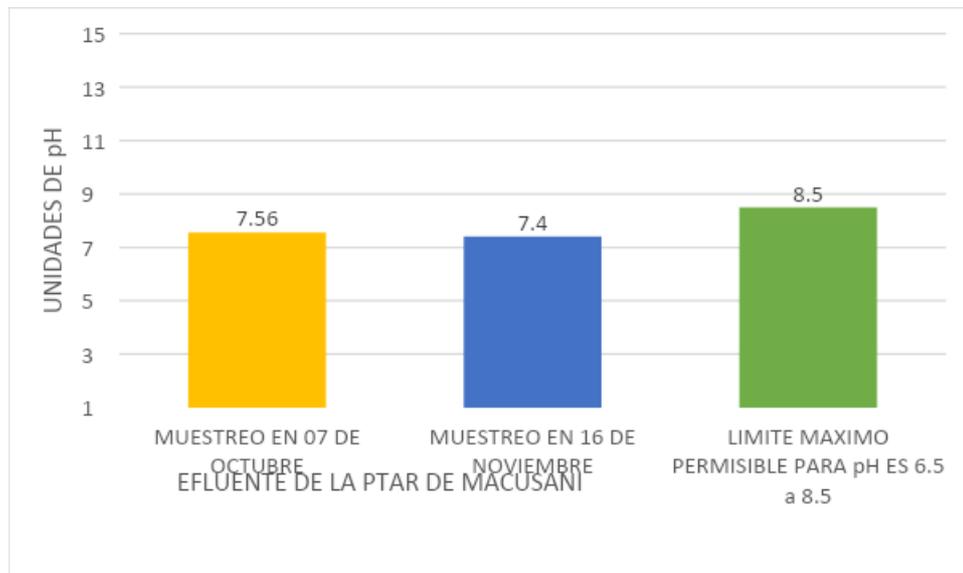
Parámetros	Unidad de medida	Resultado de muestreo	LMP (Decreto Supremo 003-2010-MINAM) PTAR	Cumplimiento
pH	Unidad de pH	7.4	Entre 6.5 – 8.5	<b>Si cumple</b>
Temperatura	(°C)	14.4	Menor a 35	<b>Si cumple</b>
Sólidos s. totales	(mg/L)	33	No debe superar a 150	<b>Si cumple</b>
DBO <sub>5</sub>	(mg/L)	37.6	No debe superar a 100	<b>Si cumple</b>
DQO	(mg/L)	209	No debe superar a 200	No cumple
Aceites y grasas	(mg/L)	0.32	No debe superar a 20	<b>Si cumple</b>
C. termotolerante	NMP/100mL	2300	No debe superar a 10000	<b>Si cumple</b>

Fuente: Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos según LMP

En la tabla 13 se presenta el resumen de los valores obtenidos de los parámetros analizados y muestreados en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Macusani la cual se ubica a 4 km. Aproximadamente de la ciudad de Macusani. Se observa también que los parámetros evaluados cumplen con los LMP para efluentes de PTAR normado por el decreto supremo N° 003-2010-MINAM excepto la DQO que tuvo un valor de 209 mg/L y el LMP permitido para descargas de aguas residuales a cuerpos de agua, ríos en la DQO es de 200 mg/L.

##### a) Potencial de hidrogeniones (pH)

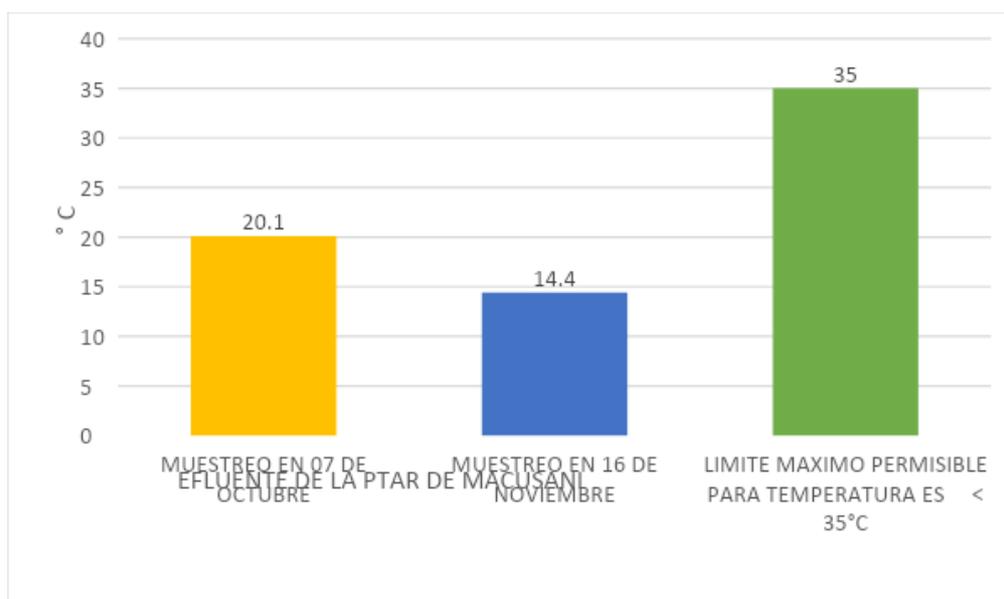
Figura 15: pH del efluente de la PTAR medido en octubre y noviembre



Los resultados para pH obtenidos en afluente fueron de 7.27 y efluente fue de 7.56 en la temporada de sequías según Metcalf y Eddy, (2004) para el caso de aguas residuales domésticas el rango de pH que permite la actividad normal microbiológica está en el rango de 6 a 9 unidades de pH esto significa que los pH registrados de la presente investigación están en el rango establecido por Metcalf y Eddy; referente a la investigación de Olea, (2013) en el pH registró una variaciones de 7 a 7.5 indicando que también; de acuerdo al decreto supremo N° 003-2010-MINAM límites máximos permisibles para efluente de PTAR el rango permitido para descarga de agua residual está dentro del rango de 6.5 a 8.5 esto significa que la PTAR Macusani en sus descargas es de 7.56 esto significa que está dentro del rango establecido por decreto también está dentro de lo establecido por WASTEWATER TREATMENT PLANTS, Syed R. Qasim, Second Edition CRC Press 1999 indicando que el pH en aguas residuales domésticas es de 6.5 a 7.5. para el caso de Paricahua, (2018) obtuvo en el afluente 7.42 y efluente de 7.43 valores que están dentro de los límites permisibles.

## b) Temperatura

Figura 16: Temperatura del efluente de la PTAR medido en octubre y noviembre

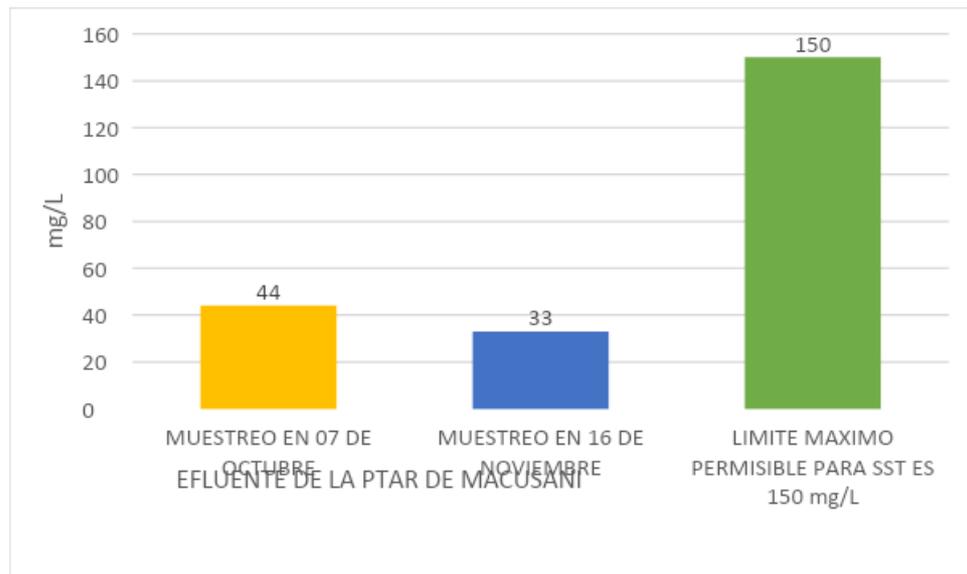


Los resultados para la temperatura del afluente fueron de 20.3 y efluente fue de 20.1 en la temporada de sequías según Rodier, (1981) la temperatura del agua residual varía de estación en estación en climas cálidos la variación es de 13 a 30°C, esto significa que debido a la altitud en la que se encuentra la PTAR de Macusani a una altitud de 4268 msnm. está dentro de lo establecido por Rodier. Para la investigación realizada por Satalaya, (2015) en el mes de noviembre obtuvo una temperatura de 30°C en temporada de sequías valor que es muy alto al de la presente investigación.

Según el decreto supremo Nro. 003-2010-MINAM la temperatura para el efluente de agua residual debe ser menor a 35°C y en la figura 09. la temperatura registrada en la PTAR de Macusani es de 20.1°C esto significa que el efluente de la PTAR de Macusani cumple con LMP. Correa, (2008) obtuvo una temperatura de 26.7°C valor que está por encima de lo registrado por la presente investigación que es 20.1°C.

### c) Sólidos suspendidos totales (SST)

Figura 17: SST del efluente de la PTAR medido en octubre y noviembre

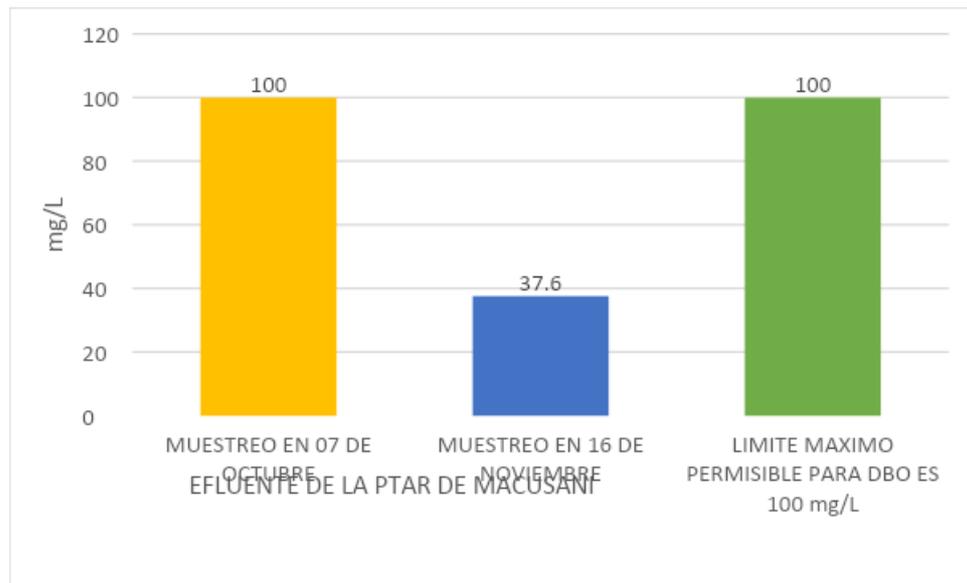


En la figura 17 se observan los resultados de las 2 muestras de aguas residuales de los sólidos suspendidos totales (SST) de octubre fue de 44 mg/L y de noviembre fue de 33 mg/L, primeramente los análisis de SST mencionados anteriormente se encuentran dentro del rango del Límite Máximo Permisible (LMP), establecidos en el decreto supremo N° 003-2010-MINAM, de acuerdo a estos valores se interpreta que el agua residual tratada de la PTAR de Macusani está apta para ser vertida al río Macusani sin alterar su composición.

Cabe indicar que el parámetro de los sólidos suspendidos totales según Parichua, (2018) en su investigación realizado en la PTAR de Ayaviri en los SST encontró un valor del afluente en 218.14 mg/L y en el efluente fue de 132.43 mg/L, siendo el LMP de 150 mg/L cumpliendo los SST, el resultado de Parichua es similar a la presente investigación ya que ambos estudios tanto en la eficiencia y cumplimiento de los límites máximos permisibles para las plantas de tratamientos de aguas residuales de las ciudades de Ayaviri y Macusani.

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

*Figura 18: DBO<sub>5</sub> del efluente de la PTAR medido en octubre y noviembre*



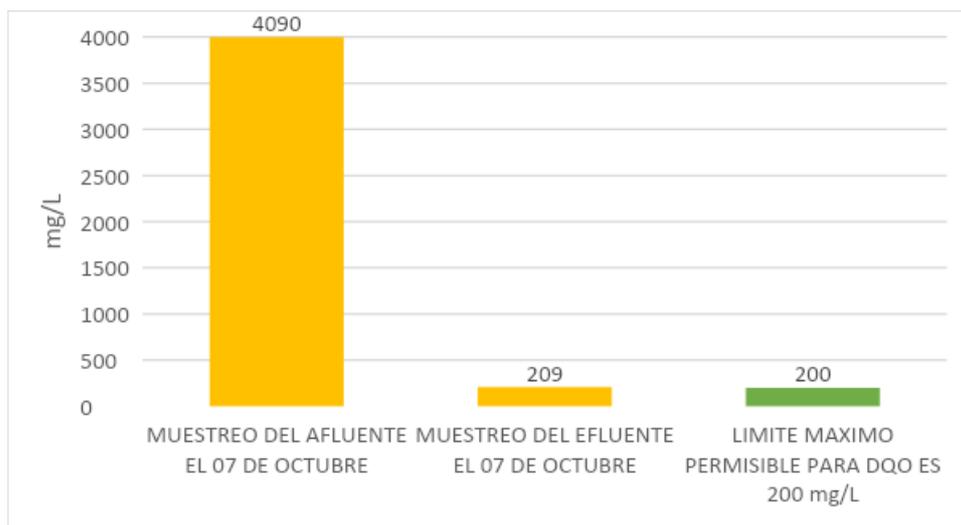
La demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) del efluente de la PTAR de Macusani en los meses de octubre y noviembre fue de 100 mg/L y 37.6 mg/L, estos valores se encuentra en el rango requerido por los LMP normados en el D. S. N° 003-2010-MINAM que es 100 mg/L y por lo tanto cumplen en el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Macusani. según Rivera et al.,(1995) menciona que el estado del agua residual para efluentes de PTAR entre el rango de 20 a 100 mg/L el agua está levemente contaminada comparando con el efluente muestreado en los meses de octubre y noviembre es 100 mg/L y 37.6 mg/L esto significa que la descarga del efluente de la PTAR de Macusani son leves en contaminación.

Paricahua, (2018) obtuvo en el efluente de la PTAR de Ayaviri en la  $DBO_5$  fue de 67.58 mg/L este valor registrado guarda relación con el valor registrado del presente estudio que es 37.6 mg/L pero no guarda relación con la investigación de Satalaya, (2015) donde la PTAR de la ciudad de Uchiza encontró en el efluente un 94.66 mg/L y 199.6 mg/L, con promedio de 118.59 mg/L, concluye que no cumple con el D. S. N° 003-2010-MINAM y se tendría que mejorar el

tratamiento de esta agua ya que el  $\text{DBO}_5$  es el parámetro que mejor indica la contaminación de las aguas residuales.

#### e) Demanda química de oxígeno

Figura 19: DQO del afluente y efluente de la PTAR de Macusani



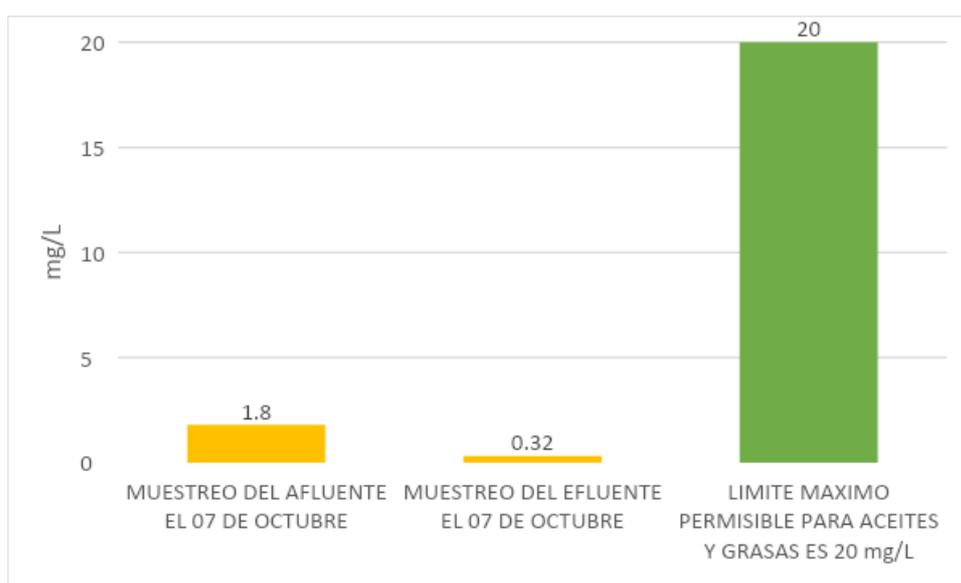
Los resultados de la demanda química de oxígeno (DQO) obtenidos en la presente investigación para el mes de octubre fue de 4090 mg/L para el afluente o agua residual doméstica cruda Gil, (2005) menciona que en aguas residuales crudas es normal que haya una concentración de más de 1000 mg/L y en las aguas residuales doméstica o efluente fue de 209 mg/L lo que significa que superó a los límites máximos permisibles que es 200 mg/L y de acuerdo a Gil argumenta que las aguas residuales tratadas o efluentes no deberían superar los 100 mg/L esto significa que no está en rango establecido por Gil.

Paricahua, (2018) en la DQO de agua residual cruda o afluente obtuvo un valor de 420.43 mg/L y en aguas residuales tratadas o efluente fue de 184.57 mg/L siendo el LMP de 200 mg/L cuyo parámetro si cumple esto ocurrió en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ayaviri en el estudio ejecutado por Paricahua no guarda relación con la presente investigación ya que

se registró un valor de 209 mg/L de aguas tratadas o efluente de la PTAR de la ciudad de Macusani. Además, no guarda relación en lo concerniente a la PTAR evaluada por Satalaya, (2015) en el efluente fue de 190.86 mg/L, este valor se encuentra ligeramente cercano al rango requerido por el D.S. N° 003-2010 DQO de 200 mg/L.

#### f) Aceites y grasas

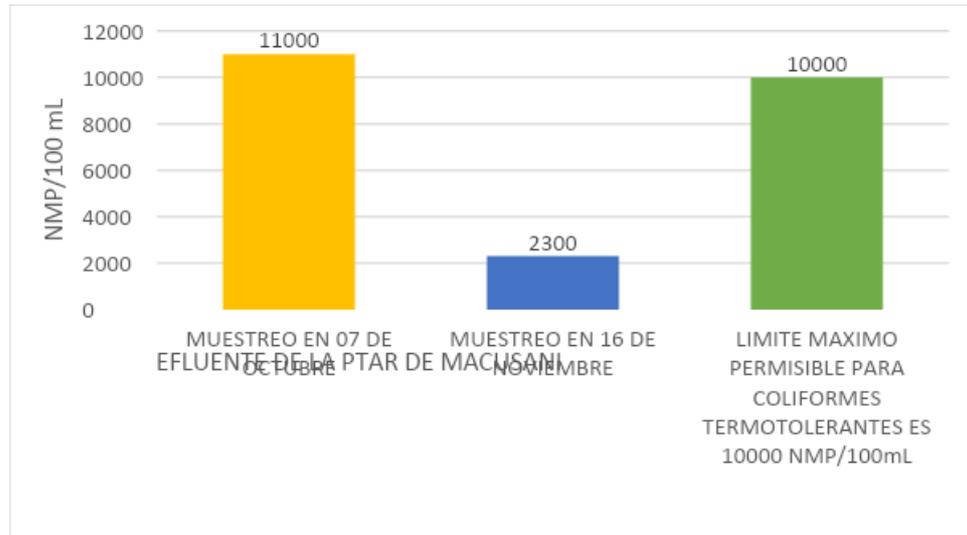
*Figura 20: Aceites y grasas del efluente de la PTAR*



Los aceites y grasas en el afluente tuvieron un valor de 1.8 mg/L y en el efluente fue de 0.32 mg/L esto significa que si cumple con la normativa vigente del D. S. N° 003-2010-MINAM efluente para PTAR que es 20 mg/L. Esto guarda relación con el estudio realizado por Callata, (2014) que encontró un valor de 0.012 mg/L.

#### g) Coliformes termotolerantes

*Figura 21: Coliforme termotolerante del efluente de la PTAR medido en octubre y noviembre*



En la figura 21 en forma de barras podemos observar los resultados de los coliformes termotolerantes en el efluente muestreado en octubre fue de 11000 NMP/100 mL esto significa que no cumple con los LMP para efluentes de PTAR de 10000 NMP/100 mL; y para el mes de noviembre dio un valor de 2300 NMP/100 mL esto significa que si cumple con los LMP para el efluente muestreado en el mes de noviembre. Paricahua, (2018) en el afluente o agua residual cruda registró una concentración de  $1.08 \times 10^7$  NMP/100 mL y un efluente de agua residual trata de 150000 NMP/100 mL siendo el LMP de 10000 NMP/100 mL esto significa que no cumple guardando relación con la presente investigación.

Por otro lado, los resultados obtenidos fueron muy variables, especialmente los registrados en el segundo muestreo del mes de noviembre, esto probablemente se pueda deber a las condiciones de presencia de lluvias que al aumentar el caudal del efluente de la PTAR de la ciudad de Macusani aumenta la actividad biológica en degradar la materia orgánica puesto que hubo mayor oxígeno.

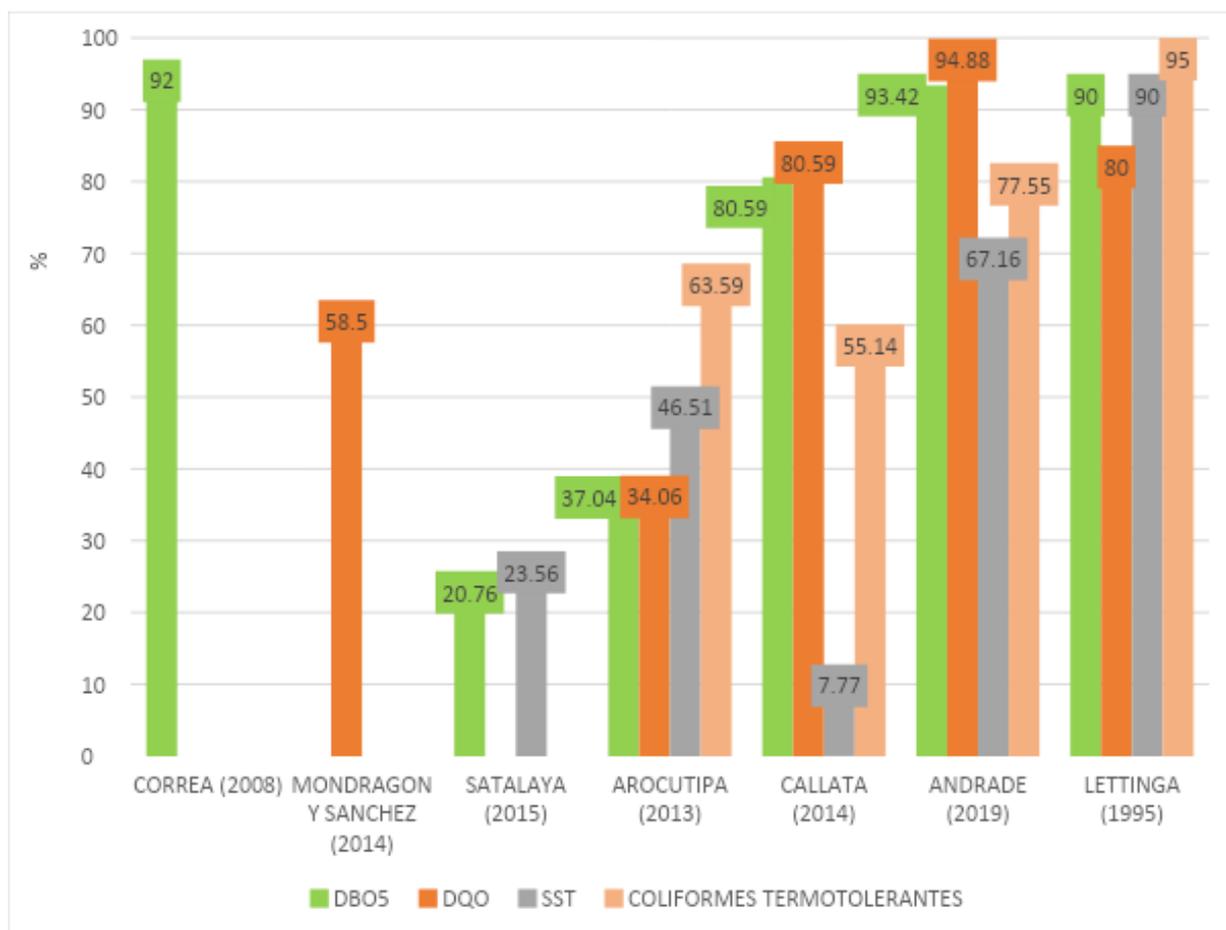
*Tabla 14: Eficiencia de remoción de carga contaminante de la planta de tratamiento de aguas residuales de Macusani*

Parámetro	Afluente de carga contaminante	Efluente de carga contaminante	Eficiencia de remoción (%)	Rangos de remoción esperada según Lettinga, 1995	Eficiencia de remoción final
DBO <sub>5</sub>	1520 mg/L	100 mg/L	93.42 %	50 – 90 %	Si cumple
DQO	4090 mg/L	209 mg/L	94.88 %	70 – 80 %	Si cumple
SST	134 mg/L	44 mg/L	67.16 %	90 %	No cumple
C. termotol.	1000 NMP/100mL	2300 NMP/100m	77.55 %	90 – 95 %	No cumple

Fuente: Resultados y comparación de la eficiencia de la PTAR.

Interpretación: de acuerdo a los resultados de la tabla 14 en la DBO<sub>5</sub> de la PTAR de Macusani tuvo una eficiencia de remoción de carga contaminante de 93.42 %, lo cual a lo indicado por la remoción esperada debe estar en rangos de 50 y 90 %, lo que significa que se encuentra dentro del rango establecido por Lettinga. La eficiencia de remoción en la DQO es de 94.88 % y comparando a lo indicado por Lettinga que es de 70 a 80 % se encuentra dentro del rango establecido. Estos resultados tanto en DBO<sub>5</sub> y DQO denotan claramente la eficiencia de la PTAR de Macusani que está funcionando correctamente en mi opinión los microorganismos encargados de la remoción de la materia orgánica están trabajando y para los sólidos suspendidos totales SST y coliformes termotolerantes fueron 67.16 % y 77.55 % lo que significa que no están en el rango de eficiencia esperada según Lettinga que debe ser mayor a 90 % por lo tanto no cumple con la eficiencia de remoción de carga orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la ciudad de Macusani.

*Figura 22: Comparación de eficiencias de remoción de carga contaminante en (%) de la DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y coliformes termotolerantes de diferentes investigaciones realizadas en PTAR de diferentes lugares.*



En la figura 22 se observa que Arocutipa, Callata, Satalaya, Mondragón y Sanchez en las PTARs evaluadas por los autores demuestran un deficiente funcionamiento en la remoción de carga orgánica contaminante en los parámetros  $DBO_5$ , DQO, SST y coliformes termotolerantes. Los resultados registrados por Correa y Andrade guardan relación solo en  $DBO_5$  y DQO con lo establecido por Lettinga, (1995).

## CONCLUSIONES

PRIMERA: La evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macusani, cumple con la normativa de los Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR y los Estándares de Calidad Ambiental en la categoría IV conservación de medios acuáticos, por lo tanto la eficiencia de remoción de carga contaminante de la PTAR Macusani no es de gravedad.

SEGUNDA: Los parámetros evaluados en el río Macusani como el pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DBO<sub>5</sub>, cianuro total, temperatura y coliformes termotolerantes cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental conservación de medios acuáticos en la categoría IV, ríos, esto significa que la calidad física del río Macusani no está siendo afectada por el efluente de la PTAR del distrito de Macusani.

TERCERA: Los análisis físico químicos y microbiológicos muestreados en el efluente de la PTAR de Macusani como el pH, temperatura, DBO<sub>5</sub>, DQO, coliformes termotolerantes SST, aceites y grasas cumplen con los LMP para efluentes de PTAR en temporada de sequía y la eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub> fue de 93.42 %, DQO es de 94.88 %, SST es de 67.16 % esto significa que la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macusani tiene niveles normales en cuanto a la operatividad excepto en los coliformes termotolerantes tuvo una remoción de carga orgánica de 77.55 %.

## **RECOMENDACIONES**

PRIMERA: Al gobierno regional de Puno y a la dirección regional de vivienda y saneamiento construir y diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales más eficiente para la ciudad de Macusani.

SEGUNDA: Al personal de operadores de la PTAR (UGASS de Macusani) realizar muestreos mensuales, con el fin de verificar el contenido de materia orgánica DBO<sub>5</sub>, DQO, coliformes termotolerantes, pH, nitratos, fosfatos, sulfitos, etc. y dar el mantenimiento respectivo a la PTAR de Macusani.

TERCERA: Al área técnica de la municipalidad provincial de Macusani (ATM) velar por la salud ambiental del distrito de Macusani mediante el cumplimiento de la normatividad ambiental como son los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) categoría 4, conservación de medios acuáticos, ríos, lagos, etc. y Límites Máximos Permisibles (LMP). para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

## BIBLIOGRAFÍA

ANA (2010). Reglamento de la ley de recursos hídricos – Artículo 111°.

ANA (2012). Informe técnico N° 031 - 2012 - ANA-AAA.SDGCRH.TIT. Puno: autoridad Nacional del agua.

Álvaro Alberto, M., Ing. Nicolás de Jesús Guzmán S., Metcalf y Eddy, (1998). Ingeniería de aguas residuales. Vol. 1 Tratamiento Vertido y Reutilización, McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.

Arocha Ravelo, S. (1985). Abastecimientos de Agua. Teoría y diseño. Lima. Arocha, S. (2015). Abastecimiento de Agua (Vol. 2).

Arocutipá, J. (2013). Evaluación y propuesta técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales de Massiapo del distrito de el Alto Inambari - Sandia. (Tesis de pregrado). (Escuela profesional de ingeniería agrícola, Ed.). Puno: Universidad Nacional del Altiplano. disponible en <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4516>

Ayala, R. M., y González Márquez, G. (2008). Apoyo Didáctico en la Enseñanza – Aprendizaje de la Asignatura de Plantas de Tratamiento de aguas Residuales. Cochabamba. Universidad Mayor de San Simón. Bolivia.

Benavides, L. P. (2006). Evaluación de la Planta de Tratamiento de aguas Residuales de la Central de Sacrificio de Turreques, Nariño. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Bernal, C. (2006). Metodología de la Investigación - Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales. D.F. México: Pearson Prentice Hall.

- Cavero, J. J. (2018). Gestión para la evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en la costa Peruana, 2017. Escuela de posgrado de la universidad César Vallejo, Lima, Perú. Disponible en página web: [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/13980/Cavero\\_TJJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/13980/Cavero_TJJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Callata, J. (2014). Evaluación y propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani – Carabaya – Puno – 2013. (Tesis de pregrado). (E. P. de I. agrícola, Ed.). Puno: Universidad Nacional del Altiplano. disponible en pagina web: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4532>
- Conesa (2011). Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Vítora 4ta edición.
- Correa, (2008). Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del Municipio de Antioquia, Universidad de Bogotá, Colombia.
- Dueñas Corrales, R. P. (2015). Evaluación y Propuesta de Mejoramiento de La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el Centro Poblado De Quiquijana, Distrito de Quiquijana, Provincia de Quispicanchis, Región Cusco. UNSAAC. Perú.
- Editorial Emma, Santafé de Bogotá Colombia, (2000) Crites Tchobanoglous. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.
- EPA.(1986). Quality criteria for water. [Acceso: 11/02/2020]. Disponible en pagina web: [/http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/aqlife/upload/2009\\_01\\_13\\_criteria\\_goldbook.pdf](http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/aqlife/upload/2009_01_13_criteria_goldbook.pdf)
- Espinoza, E. (2010). Planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Miraflores, Tesis de posgrado, Universidad de Piura, Perú. Disponible en página web: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1478/MAS\\_GAA\\_010.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1478/MAS_GAA_010.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Espinoza, G. (2014). Instalación y mejoramiento del sistema de agua potable y saneamiento en el pueblo de Camicachi y en el Centro Poblado de Suyo de la Zona Lago del Distrito de Ilave de la Provincia de el Collao – Puno.
- Espinoza, G. (2014). Mejoramiento de los servicios de agua potable, alcantarillado e instalación de una planta de tratamiento de agua residuales Distrito de Acora – Puno – Puno.
- Galvez, C. (2013). eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual de San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez, Guatemala, tesis de la universidad de Guatemala, disponible página web: <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2013/06/15/Galvez-Carlos.pdf>
- Gil, M. (2005). Proceso de descontaminación de aguas. Cálculos avanzados informatizados. España: International Thomson Editores Spain Paraninfo, S.A. 560.
- Hayes, (1993). Microbiología e higiene de los alimentos. ACRIBIA, Zaragoza España.
- Jilaja Carita, R. (2010). Tratamiento de aguas residuales por Filtración Biológica en dos Barrios del distrito de Asillo.
- Romero Rojas, J.A (1994). Lagunas de estabilización de aguas residuales.
- Jiménez, A. (2014). Calidad del agua de las lagunas de oxidación de Covicorti, Trujillo - La Libertad. (Tesis de pregrado). (Facultad de ciencias biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo). disponible en pagina web: [file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Jimenez%20Chunga%20Andrea%20Alexandra\\_unlocked.pdf](file:///C:/Users/INTEL/Downloads/Jimenez%20Chunga%20Andrea%20Alexandra_unlocked.pdf)
- López, R., Herrera, K. (2015). Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para reúso en riego de Parques y Jardines en el Distrito de la Esperanza.
- Lettinga, G. (1995). *Tratamiento de aguas residuales sin tratar en condiciones tropicales. Tecnología de reactores anaeróbicos*. Presentado en “Curso - Taller Internacional

sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales". Colombia: Universidad del Valle, Sant.

Madera, C., Silva, J., y Peña, M. (2011). Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanques sépticos, filtro anaerobio y humedales subsuperficiales. Revista competitividad e ingeniería. 71 pag.

Marsillini, A. (2003). Tratamiento de aguas residuales. Disponible en pagina web: <http://www.tierramor.org/articulos/tratagua.htm>

Martínez, G., y Guzmán, S. (2003). Estudio y evaluación de las lagunas de estabilización como tratamiento de las aguas residuales domésticas en la Base militar No. 10 de Jutiapa, Colonia militar de Jutiapa, Base aérea del sur en Retalhuleu y Escuela politécnica en San Juan Sacatepéquez. Guatemala. disponible en pagina web: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0097\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0097_MT.pdf)

Metcalf y Eddy, (1998). Ingeniería de aguas residuales. Vol. 2. Tratamiento Vertido y Reutilización, McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.

Metcalf y Eddy, (1998). Ingeniería de aguas residuales. Redes de Alcantarillado y Bombeo. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.

Mejia O, (2016) Contaminación de agua por metales producto de la actividad minera metálica en el río Zaña, Chiclayo, Lambayeque – Junio 2014- Abril 2015. tesis de pregrado otorgado por la Universidad de Lambayaque, Chiclayo, Perú. Disponible en página web: [https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/76/1/T107\\_47399360T.pdf](https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/76/1/T107_47399360T.pdf)

Méndez M., M. Ricardo C., J. Pérez., G. Hernández y O. Campos, (2006). Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana. Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez. Cuba. Rev. Ciencias Técnicas Agropecuarias. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/932/93215304.pdf>

- M. Saracho, M. Flores, C. Rodríguez, (2013). Lagunas de Estabilización Ciudad de Andalgalá. Disponible en página web: [https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/20\\_12/2012-t001-a020.pdf](https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/20_12/2012-t001-a020.pdf)
- Mondragón, G., Sánchez, Cynthia. (2014). Análisis de la operatividad del sistema de tratamiento de aguas residuales Trujillo-Perú.
- MINAM. (2010). Decreto supremo Nro. 003 - 2010 - MINAM. límites de máximos permisibles para efluentes de PTAR. Lima, Perú.
- MINAM. (2017). Decreto supremo Nro. 004 - 2017 - MINAM. estándares de calidad ambiental. Lima, Perú.
- NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN OS.090 (2015). PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Disponible en página web: [http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/CenDocBib/con4\\_uibd.nsf/\\$\\$ViewTemplate%20for%20Documentos?OpenForm&Db=1F31C6872B6FC0B205257DC7005E49B5&View=yyy](http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/CenDocBib/con4_uibd.nsf/$$ViewTemplate%20for%20Documentos?OpenForm&Db=1F31C6872B6FC0B205257DC7005E49B5&View=yyy)
- Olea Madruga, R. C. (2013). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Coatepec, Universidad Veracruzana. Veracruz. México.
- Panca Peralta, O.D. (2016). Evaluación de la operatividad y alternativa de solución de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Putina. UNA-Puno. Perú.
- Pari, J. (2017). Determinación de la calidad del río llave, zona urbana del distrito de llave. (Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental), Universidad Privada San Carlos de Puno, Puno, Peru. disponible en: <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/4379>
- Paricahua Huanca, E.R. (2018). Evaluación de la Operatividad de la Planta de Tratamiento de aguas Residuales del Distrito de Ayaviri, Provincia de Melgar - Puno.

- Rabanales Bravo, K. D. (2015). Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales. Escuela Urbana Mixta República Federal de Centro América de San Lucas Sacatepéquez. Disponible en página web: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2326/>
- Resolución Jefatura N° 202-2010-ANA - Minagri (2010). Disponible en página web: <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/modifica-la-rj-ndeg-202-2010-ana-en-el-extremo-relacionado-la-clasificacion-del-cuerpo>
- Rivas, V. & Chuquilin, E. (2012). Evaluación de los niveles de contaminación de aguas residuales en la quebrada Funas-I, con fines de tratamiento con humedales. Rev. Investigación y Amazonía. 85-94 p.
- Rivera, F., A., W., Ramírez, E., Decamp, O., y Bonilla, P. (1995). Remoción de patógenos de aguas residuales por la zona radicular (RZM). Ciencia y tecnología del agua. Ciencia y tecnología del agua. 32:211-218 pág.
- Rodier, J. (1981). Análisis de las aguas: aguas residuales, agua de mar y aguas naturales, Barcelona, España: ediciones omegas, S.A. página 21.
- Rolim, M. (2000). Sistema de lagunas de estabilización. Editorial Mac Graw Hill, Santa Fe de Bogotá, página 31.
- Romero Rojas, J. A. (1998). Lagunas de Estabilización de aguas residuales. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero Rojas, J. A. (2002). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y Principios de Diseño. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ruiz, I. (2011). Tratamiento de Aguas residuales, Granada - España.

Satalaya Vicente, K. (2015). Eficiencia para el tratamiento de aguas residuales municipales o domésticas de las lagunas de estabilización de Uchiza. (Tesis para obtener el título de Ingeniero en recursos naturales renovables). Universidad Nacional de la Selva Tingo María.

Silva Burga, J. A. (2004). Evaluación y Rediseño del Sistema de Lagunas De Estabilización de La Universidad de Piura. PIURA.

Stewart Oakley, S.M. (2005). Lagunas de Estabilización en honduras, Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad. Consultor de Ingeniería Sanitaria, Profesor/Investigador de Ingeniería Ambiental Universidad Estatal de California.

Stewart Oakley, S.M. (2011). Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas En Centroamérica. USAID-CCAD.

Stewart Oakley, S.M. (2015). Curso Intensivo Tratamiento de Aguas Residuales. Cusco, Cusco: CONASIN S.R.L. Especialistas Ambientales.

SUNASS. (2015). COMPENDIO DE NORMAS.

Véliz, E., J. Llanes., L. Fernández y M. Bataller, (2010). Evaluación de la eficiencia de los procesos de coagulación-floculación y ozonización a escala de laboratorio en el tratamiento de aguas residuales municipales. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. La Habana, Cuba. Disponible en pagina web: <http://www.redalyc.org/src/inic.io/ArtPdfRed.jsp?iCve=181618068006>

Terence J. McGhee (1999). Abastecimiento de agua y alcantarillado Ingeniería Ambiental.

011-2012-Vivienda, D. (2012). Reglamento Nacional De Edificaciones. Lima.

Torres A.J. (2008). Análisis de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del río Motagua en diez puntos de muestreo ubicados en su cauce principal. Tesis para optar el título de licenciado en Ciencias Químicas y Farmacia. San Carlos-Guatemala. 27p.

Yana N.E. (2014). Contaminación por materia orgánica en el río Torococha de la ciudad de Juliaca, Puno Peru. Disponible en pagina web: [http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2402/Yana\\_Neira\\_Evelin\\_Amparo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2402/Yana_Neira_Evelin_Amparo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## **ANEXOS**

Anexo 01: Matriz de consistencia.

TÍTULO DE LA TESIS: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE MACUSANI, REGIÓN PUNO - 2020.

AUTOR: REYNA ANDRADE YUCRA

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿Cuál es la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macusani, Región Puno - 2020?.</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macusani, Región Puno - 2020.</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>La eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macusani, Región Puno - 2020, cumple con las normas ambientales.</p>	<p>Calidad de agua del río Macusani usando los ECA para agua categoría IV DS 004-2017-MINAM</p>	<p>Parámetros físicos y microbiológicos: pH, CE, OD y T° del río Macusani.</p>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <p>¿Los parámetros de calidad de agua del río Macusani se encuentran dentro de los parámetros de los ECA, conservación de medios acuáticos?</p> <p>¿Cómo será la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos, y microbiológicos y el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Macusani cumplirá con los LMP?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Evaluar los parámetros físicos de calidad de agua del río Macusani con las normas establecidas de ECA, conservación de medios acuáticos.</p> <p>Determinar la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el vertimiento de las aguas residuales tratadas en el efluente de la PTAR del distrito de Macusani y el cumplimiento de los LMP.</p>	<p><b>Hipótesis Específica</b></p> <p>Los parámetros físicos de calidad de agua del río Macusani cumplen con las normas establecidas de ECA, conservación de medios acuáticos.</p> <p>Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el vertimiento de aguas residuales tratadas en el efluente cumplen con los LMP.</p>	<p><b>Dependiente.</b></p> <p>PTAR del distrito de Macusani usando los LMP para efluentes de PTAR según el DS N° 003-2010-MINAM</p>	<p>Parámetros físico, químicos y microbiológico establecido por el DS N° 003-2010-MINAM</p>

Anexo 02: Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

PARÁMETROS	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5 - 8.5
Sólidos totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	Menor a 35

Fuente: D. S. N° 003-2010-MINAM

Anexo 03: Estándares de calidad ambiental categoría 4.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático						
Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Bifenilos Policlorados</b>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b>Organofosforados</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b>Organoclorados</b>						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Diendrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,000019	0,000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrín	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Carbamato</b>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000
(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural). (b) Después de la filtración simple. (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.						

Fuente: D.S. N° 004-2017-MINAM



Anexo 05: Resultados de muestreo de parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente de la PTAR de Macusani, evaluados por el laboratorio analítico del Sur, certificado por INACAL



**Laboratorio Analítico del Sur**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL  
INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



INACAL  
DA - Perú  
Instituto de  
Acreditación  
238  
Registro N° LE-050

---

**INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01753**

Hoja de resultados

14/10/2017

Pág.: 2/3

Cod. Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	pH		SST mg/L	Aceites y Grasas mg/L	SOD-5 mg/L	SOD mg/500L
		Temp. de Lect. C					
AG17001200	PTAR - ENTRADA	7.27	20.8	134	1.8	1520	4000
AG17001201	PTAR - SALIDA	7.56	20.1	44	4±0.32	100	200



Laboratorio Analítico del Sur E.I.R.L.  
Calle Acuña Nº 2010  
Gerente de Operaciones  
M. Sc. Inge. Carlos CIP 11420

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.  
 \*\*Valor numérico\*\* = Límite de detección del método, \*Valor Numérico\* = Límite de cuantificación del método.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier omisión o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
 Teléfono: (051) 8432024 Fax: (051) 8444870 Email: laboratorio@inacalincelsur.com

Anexo 06: Resultados de muestreo de parámetros microbiológicos del afluente y efluente de la PTAR de Macusani, evaluados por el laboratorio analítico del Sur, certificado por INACAL.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL  
INACAL CON REGISTRO N° LE-050**

Laboratorios Analíticos del Sur



INACAL  
D.L. Perú 237  
Registo LE-050

---

**INFORME DE ENSAYO LAS-AC-17-01753**

Hoja de resultados

14/10/2017

Pág.: 3/3

Cod. Interno L.R.S.	Nombre de muestra	RZ Cálculo Final NSP/100 ml
AG17001200	PTAR - ENTRADA	48x10 <sup>6</sup>
AG17001201	PTAR - SALIDA	11x10 <sup>6</sup>



Ing. Andrés Marcelo Sagor Huarcón  
CIP 10280

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.  
 (\*\*) Valor numérico = Límite de detección del método, (\*\*\*) Valor Numérico = Límite de cuantificación del método.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de cal de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.  
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier errata o corrección i contenido del presente documento lo anula.

---

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú

Anexo 07: Resultados de parámetros físicos del efluente de la PTAR y Río de Macusani evaluados por el laboratorio SGS del Perú S.A.C, certificado por INACAL, con fecha 17 de noviembre del 2019.



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

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL  
MA1929328 Rev. 2**



---

**REYNA ANDRADE YUCRA**  
 AV CIRCUNVALACION SUR N° 509 - PUNO  
 ENV / LB-346419-003  
 PROCEDENCIA : MACUSANI - PUNO

---

Fecha de Recepción SGS : 17-11-2019  
 Fecha de Ejecución : Del 17-11-2019 al 25-11-2019  
 Muestreo Realizado Por : CLIENTE  
 Observación : PTAR-01-MAC  
                   PH:7.80  
                   T: 14.4  
                   CE: 545  
                   OD: 284  
  
                   RIO-01-MAC  
                   PH:8.26  
                   T: 17.5  
                   CE: 154  
                   OD: 80

Estación de Muestreo
PTAR-01-MAC
RIO-01-MAC

Emitido por SGS del Perú S.A.C.  
 Impreso el 25/11/2019



**Libert M. Galcales Coronza**  
 C.I.P. 188253  
 Jefe de Laboratorio - Sede Arequipa



**Ada E. Paredes Escobar**  
 C.B.P. 6789  
 Coordinador de Laboratorio - Sede Arequipa

**SGS del Perú S.A.C.** Av. Daniel Fucini 3048 Calle 1 Calle 1 0511 517 1008 [www.sgs.com](http://www.sgs.com)  
 Ernesto Sanchez 270 Zona Industrial Arequipa 1 0541 213 808 [Peru@sgs.com](mailto:Peru@sgs.com)  
 J. Anselmo Márquez Bv. San Antonio Cajamarca 1 0730 260 802 [Cajamarca@sgs.com](mailto:Cajamarca@sgs.com)  
 Miembro del Grupo SGS

Anexo 08: Resultados de parámetros químicos y microbiológicos del afluente y efluente de la PTAR de Macusani evaluados por el laboratorio SGS del Perú S.A.C, certificado por INACAL, con fecha 17 de noviembre del 2019.



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



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL  
MA1929328 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA		PTAR-01-MAC 8447758N / 343506E 16/11/2019 12:50:00 AGUA RESIDUAL MUNICIPAL	RIO-01-MAC 8447703N / 343542E 16/11/2019 13:20:00 AGUA NATURAL AGUA SUPERFICIAL AGUA DE RIO			
FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	CATEGORÍA	SUB CATEGORÍA			
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
<b>Análisis Físicoquímicos</b>						
Turbidez	EW_APHA2130B_AQ	NTU	0.1	0.2	38.0	4.5
Dureza Total	EW_APHA2340C_AQ	mgCaCO3/L	0.5	1.1	67.9	55.4
Sólidos Totales Disueltos	EW_APHA2540C_AQ	mg Sólidos Totales Disueltos/L	1	3	243	97
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D_AQ	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	33	<3
Oxígeno disuelto	EW_APHA45000C_AQ	mg DO/L	0.3	1.0	1.1 *	6.2 *
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B_AQ	mg/L	1.0	2.6	37.6	<2.6
Cianuro total	EW_ASTMD7511	mg/L	0.0003	0.0008	0.0045	<0.0008
<b>Aniones</b>						
Cloruro	EW_EPA300_0_AQ	mg/L	0.029	0.093	32.722	0.650
Sulfato	EW_EPA300_0_AQ	mg/L	0.010	0.031	15.081	11.070
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración Coliformes totales	EW_APHA9221B_AQ	NMP/100 mL	--	--	3300	49
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA9221E_NMP_AQ	NMP/100 mL	--	--	2300	33

**Notas:**  
El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.  
Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.  
(\* ) El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL - DA , para la matriz en mención.

Página 2 de 4

Anexo 09: Resultados de parámetros de control de calidad de parámetros químicos evaluados por el laboratorio SGS del Perú S.A.C, certificado por INACAL, con fecha 17 de noviembre del 2019.



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



INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

Registro N°LE - 002

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL  
MA1929328 Rev. 0**

**CONTROL DE CALIDAD**

**LC:** Límite de cuantificación  
**MB:** Blanco del proceso.  
**LCS % Recovery:** Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.  
**MS % Recovery:** Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada  
**MSD %RPD:** Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.  
**Dup %RPD:** Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP % RPD	LCS % Recovery	MS % Recovery	MSD % RPD
Turbidez	NTU	0.2		1 - 4%	95 - 99%		
Cloruro	mg/L	0.093	<0.093		100 - 101%	101%	0%
Sulfato	mg/L	0.031	<0.031		100%	100 - 101%	0%
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.6	<2.6	3%	95 - 95%		
Dureza Total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	1.1	<1.1	0%	104 - 107%		
Oxígeno disuelto	mg DO/L	1.0	<1.0	1%	100%		
Sólidos Totales Disueltos	mg Sólidos Disueltos/L	3	<3	1 - 3%	91 - 93%		
Sólidos Totales en Suspensión	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	3	<3	6%	98 - 106%		
Cianuro total	mg/L	0.0008	<0.0008		95 - 101%	97 - 102%	0 - 1%

Página 3 de 4

Anexo 10: Referencia de los métodos de ensayos de parámetros químicos y microbiológicos evaluados por el laboratorio SGS del Perú S.A.C, certificado por INACAL, con fecha 17 de noviembre del 2019.



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

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL  
MA1929328 Rev. 0**



**REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO**

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_APHA2130B_AQ	Arequipa	Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 23 rd Ed.: 2017. Turbidity. Nephelometric Method
EW_APHA2340C_AQ	Arequipa	Dureza Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2340-C, 23rd Ed: 2017. Hardness; EDTA Titrimetric Method.
EW_APHA2540C_AQ	Arequipa	Sólidos Disueltos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-C, 23rd Ed.:2017. Solids:Total Dissolved Solid dried at 180°C
EW_APHA2540D_AQ	Arequipa	Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D; 23rd Ed: 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C
EW_APHA4500OC_AQ	Arequipa	Oxígeno Disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O-C; 23rd Ed: 2017. Oxygen (Dissolved): Azide Modification
EW_APHA5210B_AQ	Arequipa	Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B ;23rd Ed: 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test
EW_APHA9221B_AQ	Arequipa	Numeración de Coliformes totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221B, 23rd Ed.:2017 ; Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
EW_APHA9221E_NMP_AQ	Arequipa	Numeración de Coliformes fecales o Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E.1, 23rd Ed: 2017; Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).
EW_ASTMD7511	Callao	Cianuro total	ASTM D7511-12 (Reapproved 2017) E01. Standard Test Method for Total Cyanide by Segmented Flow Injection Analysis, In-Line Ultraviolet Digestion and Amperometric Detection (Validado).2017
EW_EPA300_0_AQ	Arequipa	Cloruro	EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography.
EW_EPA300_0_AQ	Arequipa	Sulfato	EPA 300.0. Rev. 2.1: 1993. Determination of Inorganic Anions by Ion Chromatography.

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es/ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS de Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s) y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

Página 4 de 4

Anexo 11: Cadena de custodia.

**SGS**

Laboratorio Cálida  
Avenida 1000 # 1000, Calle 4  
San José, Costa Rica  
T +506 2222 2222

**LABORATORIO CÁLIDA**

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO

**Nº 240796**

LABORATORIO CÁLIDA

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO

### CADENA DE CUSTODIA PARA MONITOREO DE AGUA

**CLIENTE:** Gerencio Estación Pinos

**PROYECTO:** MSA 195318

**UBICACIÓN:** Finca de los Angeles, San José, Costa Rica

**CLIENTE CONTACTO:** ENRIQUE ESPINOZA

**TELÉFONO:** 8888 8888

**CORREO:** gerencio@pinos.com

**FECHA DE EMISIÓN:** 18-10-2019

**FECHA DE VIGENCIA:** 18-10-2019

**CLIENTE CONTACTO:** Gerencio Estación Pinos

**TELÉFONO:** 8888 8888

**CORREO:** gerencio@pinos.com

**FECHA DE EMISIÓN:** 18-10-2019

**FECHA DE VIGENCIA:** 18-10-2019

CANTIDAD DE MUESTRAS (Litros / Galón)	MUESTRA 1		MUESTRA 2		FECHA DE MUESTREO	TIPO DE MUESTRA	PUNTO DE MUESTREO	ESTADO
	DESCRIPCIÓN	USO	DESCRIPCIÓN	USO				
1	Agua para consumo humano	18/10/19 12:50	ADICIONADA	18-10-2019	OK			
2	Agua para consumo humano	18/10/19 13:20	ADICIONADA	18-10-2019	OK			

**LABORATORIO CÁLIDA**

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO

**LABORATORIO CÁLIDA**

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO

**LABORATORIO CÁLIDA**

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO

**LABORATORIO CÁLIDA**

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELO

Anexo 12: Panel fotográfico de la zona de estudio de la PTAR de Macusani.



*Figura 23: Afluente punto de inicio donde se vierte agua cruda al buzón de la PTAR.*



*Figura 24: Cámara de rejas con residuos sólidos al costado y desarenador, por donde está pasando el desagüe crudo, presentado desbordes del agua residual hacia los lados del canal.*



*Figura 25: laguna aeróbica con acumulación de natas y materiales flotantes; aparición de malos olores.*



*Figura 26: Laguna facultativa primaria de la planta de tratamiento de aguas residuales (laguna de estabilización) existente.*



*Figura 27: Limpieza de las rejillas de la PTAR con el uso de un rastrillo manual.*



*Figura 28: El efluente de la PTAR de la laguna de maduración se encuentra colmatada y en malas condiciones y no está operando correctamente.*