



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



**“INCIDENCIA DE FACTORES CLIMATOLÓGICOS,  
MANTENIMIENTO Y TIPO EN LA EFICIENCIA Y  
OPERATIVIDAD DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES, ZONA SUR ALTIPLÁNICA - REGIÓN PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. LEONARDO FAVIO CANDIA PILCO**

**Bach. JOLVIN DANTE VENTURA HUANCA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**INCIDENCIA DE FACTORES CLIMATOLÓGICOS, MANTENIMIENTO Y TIPO EN LA EFICIENCIA Y OPERATIVIDAD DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ZONA SUR ALTIPLÁNICA - REGIÓN PUÑO**

AUTOR

**Leonardo Favio Candia Pilco - Jolvin Dante Ventura Huanca**

RECuento DE PALABRAS

**55302 Words**

RECuento DE CARACTERES

**288689 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**328 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**37.8MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 16, 2023 7:10 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 16, 2023 7:14 PM GMT-5**

● **13% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

  
Ing. Guillermo Nestor Fernandez Sila  
DOCENTE UNIVERSITARIO  
COD. UNA N° 200555

  
Ing. Emilio Castillo Aroni  
DOCENTE UNIVERSITARIO  
COD. UNA N° 920514

Resumen



## DEDICATORIA

*La realización de este trabajo está dedicado a mi familia; a mi padre LEONARDO, mi madre RUFINA quienes siempre me han apoyado de todo corazón en los emprendimientos que he emprendido; que pones tu fe y confianza en mis habilidades y capacidades; que me inspiras y me diriges en cada momento de mi vida.*

*A mis hermanos Richar, Edwin, Luz y Glicería que juegan un papel crucial en mi vida y que están a mi lado constantemente.*

*Gracias a Dios por traerme hasta este punto y darme la salud para lograr una de mis primeras metas.*

**LEONARDO FAVIO CANDIA PILCO**



## DEDICATORIA

*A mis padres Alfredo y Lucia, por su apoyo incondicional que me brindaron, la forma en que me educaron, el amor y el cariño que me dieron me ha permitido luchar por mis sueños y alcanzarlos para poder ser un profesional de bien y útil a la sociedad.*

*A mi hija Raizel por haber llegado a mi vida y ser el motor y motivo para alcanzar mis metas, objetivos y sueños.*

*A Dios por darme salud y fortaleza para lograr mis metas.*

**JOLVIN DANTE VENTURA HUANCA**



## AGRADECIMIENTOS

*Nuestro más profundo agradecimiento y reconocimiento:*

*A la Universidad Nacional del Altiplano, por habernos acogido en sus claustros universitarios contribuyendo en nuestra formación profesional.*

*A la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, en particular a nuestra querida Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por brindarnos la oportunidad de formarnos en sus aulas y ser profesionales.*

*A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil; que contribuyeron en cada etapa de mi formación profesional, inculcándonos enseñanzas y valores para nuestra formación.*

*A nuestras familias por el apoyo brindado no solo durante el desarrollo de la presente investigación sino a lo largo de toda nuestra formación universitaria.*

*A nuestro asesor de tesis Ing. GUILLERMO NÉSTOR FERNÁNDEZ SILA, quien encaminó el desarrollo del presente, aportando con su conocimiento y experiencia profesional.*

*A mis compañeros y amigos, con quienes compartimos incontables experiencias, y aprendizajes a lo largo de nuestra carrera.*

*Gracias de manera general a todas aquellas personas que nos brindaron su apoyo y colaboración desinteresada.*

**LEONARDO FAVIO CANDIA PILCO**

**. JOLVIN DANTE VENTURA HUANCA**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 19**

**ABSTRACT..... 20**

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 21**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 23**

1.2.1. Problema General..... 23

1.2.2. Problemas Específicos ..... 23

**1.3. JUSTIFICACIÓN..... 23**

**1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 24**

1.4.1. Objetivo General..... 24

1.4.2. Objetivos Específicos..... 24

**1.5. HIPÓTESIS..... 25**

1.5.1. Hipótesis General..... 25

1.5.2. Hipótesis Específicos ..... 25

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**



<b>2.1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>35</b>
2.2.1. Marco Normativo.....	35
2.2.2. Aguas Residuales.....	42
2.2.3. Tipos de Aguas Residuales.....	43
2.2.4. Composición de las Aguas Residuales.....	43
2.2.5. Características Principales de las Aguas Residuales.....	45
2.2.6. Tratamiento de las Aguas Residuales.....	55
<b>2.3. MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>69</b>
2.3.1. Tratamiento de Aguas Residuales Mediante Lagunas de Estabilización.....	69
2.3.2. Humedales Artificiales.....	75
2.3.3. Tratamiento Aerobio.....	76
2.3.4. Tratamiento Anaerobio.....	76
2.3.5. Eficiencia de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.....	77
2.3.6. Operación y Mantenimiento.....	79

### **CAPITULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>82</b>
3.1.1. Ubicación del Área de Estudio.....	82
3.1.2. Accesibilidad a los Distritos de Trabajo.....	84
3.1.3. Población y Muestra.....	84
3.1.4. Evaluación de la Infraestructura y su Operatividad de las PTAR.....	85



<b>3.2. MATERIALES .....</b>	<b>116</b>
<b>3.3. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL FACTOR CLIMATOLÓGICO (TEMPERATURA) .....</b>	<b>117</b>
<b>3.4. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE MANTENIMIENTO Y TIPO... ..</b>	<b>117</b>
<b>3.5. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA Y OPERATIVIDAD .....</b>	<b>118</b>
3.5.1. Medición de Caudales .....	118
3.5.2. Muestreo de Aguas Residuales .....	123
3.5.3. Ensayos Realizados.....	123
3.5.4. Cálculo de la Eficiencia en Remoción de Contaminantes .....	124
<b>3.6. METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DE INCIDENCIA .....</b>	<b>124</b>
<b>3.7. PRUEBA ESTADÍSTICA PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.....</b>	<b>125</b>
3.7.1. Prueba de T-student .....	125
3.7.2. Nivel de Confiabilidad .....	126
<b>3.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....</b>	<b>126</b>
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>RESULTADO Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS.....</b>	<b>129</b>
4.1.1. PTAR del Distrito de Chucuito.....	129
4.1.2. PTAR del Distrito de Capachica.....	131
4.1.3. PTAR del Distrito de Juli.....	132
4.1.4. PTAR del Distrito de Cabana .....	133
<b>4.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL FACTOR CLIMATOLÓGICO (TEMPERATURA) .....</b>	<b>135</b>



4.2.1. Temperatura de la PTAR del Distrito de Chucuito.....	135
4.2.2. Temperatura de la PTAR del Distrito de Capachica.....	136
4.2.3. Temperatura de la PTAR del Distrito de Juli.....	137
4.2.4. Temperatura de la PTAR del Distrito de Cabana .....	139
<b>4.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL MANTENIMIENTO Y TIPO.....</b>	<b>140</b>
4.3.1. Nivel Existente y Disponibilidad de Experiencia Técnica .....	143
4.3.2. Actividad y Frecuencia de Operación y Mantenimiento .....	145
4.3.3. Operación y Mantenimiento a Largo Plazo. ....	147
4.3.4. Monitoreo y Documentación Existente de las PTAR .....	150
4.3.5. Evaluación del Tipo de PTAR .....	151
<b>4.4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA Y OPERATIVIDAD DE LAS PTAR .....</b>	<b>153</b>
4.4.1. Evaluación de la Eficiencia en Cuanto a la Remoción de Contaminantes	153
<b>4.5. RESULTADOS DE LA INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA Y OPERATIVIDAD .....</b>	<b>160</b>
4.5.1. Incidencia del Factor Climatológico (Temperatura).....	160
4.5.2. Incidencia del Mantenimiento y Tipo .....	167
<b>4.6. RESULTADOS DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN AL CUERPO RECEPTOR.....</b>	<b>169</b>
4.6.1. Cumplimiento con los Estándares de Calidad Ambiental.....	170
4.6.2. Cumplimiento con los Límites Máximos Permisibles .....	176
<b>4.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>178</b>



4.7.1. Prueba de Hipótesis.....	178
<b>4.8. DISCUSIÓN .....</b>	<b>184</b>
<b>4.9. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE CADA PTAR.....</b>	<b>188</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>189</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>191</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>192</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>198</b>

**Área** : Hidráulica y medio ambiente

**Tema** : Tratamiento de aguas residuales

**Línea de investigación:** Hidráulica y medio ambiente

**Fecha de sustentación:** 25 de julio del 2023



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Composición de aguas residuales .....	44
<b>Figura 2</b>	Componentes básicos de tratamiento de aguas residuales.....	57
<b>Figura 3</b>	Vista en planta de un tanque Imhoff .....	62
<b>Figura 4</b>	Esquema básico del proceso de lodos activados.....	66
<b>Figura 5</b>	Disposición de las lagunas de estabilización .....	70
<b>Figura 6</b>	Esquema básico de operación de una laguna anaerobia .....	72
<b>Figura 7</b>	Esquema de una laguna facultativa.....	74
<b>Figura 8</b>	Ubicación geográfica de las PTAR evaluadas. ....	83
<b>Figura 9</b>	Cámara de rejillas de PTAR Chucuito .....	86
<b>Figura 10</b>	Desarenador de la PTAR Chucuito.....	87
<b>Figura 11</b>	Medidor Parshall de PTAR Chucuito .....	88
<b>Figura 12</b>	Desengrasador de PTAR Chucuito .....	89
<b>Figura 13</b>	Sedimentador primario de PTAR Chucuito.....	90
<b>Figura 14</b>	Sedimentador secundario de PTAR Chucuito .....	90
<b>Figura 15</b>	Filtro de arena y grava de PTAR Chucuito.....	91
<b>Figura 16</b>	Filtros biológicos de PTAR Chucuito.....	92
<b>Figura 17</b>	Humedales artificiales de PTAR Chucuito .....	93
<b>Figura 18</b>	Cámara de contacto de cloro en PTAR Chucuito .....	94
<b>Figura 19</b>	Digestor de lodos de PTAR Chucuito.....	95
<b>Figura 20</b>	Lecho de secado PTAR Chucuito .....	95
<b>Figura 21</b>	Cámara de rejillas PTAR Capachica.....	96
<b>Figura 22</b>	Tanque Imhoff PTAR Capachica.....	97
<b>Figura 23</b>	Filtro percolador PTAR Capachica.....	98
<b>Figura 24</b>	Filtro de arena Capachica.....	99



<b>Figura 25</b>	Filtro de arena Capachica.....	99
<b>Figura 26</b>	Cámara de cloración PTAR Capachica.....	100
<b>Figura 27</b>	Repartidos de caudal PTAR Juli .....	101
<b>Figura 28</b>	Lagunas de facultativas primarias PTAR Juli.....	102
<b>Figura 29</b>	Lagunas de facultativas secundarias PTAR Juli .....	103
<b>Figura 30</b>	Cámara de rejas PTAR Cabana.....	104
<b>Figura 31</b>	Lagunas facultativas primarias PTAR Cabana .....	105
<b>Figura 32</b>	Lagunas de facultativas secundarias PTAR Cabana .....	106
<b>Figura 33</b>	Filtros biológicos PTAR Cabana .....	107
<b>Figura 34</b>	Cámara de cloración PTAR Cabana .....	108
<b>Figura 35</b>	Cámara de rejas PTAR Paucarcolla sur .....	109
<b>Figura 36</b>	PTAR Sur colapsado y con filtraciones .....	109
<b>Figura 37</b>	PTAR Norte, rebose de las aguas residuales .....	110
<b>Figura 38</b>	PTAR Norte, esta planta se encuentra en colapso. ....	110
<b>Figura 39</b>	Monitoreo de la PTAR Acora .....	111
<b>Figura 40</b>	Funcionamiento de la PTAR acora .....	112
<b>Figura 41</b>	Cámara de rejas PTAR Acora.....	112
<b>Figura 42</b>	Estación de bombeo PTAR Acora colapsado .....	113
<b>Figura 43</b>	Colapso PTAR Zepita. ....	114
<b>Figura 44</b>	Mantenimiento PTAR Zepita.....	114
<b>Figura 45</b>	Tratamiento terciario.....	115
<b>Figura 46</b>	Evacuación a cuerpo receptor .....	115
<b>Figura 47</b>	Evaluación de Mantenimiento .....	143
<b>Figura 48</b>	Distribución porcentual en función al personal encargado.....	144
<b>Figura 49</b>	Distribución porcentual en función a la limpieza por componente .....	147



<b>Figura 50</b>	Distribución porcentual en función a la operación y mantenimiento a largo plazo.....	148
<b>Figura 51</b>	Distribución porcentual en función al monitoreo y documentación existente .....	151
<b>Figura 52</b>	Distribución porcentual en función a las etapas de tratamiento.....	153
<b>Figura 53</b>	Eficiencia en la remoción de aceites y grasas .....	155
<b>Figura 54</b>	Eficiencia en la remoción de materia orgánica expresada como DBO.....	156
<b>Figura 55</b>	Eficiencia en la eliminación de materia orgánica expresa como DQO .....	157
<b>Figura 56</b>	Eficiencia en la remoción de solidos totales en suspensión.....	158
<b>Figura 57</b>	Eficiencia en la eliminación de coliformes termo tolerantes .....	159
<b>Figura 58</b>	Temperatura vs eficiencia en remoción de Coliformes termotolerantes ...	163
<b>Figura 59</b>	Temperatura vs eficiencia en remoción de DBO .....	165
<b>Figura 60</b>	Temperatura vs eficiencia en remoción de DBO .....	167
<b>Figura 61</b>	Relación entre criterio de mantenimiento y eficiencia de remoción de DBO5 y coliformes termotolerantes.....	169



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático .....	38
<b>Tabla 2</b>	Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR .....	41
<b>Tabla 3</b>	Tipos de agua residual .....	43
<b>Tabla 4</b>	Constituyentes de preocupación en el tratamiento de aguas residuales.....	44
<b>Tabla 5</b>	Definiciones de sólidos que se encuentran en las aguas residuales .....	46
<b>Tabla 6</b>	Clasificación de los microorganismos .....	54
<b>Tabla 7</b>	Agentes infecciosos presentes en el agua residual domestica bruta .....	54
<b>Tabla 8</b>	Niveles de tratamiento de agua residual .....	56
<b>Tabla 9</b>	Unidades de tratamiento de aguas residuales.....	57
<b>Tabla 10</b>	Eficiencias de remoción .....	78
<b>Tabla 11</b>	Redimientos medios de depuración en función de tipo de tratamiento .....	79
<b>Tabla 12</b>	Rendimiento de eliminacion de contaminantes en las etapas de lagunajes .	79
<b>Tabla 13</b>	Ubicación del área de estudio .....	82
<b>Tabla 14</b>	Accesibilidad a los distritos de trabajo .....	84
<b>Tabla 15</b>	Medición de caudal PTAR Capachica (Afluente) .....	119
<b>Tabla 16</b>	Medición de caudal PTAR Capachica (Efluente).....	119
<b>Tabla 17</b>	Medición de caudal PTAR Chucuito (Afluente) .....	120
<b>Tabla 18</b>	Medición de caudal PTAR Chucuito (Efluente).....	120
<b>Tabla 19</b>	Medición de caudal PTAR Juli (Afluente) .....	121
<b>Tabla 20</b>	Medición de caudal PTAR Juli (Efluente).....	121
<b>Tabla 21</b>	Medición de caudal PTAR Cabana (afluente) .....	122
<b>Tabla 22</b>	Medición de caudal PTAR Cabana (efluente) .....	122
<b>Tabla 23</b>	Eficiencia de procesos de tratamiento.....	125
<b>Tabla 24</b>	Remoción promedio en función al tipo de tratamiento.....	125



<b>Tabla 25</b>	Tabla operacionalización de variables .....	126
<b>Tabla 26</b>	Parámetros físico-químicos y microbiológicos, ingreso PTAR Chucuito.	129
<b>Tabla 27</b>	Parámetros físico-químicos y microbiológicos, salida PTAR Chucuito ...	130
<b>Tabla 28</b>	Parámetros físico-químicos, cuerpo receptor PTAR Chucuito (lago Titicaca) .....	130
<b>Tabla 29</b>	Parámetros físico-químicos y microbiológicos, ingreso PTAR Capachica	131
<b>Tabla 30</b>	Parámetros físico-químicos y microbiológicos, salida PTAR Capachica .	131
<b>Tabla 31</b>	Parámetros físico-químicos, cuerpo receptor PTAR Capachica (lago Titicaca) .....	131
<b>Tabla 32</b>	Parámetros físico-químicos y microbiológicos, ingreso PTAR Juli .....	132
<b>Tabla 33</b>	Parámetros físico-químicos y microbiológicos, salida PTAR Juli .....	132
<b>Tabla 34</b>	Parámetros físico-químicos, cuerpo receptor PTAR Juli (lago Titicaca) ..	133
<b>Tabla 35</b>	Parámetros físico-químicos y microbiológicos, ingreso PTAR Cabana....	133
<b>Tabla 36</b>	Parámetros físico-químicos y microbiológicos, salida PTAR Cabana .....	134
<b>Tabla 37</b>	Parámetros físico-químicos, cuerpo receptor PTAR Cabana (Río) .....	134
<b>Tabla 38</b>	Temperatura del agua, PTAR Chucuito .....	135
<b>Tabla 39</b>	Temperaturas máximas del agua, PTAR Chucuito .....	135
<b>Tabla 40</b>	Temperatura del aire, PTAR Chucuito .....	136
<b>Tabla 41</b>	Temperatura del agua, PTAR Capachica .....	136
<b>Tabla 42</b>	Temperaturas máximas del agua, PTAR Capachica .....	137
<b>Tabla 43</b>	Temperatura del aire, PTAR Capachica .....	137
<b>Tabla 44</b>	Temperatura del agua, PTAR Juli .....	137
<b>Tabla 45</b>	Temperaturas máximas del agua, PTAR Juli .....	138
<b>Tabla 46</b>	Temperatura del aire, PTAR Juli .....	138
<b>Tabla 47</b>	Temperatura del agua, PTAR Cabana .....	139



<b>Tabla 48</b>	Temperaturas máximas del agua, PTAR Cabana .....	139
<b>Tabla 49</b>	Temperatura del aire, PTAR Cabana .....	140
<b>Tabla 50</b>	Resultados de la evaluación del mantenimiento .....	141
<b>Tabla 51</b>	Personal encargado de la operación y mantenimiento de PTAR.....	144
<b>Tabla 52</b>	Datos de capacitación al personal .....	145
<b>Tabla 53</b>	Datos de entrega de EPP al personal.....	145
<b>Tabla 54</b>	Resultados de actividades de operación y mantenimiento.....	146
<b>Tabla 55</b>	Actividades mantenimiento de la PTAR en los últimos 03 años.....	147
<b>Tabla 56</b>	Resultados de frecuencia mínima de principales actividades de operación y mantenimiento de PTAR.....	148
<b>Tabla 57</b>	Resultados de monitoreo y documentación existente de las PTAR.....	150
<b>Tabla 58</b>	Resultados de evaluación de tipo y componentes de PTAR.....	151
<b>Tabla 59</b>	Resultados de la eficiencia de PTAR Chucuito .....	154
<b>Tabla 60</b>	Resultados de la eficiencia de PTAR Capachica .....	154
<b>Tabla 61</b>	Resultados de la eficiencia de PTAR Juli .....	154
<b>Tabla 62</b>	Resultados de la eficiencia de PTAR Cabana.....	155
<b>Tabla 63</b>	Cuadro general de las PTAR evaluadas.....	159
<b>Tabla 64</b>	Incidencia de la temperatura en la eficiencia en remoción de coliformes termotolerantes.....	162
<b>Tabla 65</b>	Incidencia de la temperatura en la eficiencia en remoción de DBO.....	164
<b>Tabla 66</b>	Incidencia de la temperatura en la eficiencia en remoción de DBO.....	166
<b>Tabla 67</b>	Eficiencia teórica y real de las PTAR de Cabana y Juli.....	168
<b>Tabla 68</b>	Eficiencia teórica y real de las PTAR de Capachica y Chucuito.....	168
<b>Tabla 69</b>	Parámetros de descarga PTAR Cabana.....	171
<b>Tabla 70</b>	Parámetros de cuerpo receptor río Cabana .....	171



<b>Tabla 71</b>	Resultado en zona de mezcla PTAR Cabana .....	171
<b>Tabla 72</b>	Cumplimiento con los ECA de PTAR Cabana .....	172
<b>Tabla 73</b>	Cumplimiento con los ECA de PTAR Capachica .....	174
<b>Tabla 74</b>	Cumplimiento con los ECA de PTAR Chucuito .....	174
<b>Tabla 75</b>	Cumplimiento con los ECA de PTAR Juli. ....	175
<b>Tabla 76</b>	Resultado del grado de contaminación de PTAR Capachica con los ECA	175
<b>Tabla 77</b>	Resultado del grado de contaminación de PTAR Chucuito con los ECA .	176
<b>Tabla 78</b>	Resultado del grado de contaminación de PTAR Juli con los ECA .....	176
<b>Tabla 79</b>	Resultado del grado de contaminación de PTAR Cabana con los ECA ....	176
<b>Tabla 80</b>	Cumplimiento con los límites máximos permisibles PTAR Chucuito. ....	177
<b>Tabla 81</b>	Cumplimiento con los límites máximos permisibles PTAR Capachica. ...	177
<b>Tabla 82</b>	Cumplimiento con los límites máximos permisibles PTAR Juli. ....	177
<b>Tabla 83</b>	Cumplimiento con los límites máximos permisibles PTAR Cabana. ....	178
<b>Tabla 84</b>	Estadística para muestras .....	179
<b>Tabla 85</b>	Prueba para una muestra, valor de prueba = 0 .....	179
<b>Tabla 86</b>	Estadísticas para muestras independientes.....	180
<b>Tabla 87</b>	Estadísticas para muestras independientes, valor de prueba = 0 .....	180
<b>Tabla 88</b>	Estadísticas para muestras independientes.....	181
<b>Tabla 89</b>	Estadísticas para muestras independientes, valor de prueba = 0 .....	182
<b>Tabla 90</b>	Estadísticas para muestras independientes.....	183
<b>Tabla 91</b>	Estadísticas para muestras independientes, Valor de prueba = 0.....	183



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

DBO	: Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	: Demanda química de oxígeno
PTAR	: Plantas de tratamiento de agua residual
SST	: Solidos totales en suspensión
LMP	: Límites máximos permisibles
ECA	: Estándares de calidad ambiental
PH	: Potencial de hidrogeno
MINAM	: Ministerio de Ambiente
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática
R.N.E.	: Reglamento Nacional de Edificaciones



## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar los factores climatológicos, mantenimiento y tipo de PTAR, y su incidencia en la eficiencia y operatividad de las PTAR de Chucuito, Capachica, Juli y Cabana de la región de Puno. El tipo de investigación según su enfoque es cuantitativo y aplicada según su finalidad, con un diseño no experimental ya que no se manipuló la variable independiente. El método de investigación utilizado fue las visitas a campo realizados a cada PTAR en mención, tomando registros fotográficos, fichas de evaluación, encuestas, recolección de datos y toma de muestras de los afluentes, efluentes y sus cuerpos receptores, para determinar la incidencia de la temperatura, mantenimiento y el tipo en la eficiencia y operatividad, los cuales se determinaron evaluando los siguientes parámetros: DQO, DBO, SST, aceite y grasas, coliformes termo tolerantes; como resultado se obtuvo que, la temperatura, mantenimiento inciden de forma directa a la eficiencia y operatividad, mientras que el tipo no tiene incidencia; las eficiencias obtenidas fueron: DBO de la PTAR Chucuito es 52%, Cabana 76%, Juli 40% y Capachica 71%; DQO la PTAR Chucuito 36%, Cabana 76%, Juli 40% y Capachica 58%; aceites y grasas la PTAR Chucuito 76%, Cabana 69%, Juli 35% y Capachica 75%; SST PTAR Chucuito 36%, Cabana 37%, Juli 20% y Capachica 73%; mientras que para los coliformes termotolerantes Chucuito tiene 95.81%, Cabana 99.41%, Juli 99.76% y Capachica 99%; los resultados de los efluentes no cumple en su totalidad con los establecido en los LMP, existe un grado de contaminación al cuerpo receptor ya que el resultado obtenido del punto de mezcla en el cuerpo receptor no cumple con los establecido en los ECA del agua.

**Palabras clave:** aguas residuales, eficiencia, temperatura, operatividad, mantenimiento.



## ABSTRACT

The present investigation had as main objective to evaluate the climatological factors, maintenance and type of WWTP, and its incidence on the efficiency and operability of the WWTPs of Chucuito, Capachica, Juli and Cabana in the Puno region. The type of research according to its approach is quantitative and applied according to its purpose, with a non-experimental design since the independent variable was not manipulated. The research method used was the field visits made to each mentioned WWTP, taking photographic records, evaluation sheets, surveys, data collection and sampling of the tributaries, effluents and their receiving bodies, to determine the incidence of the temperature, maintenance and the type of efficiency and operability, which were determined by evaluating the following parameters: COD, BOD, TSS, oil and fats, thermo-tolerant coliforms; As a result, it was obtained that temperature and maintenance directly affect efficiency and operability, while the type has no incidence; The efficiencies obtained were: BOD of the Chucuito WWTP is 52%, Cabana 76%, Juli 40% and Capachica 71%; COD the WWTP Chucuito 36%, Cabana 76%, Juli 40% and Capachica 58%; oils and fats the WWTP Chucuito 76%, Cabana 69%, Juli 35% and Capachica 75%; SST WWTP Chucuito 36%, Cabana 37%, Juli 20% and Capachica 73%; while for the thermotolerant coliforms Chucuito has 95.81%, Cabana 99.41%, Juli 99.76% and Capachica 99%; the results of the effluents do not fully comply with those established in the LMP, there is a degree of contamination to the receiving body since the result obtained from the mixing point in the receiving body does not comply with those established in the ECA of the water.

**keywords:** wastewater, efficiency, temperature, operability, maintenance.



# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

Existen varios sistemas de tratamiento de aguas residuales, entre las que son más frecuentes en nuestra región tenemos los filtros percoladores y lagunas de estabilización que mediante diferentes tratamientos pueden ser biológicos, aeróbicos, anaeróbicos tienen la función de remover sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas que después del proceso de tratamiento son devueltas, se supone de forma segura a nuestro medio ambiente. Este estudio se realizó para dar conocimiento acerca del desempeño y eficiencia de estas plantas de tratamiento, lo que nos permitió conocer qué sistema de tratamiento es más eficiente en la zona alto de la región Puno. Este estudio tiene la siguiente estructura.

Capítulo I: Introducción, en el cual se plantea y formula el problema, se presenta la justificación del trabajo de investigación y se muestran los objetivos. Capítulo II: Revisión de la literatura, en la que se citan las referencias teóricas y antecedentes que dan el sustento al trabajo de investigación. Capítulo III: En el cual se detalla los materiales y métodos, para lograr el propósito de la investigación. El Capítulo IV: Resultados y discusión, se detalla los resultados obtenidos en este estudio. El Capítulo V: Se presentan las conclusiones, los resultados de este estudio. Capítulo VI: Se presentan las recomendaciones, para mitigar el problema. Capítulo VII: Se muestran las referencias bibliográficas utilizadas en la presente investigación.

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ocola y Laqui (2017) en su libro fuentes contaminantes en la cuenca del lago Titicaca un aporte al conocimiento de las causas que amenazan la calidad del agua del maravilloso lago Titicaca, destaca que en la cuenca del Titicaca, las aguas residuales domésticas son una de las causas principales en la contaminación en aguas superficiales,



ríos, lagos, lagunas, y se componen de elementos físicos, químicos y biológicos, es decir, son mezclas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas o disueltas en agua; sin embargo, este es un tema poco conocido por los pobladores y las autoridades municipales.

Para Gómez (2018) en su artículo científico titulado “Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública” manifiesta que el problema de la contaminación del agua y del ambiente en países de bajos y medianos recursos es debido a que no cuentan con plantas de tratamiento de agua y donde los ríos contaminados terminan afectando y destruyendo a su paso recursos naturales como: flora y fauna hasta llegar al océano.

Según Gil et al. (2012) en su investigación manifiesta que a través del uso de tratamientos de aguas convencionales, no se logra la remoción de contaminantes emergentes, los proyectos de investigación que se formulan y ejecuten en este campo deben dirigirse a la búsqueda del entendimiento de los mecanismos a través de los cuales los contaminantes se transforman en procesos de remoción biológica y avanzada, buscando siempre una relación entre la eficiencia de remoción y las propiedades fisicoquímicas del agente contaminante, así como de los distintos medios reactivos propios de cada tratamiento.

Meléndez et al. (2020) en su investigación concluye que, es importante monitorear constantemente los contaminantes emergentes en los cuerpos de agua, aguas residuales y PTAR. Los antibióticos destacan la falta de regulación en América Latina en relación a los contaminantes emergentes, lo que resulta en la contaminación de aguas residuales, efluentes y ríos. El desarrollo de una estrategia coordinada, integrada y colaborativa por parte de los países de América Latina para el consumo, la descarga y disposición de estos compuestos es fundamental.



## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema General**

¿Influyen los factores climatológicos, mantenimiento y tipo de PTAR en la eficiencia y operatividad de plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona sur altiplánica de la región de Puno?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

¿Al analizar las plantas de tratamiento de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana se podrá determinar la eficiencia, operatividad?

¿En qué grado contaminan las plantas de tratamiento de aguas residuales de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana al cuerpo receptor?

¿Qué tipo de planta de tratamiento de agua residual será más eficiente para que cumpla con los límites máximos permisibles?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

En nuestra región se tiene diferentes tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), que fueron incorporándose en estos últimos años, muchos de estos casos están inoperativas e ineficientes; los cuales presentan deficiencia en su diseño, ejecución, y mantenimiento; en la mayoría de estos casos, estas plantas están inoperativas ya que las entidades no tienen una adecuada gestión de mantenimiento; cabe recalcar que dichas plantas representan un gasto inútil por la falta de especialistas en la etapa de diseño, puesto que estas innovan de manera muy errónea dejando de lado la funcionabilidad que deben cumplir estas plantas.

Uno de los factores básicos que protegen completamente las fuentes son las tecnologías disponibles que pueden tratar el agua residual, de manera efectiva y adecuada. Para expandir esta realidad, se debe tener los recursos humanos y las finanzas necesarios, de nuestra región, que conduce a ejecutar sistemas económicos y poco mecanizados.



El nivel actual de contaminación que provocan las PTAR en zonas altiplánicas de nuestra región es muy elevada, ya que no se cumplen los parámetros máximos que se exigen para verter este tipo de aguas tratadas a los cuerpos receptores.

En este sentido, se presenta un estudio que permite encontrar y mitigar las principales causas por las cuales las plantas de tratamiento de aguas residuales no estén funcionando adecuadamente por ende no cumplen con lo establecido por los límites máximos permisibles (LMP) y estándares de calidad ambiental (ECA).

Este estudio se realizó con la finalidad de evaluar los factores climatológicos (temperatura), mantenimiento y tipo de planta de tratamiento de aguas residuales, y su incidencia en la eficiencia y operatividad de plantas de tratamiento de aguas residuales del distrito de Chucuito, Capachica, Juli y Cabana.

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

##### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar los factores climatológicos, mantenimiento y tipo de planta de tratamiento de aguas residuales, y su incidencia en la eficiencia y operatividad de plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona sur altiplánica de la región Puno.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos**

Analizar las plantas de tratamiento de aguas residuales de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana para determinar el grado de eficiencia y operatividad actual.

Determinar el grado de contaminación al cuerpo receptor que generan las plantas de tratamiento de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana.

Determinar la planta de tratamiento de aguas residuales con mayor eficiencia.



## **1.5. HIPÓTESIS**

### **1.5.1. Hipótesis General**

Los factores climatológicos, mantenimiento y tipo de planta de tratamiento de aguas residuales inciden en la eficiencia y operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona sur altiplánica de la región Puno.

### **1.5.2. Hipótesis Específicos**

Las plantas de tratamiento de aguas residuales de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana son operativos y eficientes.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana contaminan al cuerpo receptor al no cumplir con los LMP y ECA.

Las lagunas de estabilización son más eficientes y cumplen con los límites máximos permisibles.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

Mercado et al. (2020), en su artículo científico “Eficiencia vinculada a la operación y mantenimiento de pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en Cochabamba, Bolivia”, concluye que la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales, en las plantas estudiadas, está influenciada por el tipo de tecnología, la calidad del afluente y el tipo de operación y mantenimiento, directamente relacionadas a la gestión de las plantas de tratamiento. La relación entre eficiencia de parámetros principales como ser la DBO y la DQO con los criterios de operación y mantenimiento, mostrados en este estudio, muestra una dependencia directa, indicando que a mayor eficiencia se ha obtenido mayores puntajes de operación y mantenimiento con las plantas estudiadas. La falta de monitoreo permanente dificulta la toma de decisiones de mejora en los tratamientos. El ingreso de aguas industriales, probablemente perjudica los procesos de tratamiento, ya que disminuye las eficiencias teóricas de las plantas de tratamiento. Las plantas de tratamiento con menor operación y mantenimiento también son las que menor eficiencia presentan, tal es el caso de las plantas de Ucureña y Tiraque, que son las plantas con menores puntuaciones de los Criterios de operación y mantenimiento aplicados.

Echeverría et al. (2021) en su artículo científico “Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales basada en lagunas de estabilización acopladas a un reactor anaerobio compartimentado”, concluye que se evaluó la PTAR de Colquerancho en el municipio de Punata con un enfoque que analiza los parámetros operacionales con respecto a los parámetros de diseño, esta PTAR se basa en un sistema de lagunas de estabilización acopladas a un reactor anaerobio compartimentado (RAC) y



un sistema de pre-tratamiento mejorado para ampliar la capacidad de tratamiento, la PTAR atiende a una población aproximada de 20 000 habitantes y actualmente trata un caudal de 2 416 m<sup>3</sup>/d. La implementación del RAC ha ayudado a reducir la carga orgánica que ingresa al sistema de lagunaje aun cuando las eficiencias reportadas por el RAC son menores a las que típicamente reportan otros estudios, el tiempo de retención hidráulica para el caudal de aguas que actualmente ingresa a la PTAR es de 5 horas, el cual es menor al tiempo de 8 horas esperado en el diseño. Las lagunas de estabilización presentaron un rendimiento aceptable en general, en especial, las lagunas anaerobias. La eficiencia global alcanzada por la PTAR fue de: 55, 67, 54, 80, 15 y 26 % para los parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO total, DQO soluble, SST, N-NH<sub>3</sub> y P, respectivamente. Con la adición del RAC, la eficiencia de la PTAR se ha incrementado de 52 a 67 % en la eliminación de DQO. Estos resultados permiten concluir que anteponer un sistema de pretratamiento y reactor anaerobio a un sistema de lagunas de estabilización puede considerarse una opción adecuada para incrementar la capacidad de tratamiento de la PTAR y a la vez aumentar su periodo útil de diseño sin requerir grandes extensiones de terreno adicionales. Por otro lado, es fundamental realizar la extracción periódica de lodos ya que esta acción por si sola mejora en gran medida la capacidad de depuración de la PTAR. Actualmente se viene realizando un monitoreo periódico de la eficiencia de la PTAR y verificar si se cumple con la norma para considerar en un reúso en riego.

Rodríguez et al. (2015) en su artículo científico “Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales”, concluye que la selección de PTARM en países en proceso de desarrollo, debe tener en cuenta los aspectos de la composición típica del agua residual cruda, eficiencia de remoción de contaminantes por tecnología, indicadores de desempeño por tecnología, aspectos ambientales de la localización y la estrategia espacial para la localización de la PTRAM, adecuada en el marco de una



planificación ambiental hídrica en la cuenca hidrográfica, para la descontaminación del cuerpo de agua y el establecimiento de una dimensión ambiental pertinente en la protección, manejo y ordenamiento de la cuenca hídrica. También llega a la conclusión de que: de manera específica la ubicación y localización de la PTRAM, debe cumplir con elementos especiales para la óptima selección del sitio posible de ubicación, dado que racionaliza, la utilización de recursos naturales, el consumo de energía y minimiza los posibles efectos ambientales (olores, ruido, espumas, etc.) en la zona de estudio o de intervención en la ejecución de las PTARM. Desde luego, el costo de inversión es una variable influyente, pero que es proporcionada mediante recursos económicos de la nación mediante políticas y planes específicos de inversión, pero los costos de operación y mantenimiento, los asume el operador y beneficiario del servicio, por ello, lo delicado de la selección de la tecnología de PTARM a utilizar. De acuerdo con lo anterior, debe proporcionarse un marco racional para la evaluación y selección de alternativas de PTARM, que sea de fácil comprensión de los conceptos, técnicas y tecnologías, que conduzcan a una selección estratégica de PTARM y que ayuden a la implementación de tecnologías que alimenten la generación de un desarrollo sostenible en países en vía de desarrollo.

Rabanales (2015) en su trabajo de investigación, tiene como objetivo general evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del Cantón Chichorin del municipio de San Lucas Sacatepéquez, en la cual concluye que: en respuesta a su capacidad de diseño, la planta de tratamiento de agua residual del Cantón Chichorin funciona durante todo el año alrededor del 52% de su eficiencia, siendo esto suficiente para el cumplimiento de los requerimientos legales. Ésta planta en época seca está funcionando en un 58.50% de su capacidad, mientras que en época lluviosa baja a 46.29%, habiendo una diferencia de 12%. Además la etapa de tratamiento primario opera



con una eficiencia promedio del 53.49% para los parámetros analizados, mientras que el tratamiento secundario es eficiente para la mejora de DBO (72.03%) y DQO (55.49%); y que también el funcionamiento de la planta de tratamiento en época seca es eficiente en la mejora de DBO (74.07%), DQO (62.30%), remoción de nutrientes, grasas y aceites (97.61%), e ineficiente para la remoción de nitrógeno total (11.76%); mientras que en época de lluvia es eficiente para la mejora de DBO (70%), remoción de nutrientes, grasas y aceites (56.58%), e ineficiente para la remoción de fósforo total (19.18%). Mostrando así que la mayoría de parámetros encontrados en la salida de la planta cumplen con los límites máximos permisibles del “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos” de la República de Guatemala.

Lavagnino (2016) en su investigación, como objetivo general evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar, campus central, en el cual las pruebas realizadas fueron en el laboratorio LAFYM (laboratorio de análisis fisicoquímicos y microbiológico de la Universidad de San Carlos), son: DQO, DBO, sólidos sedimentables, nitrógeno y fósforo total de las muestras tomadas de la PTAR y se encontró que el sistema de tratamiento funciona entre un 50% a 60% cada uno de los parámetros de demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno y sólidos sedimentables, el porcentaje de remoción de los sólidos, demuestra que las unidades de sedimentación del sistema de tratamiento son poco eficientes, esto se puede deber al mantenimiento de la planta o la estructura de la misma, dentro del sistema no existe una remoción eficiente de nitrógeno y fósforo total, ya que no existe un tratamiento determinado para la reducción de estos mismos, la liberación de los nutrientes de fósforo total y nitrógeno total al Río Contreras, que es el cuerpo de agua receptor final que puede colaborar con la eutrofización del mismo.



Olea (2013) en su investigación realizada tiene como objetivo evaluar la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales mediante lagunas de estabilización de Coatepec, Veracruz, México; en la que concluye las eficiencias de las diversas lagunas, si bien presenta algunos valores bajos, según lo informado en diversas publicaciones y comparados con los balances de masa realizados, pueden considerarse aceptables ya que la eficiencia varía de 60 a 79%. Los valores de eficiencia son igualmente más bajos que los calculados por el método CNA, posiblemente debido a tiempos de retención más bajos que los valores típicos.

Satalaya (2015) en su tesis concluyó que la entrada a la PTAR (afluente P1), mostró un comportamiento típico para las descargas de agua doméstica sin tratar; en la descarga de la planta (efluente P2), la T°, el PH está dentro del LMP para aguas residuales domésticas vertidas a cuerpos de agua según el D.S. N° 003-2010, mientras que la DQO se encontró por debajo con 9.14 ml tal como lo establece el D. S. N° 003-2010, en DBO5 y STS están por encima del LMP; la eficiencia del sistema de tratamiento para la DBO5 fue de 20.76% y para STS fue de 23.56%, estos valores son muy bajos ya que la eficiencia óptima del DBO5 es de 70 – 80 % y de STS es de 90%, los resultados obtenidos determinan un pésimo funcionamiento del sistema de tratamiento, esto se debe al poco tiempo de retención hidráulica que hay en ambas lagunas lo que no permite que los microorganismos descompongan la materia orgánica, simplemente se forman y se proliferan; las alternativas de remediación al problema establecido tanto en alto contenido de DBO5 Y STS que sobrepasan los LMP, y la deficiencia de DBO5 y STS son: limpieza y mantenimiento de las lagunas de estabilización existentes y/o la incorporación de un sistema de humedales artificiales al agua emitida de las plantas existentes.

Jiménez (2014) en su tesis concluye que la calidad que tiene el agua procedente de las lagunas de oxidación de Covicorti – La Libertad no es aceptable porque excede los



límites máximos permisibles para coliformes termo tolerantes, DBO y sólidos suspendidos totales en aguas residuales domésticas, y no se permite su uso en agricultura o ganadería porque excede los requisitos establecidos en los estándares de calidad del agua.

Racchumí (2014) en su trabajo tiene como objetivo la determinación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas en la localidad de Segundo Jerusalén – Rioja 2014 y donde concluye que los parámetros en orden decreciente de eficiencia obtenidas son coliformes termoestables 94.63%, SST 96.52%, DQO 76.65%, aceite y grasas 75.09%, demanda biológica de oxígeno 75.06%, PH 1.05% y temperatura en negativo -2.89% (que es por el descenso entre el afluente y efluente). Los resultados de coliformes termo tolerantes, DQO, DBO5 y PH indican valores que no cumplen con los límites permitidos máximos especificados en el D.S. N° 003-2008-MINAM, esta es una situación que puede verse afectada por la formación de DBO5 residual por la descomposición de la vegetación acuática y otras materias orgánicas naturales presentes en la laguna. La eficiencia en remoción de aceites y grasas obtenida fue 75,09%, el cual cumple con el requisito de límite permisible del D.S. No. 003-2008-MINAM.

Dueñas (2015) concluye en su tesis que la PTAR mediante el sistema de lagunas de estabilización con solo una unidad y un tiempo de retención corto (50% del mínimo recomendado), la planta de tratamiento proporciona una eliminación aceptable de DBO, DQO y SST, esto demuestra que es buena alternativa si está bien diseñado; las lagunas de estabilizados son el sistema de tratamiento de aguas residuales perfecto para una pequeña población como Quiquijana, gracias a su sencillez, principalmente por la capacidad de limpiar los lodos que se realiza en seco, sin contacto directo con el lodo húmedo, durante la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales, se



propone construir 2 lagunas facultativas, luego construir una laguna de maduración, para mejorar la calidad de las aguas residuales a ser vertidos al cuerpo receptor y remover patógenos, además, se utilizar un sistema separado para recolectar y transportar el agua tanto de las alcantarillas como de los desagües pluviales, con el fin de evitar que el agua de lluvia (una cantidad muy grande) fluya hacia el alcantarillado y luego hacia la planta de tratamiento y de esa manera mejorar el proceso de remoción de contaminantes establecidos por LMP.

Panca (2016) en su tesis titulado “Evaluación de la operatividad y alternativa de solución de la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Putina”, aduce que la diferencia de temperatura entre aguas residuales y de consumo humano se debe a que el agua potable para consumo humano es contribuida con líquidos calientes en zonas frías y por ende es más caliente, menciona también que las aguas residuales tienen características cualitativas y cuantitativas.

Paricahua (2018) en su investigación tuvo como finalidad evaluar la operatividad de la PTAR de la ciudad de Ayaviri, en el cual, el resultado obtenido fue una comparación entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos frente a los LMP. Para el DBO5 entrada 184,57 mg/l, salida 67,58 mg/l y LMP 100 mg/l, el cual cumple; referente al DQO entrada y salida 420.43 mg/l y 184.57 mg/l respectivamente y cuyo LMP es 200 mg/L, por lo cual cumple; en cuanto a los SST entrada 218,14 mg/l, salida 132,43 mg/l, LMP 150 mg/L, por lo cual cumple; en cuanto a los coliformes termotolerantes en el ingreso se tiene  $1.08E+08$  ml, salida  $1.5E+06$  NMP/100 ml y LMP es  $1.0E+04$ ml, lo que indica que no cumple; en cuanto al PH ingreso 7.42, salida 7.43 y LMP varía de 6.5 a 8.5, que también cumple; por ultimo referente a aceites y grasas se obtuvo para el ingreso 24,25 mg/l, salida 13.56 mg/l, con LMP de 20 mg/l, por lo cual cumplen con los parámetros mencionados en el D.S. N° 003-2010-MINAM; se concluye que todo los parámetros



estudiados cumplen con lo establecido excepcionando a los coliformes termotolerantes, y se planteó una caseta de cloración con la finalidad de solucionar el problema, también concluye que la PTAR evaluada vierte un efluente con tratamiento parcial y cumpliendo con la norma vigente de LMP y ECA.

Mamani (2017) en su investigación tuvo como objetivo evaluar la operatividad exigida y requerida por, en el cual normas básicos para descargar las aguas residuales tratadas en la planta de tratamiento; en el cual de la evaluación se obtuvo, caudal 48,71 l/s, temperatura 10,1 °C, del análisis de laboratorio muestra 265,52 mg/l DBO5 entrada, 240 mg/l DBO5 salida, dimensiones físicas son: longitud espejo de agua 176 m, anchura 52 m, longitud fondo laguna 173,50 m, ancho 48,50 mg/l, profundidad altura 1,50 m, 0.50 de borde libre, con un tiempo de retención hidráulica de 3,16 días, el acumulado de lodos no se ha eliminado desde la puesta en servicio. Con una concentración de DBO5 de 2,5 días de 265,52 mg/l y DQO, el factor K es 2.1 indicó que las aguas residuales de la ciudad de Ilave son. Concluyó también que la PTAR en Ilave descarga aguas residuales parcialmente tratadas que, según la evaluación, no cumplen con los estándares actuales de LMP y ECA.

En su estudio de Andrade (2020) el objetivo general es evaluar la eficiencia de la PTAR del distrito de Macusani de la región de Puno en 2020, en la que llegó la siguiente conclusión: de la evaluación de la PTAR se tiene que cumple con las normativas de LMP y los ECAS en la categoría IV, por lo cual de la eficiencia en remoción de contaminantes no es grave; también concluye que, de los parámetros físico químicos y microbiológicos tales como PH, DBO5, temperatura, DQO, SST, coliformes termotolerantes, aceites y grasas cumplen con los LMP en temporada de sequía y la eficiencia en remoción de DBO5 fue 93.42%, de DQO 94.88%, SST 67.16%, por lo cual la planta de tratamiento



de aguas residuales del distrito Macusani se encuentra operativo con excepción a los coliformes termotolerantes donde la eficiencia en remoción fue de 77.55%.

Apaza (2021) en su tesis evaluó la eficiencia de los tratamientos biológicos de la remoción de contaminantes de la PTAR del distrito de San José – Azángaro, donde se obtuvo una eficiencia de 94.4% de todos los tratamientos biológicos en aceites y grasas, 34.71% en DBO, 34.32% DQO, 2.3% PH, 34.02% SST y 99,11% coliformes termotolerantes, por lo que la PTAR evaluada no está funcionando correctamente y los parámetros del efluente no cumplen con la normativa vigente. También menciona que la remoción de impurezas por la cámara de rejillas tiene una eficiencia de 10.7% en cuanto a aceites y grasas, DBO es 2.76%, DQO es 3.11%, PH es 0.72%, los SST es 18.51% y los coliformes termoestables 57,89%. Concluye también que, al comparar los resultados en el efluente de la PTAR con los ECA, se ve que los parámetros tales como PH, coliformes termotolerantes, aceites y grasas cumplen con lo requerido en el D.S. 004-2017-MINAM, sin embargo, el DBO5 y DQO no cumplen con la normativa.

Según Medrano et al. (2020) en su artículo científico “Operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas circunlacutres al lago Titicaca-sector Perú y el marco legal en defensa de los ecosistemas” dice que el motivo principal de no efectuar mantenimiento: del 100% de los encuestados, el 56.25% coincidieron en indicar que no pueden efectuar mantenimientos a los sistemas de tratamiento, debido a la falta de presupuesto económico, el 43.75% indicó tener otros motivos para no operar en su total capacidad instalada, en la bahía del lago Titicaca.



## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Marco Normativo

#### 2.2.1.1. *Ley N° 28611 Ley General del Ambiente*

Según Ley N.º 28611 manifiesta lo siguiente:

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

31.1 Estándar de Calidad Ambiental - ECA es un porcentaje de la agrupación ya altura de un elemento, entidad ya parámetro físico, fabricado ya estructurado coetáneo en el aire, consumición ya firmé como absorbente. El siniestro planteó un enfermo aviso para la vitalidad humana ya la atmósfera ambiente. Se puede expresar como máximo, mínimo o rango, según la cardinalidad o el orden del parámetro.

31.2 El ECA es obligatorio al redactar reglamentos legales y lineamientos oficiales. Es un estándar vinculante para el desarrollo e implementación de todas las herramientas de gestión ambiental.

31.3 Si el EIA correspondiente concluye que la realización de la actividad constituye una violación no se promulgan normas de calidad ambiental, certificación ambiental establecidas con base en la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

La planificación, compromiso y acondicionamiento ambiental todavía se valorará los estándares ambientales y responsabilizarse compromisos.

31.4 Un órgano judicial o administrativo no utilizara las normas nacionales de calidad ambiental para sancionar a una persona natural o jurídica, a menos que se demuestre un nexo de causalidad entre las actuaciones de la persona natural o jurídica y las infracciones a dichas normas. El incumplimiento está sujeto a sanciones acordes con los compromisos adquiridos tanto por personas físicas como jurídicas, incluidos los descritos en las herramientas de gestión ambiental.



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

32.1 Límite Máximo Permisible - MPC es una medida de la concentración o nivel de un elemento, sustancia o parámetro físico, químico y biológico específico de un agua residual o residual, que, si se excede, causa o puede ser perjudicial para la salud y el bienestar humanos. siendo. presencia y entorno. Su cumplimiento está garantizado por las autoridades competentes de conformidad con la ley. La concentración o nivel se puede expresar como máximo, mínimo o rango, según el parámetro específico al que se refiera.

32.2 El LMP corresponde al nivel de protección ambiental determinado para la fuente específica y el nivel general determinado por el ECA. En la implementación de estas herramientas, Se debe tener cuidado para garantizar que no se exceda la capacidad de carga del ecosistema y que se sigan las reglas pertinentes.

### **2.2.1.2. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM: ECA para Agua**

En el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM (2017) se manifiesta lo siguiente:

#### **Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

Al utilizar ECA para agua, se debe tener en cuenta la siguiente información sobre su tipo:

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

a) Subcategoría D1: Riego de vegetales. El agua es el agua que se utiliza para regar las hortalizas, dependiendo de factores como el tipo de riego del cultivo, el tipo de consumo utilizado (cruda o cocida) y posiblemente el proceso de fabricación o procesamiento. Para productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Abarca la calidad del agua disponible para el riego: cultivos alimentarios vivos (por ejemplo, hortalizas, árboles frutales bajos o plantas similares); Los árboles frutales



o arbustos de regadío cuyos frutos o partes comestibles estén en contacto directo con el agua de riego, aunque sus fustes sean altos; Parques, canchas deportivas, áreas verdes, plantas ornamentales; u otros tipos de agricultura.

- Agua para riego restringido

El agua es agua de calidad adecuada para el riego: Cultivos alimentarios procesados y comestibles (p. ej., frijoles); agua de riego que no esté en contacto con la fruta (si es madera); cultivos utilizados para procesamiento, empaque y/o procesamiento industrial (como trigo, arroz, avena y quinua), cultivos no alimentarios (como algodón) y cultivos forestales, forrajeros, pastos u otros cultivos similares (como maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: El agua potable para animales es adecuada para animales grandes como ganado, caballos y animales pequeños como cerdos, ovejas, cabras, cobayas, pájaros y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Las aguas superficiales naturales se entienden como ecosistemas sensibles, Reservas naturales y/o franjas de amortiguamiento que necesitan protección, reservas naturales y/o franjas de amortiguamiento que necesitan protección.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Comprender los cuerpos de agua estancados de forma natural sin un flujo continuo, incluidos los humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Comprender los cuerpos de agua naturales que fluyen constantemente en una dirección: ríos costeros y de montaña. Comprender estos ríos y sus afluentes, incluidas las pendientes hidrológicas del río Pacífico y el lago Titicaca y las laderas orientales superiores de los Andes por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva.

Comprenda estos ríos y sus afluentes, incluidas las laderas orientales bajas de los Andes, por debajo de los 600 metros sobre el nivel del mar, incluidas las áreas serpenteantes.

**Tabla 1**

*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 o Escala Pt/Co		20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	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 <sup>-</sup> ) <sub>3</sub>	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH) <sub>3</sub>	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	$\geq 5$	$\geq 5$	$\geq 5$	$\geq 4$	$\geq 4$
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 Suspendedos Totales	mg/L	$\leq 25$	$\leq 100$	$\leq 400$	$\leq 100$	$\leq 30$
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 3$	$\Delta 2$	$\Delta 2$
<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



Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
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	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004
		3	3	3		
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,000003	0,000003	0,000003	0,0000036	0,0000036
		8	8	8		
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000003	0,000003	0,000003	0,0000036	0,0000036
		8	8	8		
Lindano	mg/L	0,000095	0,000095	0,000095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,00	0,001	0,001	0,001	0,001
		1				
<b>Carbamato</b>						



Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0001 5	0,00015
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes	NMP/10	1	2 000	2 000	1 000	2
Termotolerantes	0 ml	000				000

Fuente: Decreto supremo N° 004-2017-MINAM

### 2.2.1.3. Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

En el DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM (2010) se manifiesta lo siguiente:

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

3.1 La LMP de las plantas de tratamiento de aguas residuales a que se refiere la presente norma rige y es de cumplimiento obligatorio a partir de la fecha de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 El LMP aprobado Este reglamento no se aplica a las plantas de tratamiento de aguas residuales sometidas a pretratamiento avanzado o tratamiento primario y sean sometidas a disposición final por descarga al lecho marino.

3.3. Los propietarios de las plantas de tratamiento de aguas residuales que operen al momento de la emisión del presente decreto supremo y que aún no hayan obtenido un certificado ambiental, estarán autorizados por un máximo de dos (02) años a partir de la fecha de emisión del presente decreto supremo, presentando su adecuación y Plan de Gestión Ambiental; autoridad que determinará las condiciones de adecuación correspondientes.

3.4 Los propietarios de plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentren operando a la fecha de publicación del presente decreto supremo y hayan obtenido la certificación ambiental, tendrán un plazo máximo de tres (03) años con el

Ministerio de Vivienda a partir de la fecha de publicación del presente decreto supremo, construcción. Saneamiento, restablecimiento ambiental plan de manejo ambiental para estudio; la autoridad que determina los períodos de ajuste apropiados.

**Tabla 2**

*Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua</b>
Aceites y grasas	ml/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Solidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

*Fuente:* Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

#### **2.2.1.4. Reglamento Nacional de Edificaciones**

En la norma OS.090 (2021) manifiesta lo siguiente:

#### **4. DISPOSICIONES GENERALES**

#### **4.2 ORIENTACIÓN BÁSICA PARA EL DISEÑO**

4.2.6 De acuerdo al tamaño e importancia del sistema de tratamiento, deberá considerarse infraestructura complementaria: casetas de vigilancia, almacén, laboratorio, vivienda del operador y otras instalaciones que señale el organismo competente. Estas instalaciones serán obligatorias para aquellos sistemas de tratamiento diseñados para una población igual o mayor de 25000 habitantes y otras de menor tamaño que el organismo competente considere de importancia.



## 5.5 TRATAMIENTO SECUNDARIO

### 5.5.1 GENERALIDADES

5.5.1.1 Para efectos de la presente norma de diseño se considerarán como tratamiento secundario los procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor a 80%, pudiendo ser de biomasa en suspensión o biomasa adherida, e incluye los siguientes sistemas: lagunas de estabilización, lodos activados (incluidas las zanjas de oxidación y otras variantes), filtros biológicos y módulos rotatorios de contacto.

#### 5.5.2.6 Normas generales para el diseño de sistemas de lagunas

f) Se deben considerar las siguientes instalaciones adicionales:

Laboratorio de análisis de aguas residuales para el control de los procesos de tratamiento, para ciudades con más de 75000 habitantes y otras de menor tamaño que el organismo competente considere necesario.

### 2.2.2. Aguas Residuales

En general, se consideran aguas residuales domésticas (ARD) los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denomina aguas residuales municipales los líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal, y se llaman aguas residuales industriales las aguas residuales provenientes de las descargas industriales de manufactura. También se acostumbra denominar aguas negras a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. (Romero, 2010).

Para Trapote (2013), “son las aguas recogidas en las aglomeraciones urbanas, procedentes de los vertidos de la actividad humana doméstica (aguas residuales

domésticas) o la mezcla de éstas con las procedentes de actividades comerciales, industriales y agrarias integradas en el núcleo urbano, así como las aguas de lluvia”.

### 2.2.3. Tipos de Aguas Residuales

Según Suarez (2011) de manera general presenta los tipos de agua residual.

**Tabla 3**

*Tipos de agua residual*

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

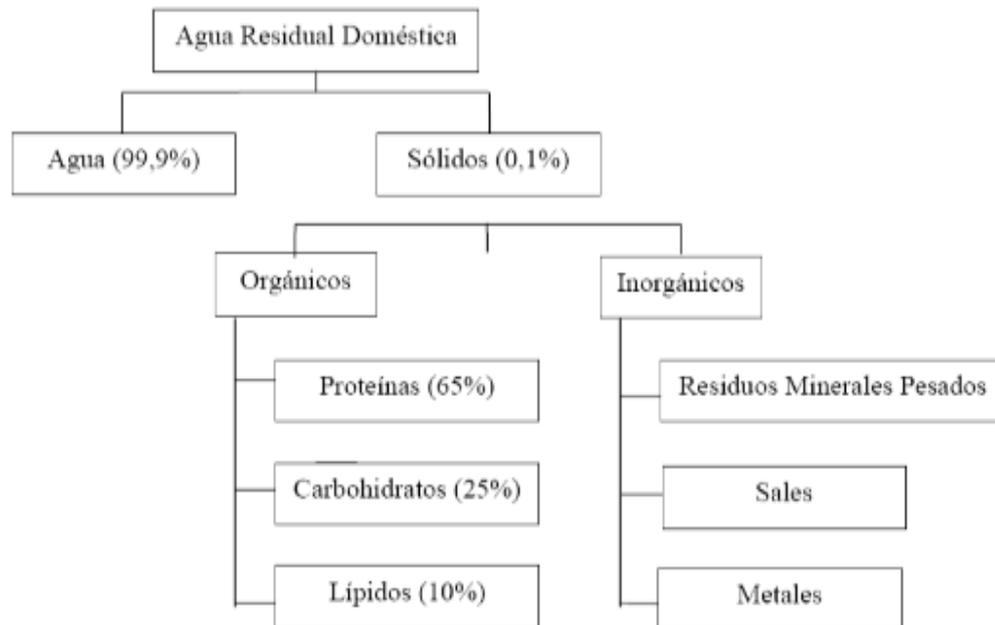
*Fuente:* (Suarez, 2011).

### 2.2.4. Composición de las Aguas Residuales

ARD consta de 99,9% agua y 0,1% sólidos, de los cuales el 70% es materia orgánica y el 30% es material inorgánico como arena, sal y metales, este 0,1% debe ser tratado en plantas de tratamiento de aguas residuales. La composición de las aguas residuales depende de la aplicación y depende, entre otras cosas, de las características socioeconómicas de la población, así como del clima, la cultura y el uso del suelo. Composición de las aguas residuales. (Von & Lemos, 2005).

**Figura 1**

*Composición de aguas residuales*



*Nota: Tomado de (Suarez, 2011).*

Alrededor del 65% de los sólidos contienen proteínas como albúmina, globulina y enzimas de actividades industriales o microorganismos en las aguas residuales. La cantidad de carbohidratos depende de la cultura local (los tipos más comunes son azúcar, sacarosa, almidón y celulosa). Las grasas animales y vegetales constituyen un tercio de la dieta. (Suarez, 2011).

En la tabla 4 se presentan los principales constituyentes de preocupación en el tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 4**

*Constituyentes de preocupación en el tratamiento de aguas residuales*

<b>Componente</b>	<b>Motivo de importancia</b>
Sólidos suspendidos	Los sólidos en suspensión pueden conducir al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaeróbicas cuando se descargan aguas residuales sin tratar en el medio acuático.
Orgánicos biodegradables	Compuestos principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, los orgánicos biodegradables se miden más comúnmente en términos de DBO (demanda bioquímica de



Componente	Motivo de importancia
Patógenos	Las enfermedades transmisibles pueden ser transmitidas por los organismos patógenos que pueden estar presentes en las aguas residuales
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten en el medio ambiente acuático, estos nutrientes pueden dar lugar al crecimiento de vida acuática indeseable. cuando se descargan en cantidades excesivas en la tierra, también pueden conducir a la contaminación de las aguas subterráneas
Contaminantes prioritarios	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en base a su conocida o sospechada carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o alta toxicidad aguda. muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales
Orgánicos refractarios	Estos compuestos orgánicos tienden a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. los ejemplos típicos incluyen surfactantes, fenoles y pesticidas agrícolas
Metales pesados	Los metales pesados generalmente se agregan a las aguas residuales de las actividades comerciales e industriales y es posible que deban eliminarse si las aguas residuales se van a reutilizar.
Inorgánicos disueltos	Los componentes inorgánicos como el calcio, el sodio y el azufre se agregan al suministro de agua doméstico original como resultado del uso del agua y es posible que deban eliminarse si se van a reutilizar las aguas residuales.

*Fuente:* (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

## 2.2.5. Características Principales de las Aguas Residuales

### 2.2.5.1. Características físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad. (Tchobanoglous & Burton, 1998).

#### 2.2.5.1.1. Sólidos

Las aguas residuales contienen una variedad de materiales sólidos que van desde trapos hasta material coloidal. En la caracterización de aguas residuales, el material

grueso generalmente se elimina antes de que la muestra se analice en busca de sólidos.

Las diversas clasificaciones de sólidos se identifican en la tabla siguiente.

(Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003).

**Tabla 5**

*Definiciones de sólidos que se encuentran en las aguas residuales*

<b>Prueba</b>	<b>Descripción</b>
Sólidos totales (ST)	El residuo que queda después de que una muestra de agua residual se haya evaporado y secado a una temperatura específica (103 a 105 °C)
Sólidos volátiles totales (SVT)	aquellos sólidos que pueden volatilizarse y quemarse cuando se encienden los ST (500 ± 50 °C)
Sólidos fijos totales (SFT)	Los residuos que quedan después de ST se encienden (500 ± 50°C)
Sólidos totalmente suspendidos (SST)	Parte del retenido en un filtro con un tamaño específico, medido después de ser secado a una temperatura específica (105 °C). el filtro que se usa más comúnmente para la determinación de datos de SST es el filtro de fibra de vidrio Whatman, que tiene un tamaño nominal de aproximadamente 1,58 µm.
Sólidos volátiles en suspensión (SSV)	Aquellos sólidos que pueden volatilizarse y quemarse cuando se encienden las SST (500 ± 50 °C)
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	El residuo que queda después de que se encienden las SST (500 ± 50 °C)
Sólidos disueltos totales (SDT)	Esos sólidos que pasan a través del filtro y luego se evaporan y se secan a la temperatura especificada. Cabe señalar que lo que se mide como SDT se compone de sólidos coloidales y disueltos. Los coloides suelen estar en el rango de tamaño de 0,001 a 1 µm
Sólidos disueltos volátiles totales (SDV)	Aquellos sólidos que pueden volatilizarse y quemarse cuando se encienden los SDT (500 ± 50 °C)
Sólidos disueltos fijos (SDF)	EL residuo que queda después de que se encienden los SDT (500 ± 50 °C)
Sólidos sedimentables	Sólidos en suspensión, expresados en mililitros por litro, que se asentarán en suspensión dentro de un período de tiempo específico

*Fuente:* (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003)

#### **2.2.5.1.2. Turbidez**

Presencia de materias en suspensión, arcilla, limos, coloides orgánicos, plancton y organismos microscópicos da lugar a la turbidez en un agua. Estas partículas (de



dimensiones variables desde 10 mm hasta 0,1 mm) se pueden asociarse a tres categorías: minerales, partículas orgánicas húmicas y partículas filamentosas. Las primeras provienen de la erosión de suelos y rocas, suelen estar revestidas de restos orgánicos, y conforman la mayor fracción de las materias en suspensión de la mayoría de las aguas. Los aportes de aguas turbias de escorrentía por lluvias, ricas en materias minerales causan aumentos de turbidez en aguas de ríos y embalses, así como las algas en época de su floración. En aguas naturales, la turbidez evoluciona pareja a la del aporte de aguas de escorrentías al medio, a su vez provocada por las lluvias, especialmente, si éstas son torrenciales o se producen en terrenos susceptibles de fácil erosión. La turbidez se reduce con la sedimentación natural. En embalses y lagos, el período de mezcla presenta alta turbidez en toda la columna de agua, mientras durante la estratificación térmica las aguas superficiales presentan baja turbidez que va incrementándose con la profundidad del agua. Respecto a la transparencia, medida utilizada en estudios limnológicos, está afectada por las floraciones algales en la masa de agua. Los valores de transparencia en lagos y embalses de nuestras latitudes suelen oscilar entre 1 y 5 m. (Marín, 2008).

#### **2.2.5.1.3. Color**

Las aguas residuales domésticas frescas son generalmente de color gris y a medida que el agua envejece cambia a color gris oscuro y luego a negro. El color negro de las aguas residuales sépticas es producido principalmente por la formación de sulfuros metálicos. El color en aguas residuales industriales se puede indicar el origen de la polución, así como el buen estado de deterioro de los procesos de tratamiento. Entre los residuos industriales de color fuerte se tienen los de la industria colorante de textiles y los de pulpa papel. (Romero, 2010).



#### **2.2.5.1.4. Olor**

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento. La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales. (Da Cámara et al, 2014).

Las aguas residuales frescas tienen un olor característico desagradable, mientras que las aguas residuales sépticas tienen un olor muy ofensivo, generalmente producido por H<sub>2</sub>S proveniente de la descomposición anaeróbica de los sulfatos o sulfuros. Las aguas residuales industriales tienen, a veces, olores característicos específicos del proceso industrial del cual provienen. Los olores de las aguas residuales constituyen una de las principales objeciones ambientales y control en plantas de tratamiento es muy importante. Entre los problemas atribuibles a los olores ofensivos se señalan pérdida del apetito por alimentos, menor consumo de agua, dificultades respiratorias, náusea, vómito, perturbaciones mentales, deterioro de las relaciones humanas, pérdida del orgullo comunitario y nivel de social, pérdida del valor de la propiedad y del potencial de su desarrollo. (Romero, 2010).

#### **2.2.5.1.5. Temperatura**

Parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como el método de



disposición final. En general, las aguas residuales son más cálidas que las de abastecimiento y, en aguas de enfriamiento, la polución térmica es significativa. La temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de actividad bacterial. La tasa de sedimentación de sólidos de en aguas cálidas es mayor que en aguas frías, por el cambio de viscosidad del agua. En general los tiempos de retención para tratamientos biológico disminuyen a mayor temperatura y los parámetros de diseño son función de ella. Como el calor específico del agua es mayor que el aire, la temperatura del agua residual es mayor que la temperatura ambiente en periodos fríos y menor que la temperatura ambiental en períodos cálidos. La temperatura óptima para la actividad bacterial es de 25 °C a 35 °C. La digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50 °C. Cuando la temperatura es menor de 15 °C la digestión metanogénica es muy lenta, y a temperatura de 5 °C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar. (Romero, 2010).

#### **2.2.5.1.6. Densidad**

La densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en kg/m<sup>3</sup>. Es una característica física importante del agua residual dado que ella depende la potencial de formación de corrientes de densidad de fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad de las aguas residuales domesticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura. En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual y la densidad del agua. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico, dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual. (Tchobanoglous & Burton, 1998).



## **2.2.5.2. Características Químicas**

### **2.2.5.2.1. PH**

Es la medida de concentración de ion hidrogeno en el agua, expresada como el algoritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno. Aguas residuales en concentración adversa del ion hidrogeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptores y eventualmente son fatales para los microorganismos. Aguas con pH menor de seis, en tratamiento biológico, favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias. A pH alto la forma predominante del nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa no iónica ( $\text{NH}_3$ ), la cual es tóxica, pero también removible mediante arrastre con aire, especialmente a pH de 10.5 a 11.5. El calor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede ser muy restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6.5 a 8.5. (Romero, 2010).

### **2.2.5.2.2. Nitrógeno**

Nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Las formas de interés en aguas residuales son las de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos. Todas son formas interconvertibles bioquímicamente y componentes del ciclo del nitrógeno. Se denominan NTK nitrógeno total Kjeldhal, al nitrógeno orgánico más el nitrógeno amoniacal. Los datos del nitrógeno son necesarios para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por tratamientos biológicos; un agua residual con contenido insuficiente de nitrógeno puede requerir la adicción de nitrógeno para su adecuada biodescomposición. En otros casos, cuando se exige control de eutrofización de las fuentes receptoras, la remoción de nitrógeno, en el agua residual, puede ser una condición de tratamiento. (Romero, 2010).



#### **2.2.5.2.3. Fósforo**

El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas residuales superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existen mucho interés en limitar la cantidad de compuesto de fosforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales, y a través de las escorrentías naturales. Como por ejemplo podemos citar el caso de aguas residuales municipales, cuyo contenido de fosforo como P puede variar entre 4 y 15 mg/l. (Tchobanoglous & Burton, 1998).

#### **2.2.5.2.4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aeróbica. La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de tres tipos de materia: (1) materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos; (2) nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoniac, y en general compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas (Nitrosomonas y Nitrobacter); y (3) compuestos químicos reductores (ion ferroso, sulfitos, sulfuros, que se oxidan por oxígeno disuelto). (Ramalho, 2021).

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. Cuando se refiere a la DBO necesaria para oxidar todo el material orgánico carbonácea biodegradable, se denomina demanda bioquímica ultima de oxígeno carbonácea (DBOUC). En condiciones normales de laboratorio, esta demanda se cuantifica a 20 °C, el ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO, con los valores



numéricos expresado en mg/L - O<sub>2</sub>. La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras. (Romero, 2010).

#### **2.2.5.2.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata. Compuestos inorgánicos que interfieren en el ensayo, como los cloruros, pueden causar resultados erróneos de DBO. La interferencia por cloruros se elimina agrando sulfato mercúrico para formar H<sub>g</sub>CL<sub>2</sub> y prevenir el consumo de dicromato por el ión cloruro. La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en solo unas tres horas. (Romero, 2010)

La demanda química de oxígeno (DQO) corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido. Teniendo en cuenta que la oxidación que se lleve a cabo en un laboratorio de ensayos o de análisis de DQO no corresponde con la estequiométrica el valor de la DQO no debe esperarse que sea igual al de la DTeO. (Ramalho, 2021).



#### **2.2.5.2.6. Aceites y Grasas**

El término grasa, de uso extendido, engloba las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. El contenido de grasa se determina por extracción de la muestra con triclorotrifluoroetano, debido a que la grasa es soluble en él. También es posible la extracción de otras sustancias, principalmente aceites minerales como el keroseno, aceites lubricantes y aceites de materiales bituminosos empleados en la construcción de firmes de carreteras.

Las grasas y aceites animales alcanzan las aguas residuales en forma de mantequilla, manteca de cerdo, margarina y aceites y grasas vegetales. Las grasas provienen habitualmente de carnes, gérmenes de cereales, semillas, nueces y ciertas frutas. (Tchobanoglous & Burton, 1998)

#### **2.2.5.3. Características Biológicas**

Según Tchobanoglous y Burton (1998) argumenta que:

Los ingenieros ambientales deben saber: (1) Los principales grupos microbianos presentes en aguas superficiales y aguas residuales que están involucradas en el tratamiento biológico. Los ingenieros ambientales deben ser conscientes de estos grupos. (2) los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales; (3) los organismos utilizados como indicadores de contaminantes y su importancia; (4) el método de identificación de organismos indicadores; y (5) la técnica utilizada para evaluar la toxicidad del agua tratada.

##### **2.2.5.3.1. Microorganismos**

Para Tchobanoglous y Burton (1998) los principales grupos de microorganismos que se encuentran en las aguas residuales y superficiales se han dividido en eucariotas, arqueas y arqueas, como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6***Clasificación de los microorganismos*

<b>Grupo</b>	<b>Estructura Celular</b>	<b>Caracterización</b>	<b>Miembros representativos</b>
Eucariotas	Eucariota	Multicelular, con gran diferenciación y tejido. Unicelular o coenocítica o micelial; con escasa o nula diferenciación de tejidos.	Plantas (plantas de semilla, musgos, helechos). Animales (vertebrados e invertebrados). Protistas (algas, hongos, protozoos).
Eubacterias	Procariota	Química celular parecida a las eucariotas.	La mayoría de las bacterias.
Arqueobacterias	Procariota	Química celular distintiva.	Metanógenos, halófilos, termacidofilos.

*Fuente:* (Tchobanoglous & Burton, 1998)

**2.2.5.3.2. Organismos Patógenos**

Tchobanoglous y Burton (1998) define lo siguiente:

Los organismos patógenos que se muestran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son:

**Tabla 7***Agentes infecciosos presentes en el agua residual doméstica bruta*

<b>Organismo</b>	<b>Enfermedad</b>	<b>Comentario</b>
<b>Bacteria</b>		
Escherichia coli (enteropatógena)	Gastroenteritis	Diarrea
Legionella pneumophila	Legionelosis	Enfermedades respiratorias agudas
Leptospira (1.50 esp)	Leptospirosis	Leptospirosis, fiebre (enfermedad de weil)
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea	Fiebre alta, diarrea, úlceras en el intestino
Salmonella (~1.700 esp)	Salmonelosis	Envenenamiento de alimentos
Shigella (4 esp)	Shigelosis	Disentería bacilar
Vibrio cholerae	Colera	Diarreas extremadamente fuertes, deshidratación



<b>Organismo</b>	<b>Enfermedad</b>	<b>Comentario</b>
Yersinia enterolítica	Yersinosis	Diarrea
<b>Virus</b>		
Adenovirus (31 tipos)	Enfermedades respiratorias	
Enterovirus (67 tipos, p.e. polio, eco y virus coxsakie)	Gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis	
Hepatitis A	Hepatitis infecciosa	Leptospirosis, fiebre
Agente Norwalk reovirus	Gastroenteritis	Vómitos
rotavirus	Gastroenteritis	
<b>Protozoos</b>		
Balantidium coli	Balantidiasis	Diarrea, disentería
cryptosporidium	Criptosporidiosis	Diarrea
Entamoeba histolytica	Amebiasis (disenteria amébrica)	Diarreas prolongadas con sangre, absesos en el hígado y en el intestino delgado
Gladiá lamblia	Giardiasis	Diarrea, náuseas, indigestión
<b>Helmintos</b>		
Áscaris lumbricoides	Ascariasis	Infección de gusanos
Enterobius viricularis	Enterobiasis	Gusanos
Fasciola hepática	Fascioliasis	Gusanos (tercera)
Hymenolopis nana	Hymenlepiasis	Tenia enana
Taenia saginata	Teniasis	Tenia (buey)
T. solium	Teniasis	Tenia (cerdo)
Trichuris trichiura	Trichuriasis	Gusano

*Fuente:* (Tchobanoglous & Burton, 1998)

### 2.2.6. Tratamiento de las Aguas Residuales

Según Rojas (2002) afirma que:

Por motivos de practicidad y por la costumbre existente en Latinoamérica y el Caribe, en el presente documento se definirán las etapas de tratamiento de la manera siguiente:

- Tratamiento preliminar.
- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Tratamiento avanzado o terciario.
- Desinfección.



- Disposición de lodos.

El tratamiento de aguas residuales se suele clasificar según los siguientes niveles y que se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8**

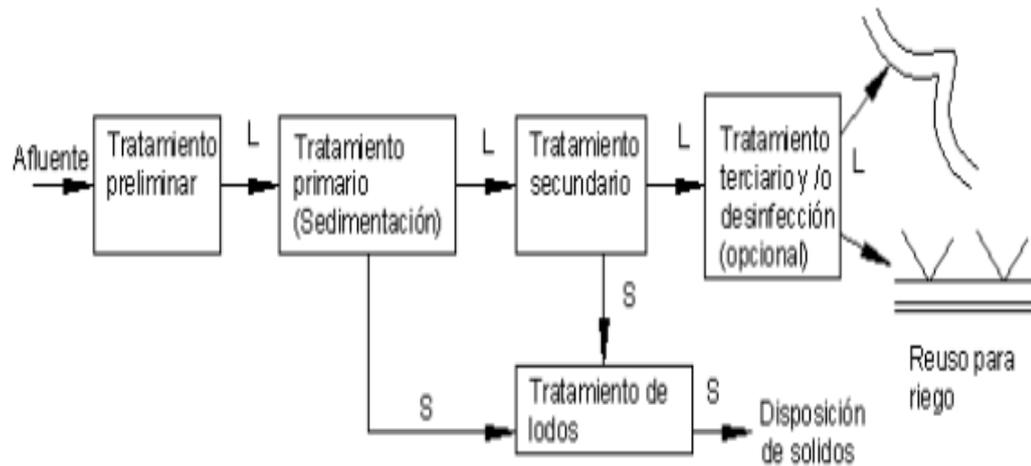
*Niveles de tratamiento de agua residual*

<b>Niveles</b>	<b>Eliminación</b>
Preliminar	Sólidos en suspensión gruesos (material más grande y arena)
Primario	Sólidos en suspensión sedimentables. Partículas (suspendidas) DBO (asociadas al componente de materia orgánica de los sólidos en suspensión sedimentables)
Secundario	Partículas (suspendidas) DBO (asociado a la materia orgánica particulada presente en las aguas residuales crudas, o a la materia orgánica particulada no sedimentable, no removida en el tratamiento primario posiblemente existente) DBO soluble (asociado a la materia orgánica en forma de sólidos disueltos)
Terciario	Nutrientes Organismos patógenos Compuestos no biodegradables Metales Sólidos inorgánicos disueltos Restos de sólidos en suspensión

*Fuente:* (Von & Lemos, 2005)

**Figura 2**

*Componentes básicos de tratamiento de aguas residuales*



*Nota:* S = Porción Sólido, Porción Líquida; tomado de (Ayala & Gonzales, 2008)

**Tabla 9**

*Unidades de tratamiento de aguas residuales*

Clasificación	Unidad de tratamiento	Descripción
Tratamiento preliminar o pretratamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rejas</li> <li>• Desarenador</li> </ul>	Es el conjunto de unidades que tiene como finalidad de eliminar materiales gruesos, que podrían perjudicar el sistema de conducción de la planta.
Tratamiento primario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanque séptico</li> <li>• Tanque Imhoff</li> </ul>	La finalidad es de remover sólidos suspendidos removibles por medio de sedimentación, filtración, flotación y precipitación.
Tratamiento secundario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactor UASB</li> <li>• Lagunas de estabilización</li> <li>• Lodo activado convencional</li> <li>• Filtro percolador</li> <li>• Humedales</li> <li>• Filtro anaerobio</li> <li>• Zanja de oxidación               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biodisco</li> </ul> </li> </ul>	La finalidad es de remover material orgánico y en suspensión. Se utiliza procesos biológicos aprovechando la acción de microorganismos, que en su proceso de alimentación degradan la materia orgánica. La presencia o ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual, define dos grandes grupos o procesos de actividad biológica, los aerobios (en presencia de oxígeno) y los anaerobios (en ausencia de oxígeno).
Tratamiento terciario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microcribado</li> <li>• Coagulación-floculación</li> <li>• Filtros rápidos</li> </ul>	Es el grado de tratamiento necesario para alcanzar una calidad físicoquímica



Clasificación	Unidad de tratamiento	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adsorción Oxidación química               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrodiálisis</li> <li>• Intercambio iónico</li> </ul> </li> <li>• Precipitación química               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrificación-desnitrificación</li> </ul> </li> <li>• Precipitación con cal               <ul style="list-style-type: none"> <li>• etc.</li> </ul> </li> </ul>	<p>biológica alto para cuerpos de agua receptores sensitivos o ciertos tipos de reuso. Normalmente se trata de remover nutrientes (nitrógeno y fosforo) del agua, porque estos estimulan el crecimiento de las plantas acuáticas.</p>
Desinfección	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Físicos: Filtración, ebullición, rayos ultravioletas.</li> <li>Químicos: Aplicación de cloro, bromo, yodo, ozono, etc.</li> </ul>	Es el tratamiento adicional para remover patógenos.
Tratamiento de lodos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digestión anaerobia</li> <li>• Tratamiento con cal               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compostaje</li> <li>• Patio de secar</li> </ul> </li> </ul>	Es el tratamiento de la porción “sólida” (actualmente, más de 80 % agua) removido del agua contaminada. La finalidad del proceso es de secarlo y tratarlo como una combinación de tiempo y temperatura para matar los patógenos.

*Nota:* El Reactor UASB También se puede aplicar como terapia inicial. El tratamiento primario también se puede realizar en estanques de estabilización. (Ayala & Gonzales, 2008).

### 2.2.6.1. *Tratamiento Preliminar*

Destinado a la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales con el objetivo específico de proteger las instalaciones, el funcionamiento de las obras de tratamiento y eliminar o reducir sensiblemente las condiciones indeseables relacionadas principalmente con la apariencia estética de las plantas de tratamiento. (Rojas, 2002).

Lozano (2012) afirma que:

El pretratamiento, aunque no se considera un tratamiento con el que se logre reducir la carga contaminante de los vertidos, si desempeña un papel fundamental en la medida en que elimina elementos que pueden causar descensos en la eficiencia del tratamiento y, quizá lo más importante, protege los equipos, partes y unidades de la



depuradora de daños que pueden resultar funestos para el funcionamiento de la planta y del sistema de evacuación y transporte de aguas residuales, en general. Los objetivos principales de la etapa del pretratamiento, son:

- a) Eliminar material grueso.
- b) Eliminar arenas.

#### **2.2.6.1.1. Rejillas**

En tratamiento de aguas residuales se usan rejillas gruesas, principalmente de barras o varillas de acero, para proteger bombas, válvulas, tuberías y equipos, etc., del taponamiento o interferencia causada por trapos, tarros y objetos grandes. Las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales pueden o no requerir rejillas, según las características de los residuos sólidos. Las partículas suspendidas mayores que 0.64 cm pueden removerse más económicamente mediante cribado que por cualquier otra operación unitaria. Las rejillas finas son, generalmente, del tipo de disco o tambor. (Romero, 2010).

Para Valdez y Vázquez (2003) “El emparrillado de las rejillas, cuya estructura funcional, está inclinado con respecto al piso del canal donde se instalan y puede ser de dos tipos generales: de limpieza manual y de limpieza mecánica”

#### **2.2.6.1.2. Desarenador**

Se ubican después de las rejillas. Cuando es necesario bombear el influente de agua residual se recomienda localizar el cárcamo a continuación de los desarenadores. El propósito de separar la arena del material orgánico susceptible de putrefacción es evitar depósitos de arena en los tanques de aireación, obstrucción de tuberías, desgaste de rastras en sedimentadores, bombas, etc. El equipo mecánico y electromecánico se desgasta con mayor rapidez debido a la arena. Durante la época de lluvias se arrastra gran cantidad de este material, por lo que es necesario que su diseño considere el manejo eficiente del agua



en esta época, ya que es cuando más se requiere de los desarenadores. Se diseñan para separar del agua partículas minerales de hasta 0.2 mm de diámetro; sin embargo, existen restos de alimentos que tienen diámetro grande, con velocidad de sedimentación semejante a la de la arena, por lo que el material extraído del desarenador contiene partículas orgánicas y debe manejarse adecuadamente para prevenir o atenuar el mal olor. (Valdez & Vázquez, 2003).

#### **2.2.6.1.3. Medidor y Repartidor de Caudal**

**Canal Parshall.** Para Valdez y Vázquez (2003) es:

Un tipo de medidor perfeccionado del Venturi, estudiado para el aforo de aguas destinadas al riego agrícola. Es un dispositivo de aforo bastante exacto, aunque no tanto como el medidor Venturi, pero tiene la ventaja de que su costo es menor. El canal Parshall ha sido empleado como dispositivo de medición de gastos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, instalaciones en las que el bajo costo es cuestión de importancia. Ha resultado un medio de aforo satisfactorio y también muy útil para verificar la velocidad en los desarenadores.

Para OS.090 (2021) aduce que el repartidor de caudal:

Debe permitir la distribución del caudal considerando todas sus variaciones, en proporción a la capacidad del proceso inicial de tratamiento para el caso del tratamiento convencional y en proporción a las áreas de las unidades primarias, en el caso de lagunas de estabilización. En general estas facilidades no deben permitir la acumulación de arena.

#### **2.2.6.2. Tratamiento Primario**

Para (Rojas, 2002):

Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. Es decir, el tratamiento primario es capaz de remover no solamente la materia que incomoda, sino también una fracción importante



de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos. Entre los tipos de tratamiento primario se citan:

- Sedimentación primaria.
- Flotación.
- Precipitación química.
- Filtros gruesos.
- Oxidación química.
- Coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga en el tratamiento biológico. Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final. Los procesos del tratamiento primario para las aguas residuales pueden ser: tanques Imhoff, tanques de sedimentación y tanques de flotación. (OS.090, 2021).

#### **2.2.6.2.1. Tanque Imhoff**

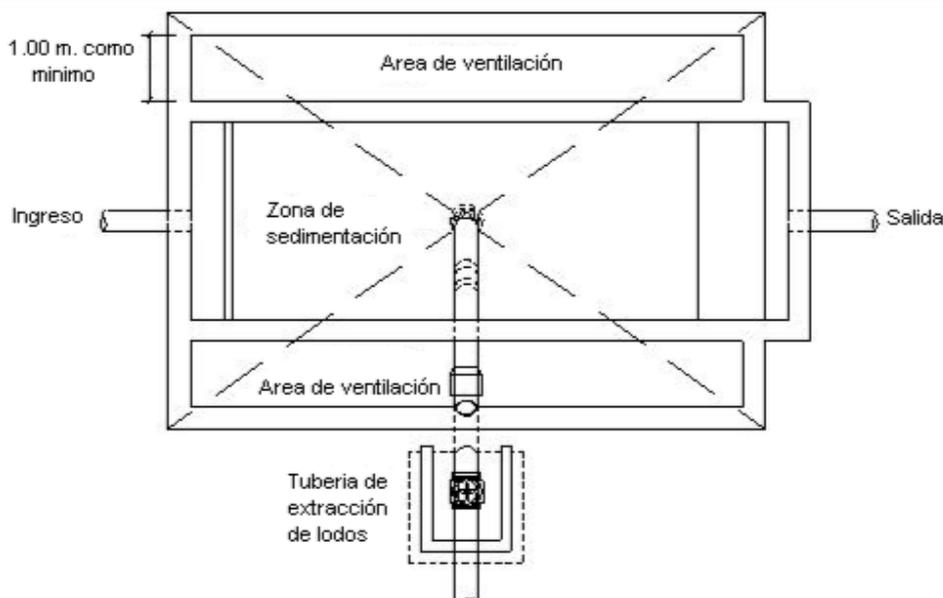
Para Ayala y Gonzales (2008) es una instalación de tratamiento primario con el objetivo de eliminar los sólidos en suspensión. Los tanques Imhoff, también conocidos como tanques dobles porque combinan la sedimentación del agua y la descomposición de lodos en una sola unidad, son ventajosos para el tratamiento de aguas residuales municipales en comunidades de hasta 5000 habitantes. A pesar de que los tanques Imhoff son fáciles de usar y no necesitan componentes mecánicos; requieren un tratamiento preliminar, como cribado y eliminación de arena, antes de que puedan usarse de manera efectiva. Ayudan a reducir la lluvia, lo que los hace particularmente útiles en climas cálidos. Los contenedores Imhoff pueden emitir un olor desagradable, por lo que debe tenerse en cuenta al elegir este dispositivo de tratamiento. Hay tres compartimentos en un tanque Imhoff rectangular típico:

1. Cámara de sedimentación
2. Cámara de digestión de lodos
3. Área para ventilación y acumulación de natas.

En el transcurso de la operación, las aguas residuales pasan por el clarificador donde la mayoría de los sólidos sedimentados son removidos, deslizarse a lo largo de la pared inclinada en la distancia del clarificador y entran al biorreactor a través de las rendijas. Fondo de liquidación. El propósito del recubrimiento es evitar que los gases digestivos o las suspensiones interfieran con el proceso de deposición. Los gases y sólidos flotantes que surgen inevitablemente durante la fermentación son dirigidos al separador de espuma o zona de ventilación. El lodo acumulado en el digestor se bombea habitualmente y se dirige a una capa desecante, donde la humedad se reduce por ósmosis, antes de ser transportado al vertedero o recuperación de suelos. Los tanques Imhoff eliminan el 40-50 % de los sólidos en suspensión y reducen la DBO en un 25-35 %.

### Figura 3

*Vista en planta de un tanque Imhoff*



*Fuente:* (Ayala & Gonzales, 2008)



#### **2.2.6.2.2. *Tanques de Sedimentación***

El objetivo de la sedimentación es remover los residuos sólidos sedimentables y material flotante para disminuir la concentración de sólidos suspendidos. Los sedimentadores primarios empleados como pretratamiento del agua residual, remueven entre el 50% y el 70% de sólidos suspendidos y entre el 25% y 40% de la DBO5.

La sedimentación se clasifica en cuatro tipos a saber: Discreta, floculenta, de zona y de compresión. La primera, conocida también como sedimentación tipo I, se caracteriza por que la sedimentación se realiza en forma individual y sin interferir entre ellas. La teoría que rige este tipo de sedimentación es la Ley de Stokes, aunque la aproximación a través de la relación  $Q/As$  es la más utilizada para aguas residuales.

La sedimentación floculenta o tipo II, se caracteriza por ser una sedimentación de partículas poco concentradas con tendencia a la floculación, por lo tanto; la velocidad de sedimentación de las partículas aumenta con el proceso de sedimentación. Es propio en sedimentadores primarios.

La sedimentación zonal o tipo III, ocurre en concentraciones intermedias de partículas, cuando estas forman al final del proceso de la sedimentación la interface sólida – líquido totalmente definido. Es propio de la sedimentación secundaria. Los parámetros que gobiernan el diseño de este tipo de sedimentación es la carga de sólidos, el caudal, tiempo de detención superficial y la relación  $(QX/As)$ .

La sedimentación de compresión ocurre cuando las partículas están sedimentadas y tienen una estructura de partículas ya formadas. Por lo tanto, puede suceder la sedimentación por compresión. Ocurre en los espesadores y en el fondo de los sedimentadores secundarios siendo su parámetro de diseño el caudal. (Gómez, 2013).

#### **2.2.6.3. *Tratamiento Secundario***

Para Rojas (2002):



La reducción de los compuestos orgánicos presente en el agua residual, acondicionada previamente mediante tratamiento primario, se realiza exclusivamente por procesos biológicos. Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculentos que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Los procesos biológicos más utilizados son los lodos activados y filtros percoladores. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento. Asimismo, dentro de este grupo se incluyen a las lagunas de estabilización y aeradas, así como el tratamiento biológico empleando oxígeno puro y el tratamiento anaeróbico. Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia remocional de la DBO entre el 85% al 95%, y están compuestos por:

(a) Filtración biológica:

- Baja capacidad (filtros clásicos).
- Alta capacidad: Filtros comunes, Biofiltros, Aero-filtros, Accelo-filtros.

(b) Lodos activados:

- Convencional.
- Alta capacidad.
- Contacto estabilización.
- Aeración prolongada.

(c) Lagunas:

- Estabilización: Aerobia, Facultativa, Maduración.
- Aerada: Mezcla completa, Aerada facultativa, Facultativa con aeración mecánica, Difusión de aire.

(d) Otros:



- Anaeróbicos: Contacto, Filtro anaerobio, Reactor anaeróbico de flujo ascendente.

- Oxígeno puro: Unox / linde.

- Discos rotatorios.

#### **2.2.6.3.1. Lodos Activados**

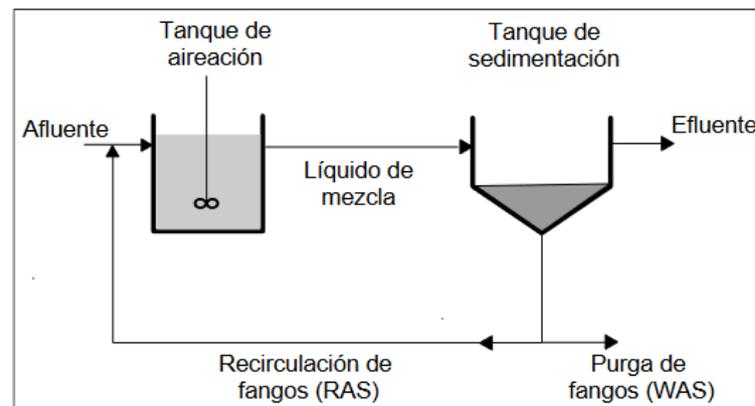
Una planta de lodos activados es un sistema de mezcla completa. Su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo en medio aerobio. Este método está provisto de un sistema de recirculación y eliminación de lodos. El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de aereadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido en estado de mezcla completa. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las antiguas se conduce hasta un tanque de sedimentación para ser separados por sedimentación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recirculan para mantener en el reactor la concentración de células deseadas, mientras que la otra parte se purga del sistema. La fracción purgada corresponde al crecimiento del tejido celular. (Méndez et. al, 2004).

Un reactor de lodos activados mantiene en suspensión a un cultivo microbiano en condiciones aerobias. El proceso hace uso de un sistema de aireación o agitación, el cual suministrará el oxígeno que demandan las bacterias, evitará que haya asentamiento de la biomasa en el reactor y, además, mantendrá homogeneidad del licor mezclado en el tanque. Una vez que la materia orgánica ha sido oxidada, el efluente se envía a un sedimentador o decantador secundario en donde se separará el fango (biomasa) del agua. Parte de esta biomasa decantada es recirculada al reactor con el fin de mantener en él una buena concentración de microorganismos y otra parte se desecha (purga), llevándola a tratamiento de lodos, evitando así acumulaciones excesivas de microorganismos en el

sistema que pueden alterar los tiempos de retención celular. Una de las preguntas recurrentes de los estudiantes es ¿a qué se le llama exactamente “lodo activo”? una respuesta corta y sencilla es que el lodo activo es la suma de la biomasa formada en el reactor y los sólidos suspendidos (materia inerte y compuestos inorgánicos) aportados por el agua residual. Esta mezcla de microorganismos y materia inerte tiene una alta capacidad de absorción de la materia orgánica y por ello se le llama “activo” o “activado”. (Lozano, 2012).

#### Figura 4

*Esquema básico del proceso de lodos activados*



*Fuente:* (Lozano, 2012)

#### 2.2.6.3.2. *Lagunas de Estabilización*

Según Rolim (1999) los estanques estabilizados son la técnica disponible más directa para el tratamiento de aguas residuales. Son construidos mediante excavaciones poco profundas rodeadas de taludes de tierra. Suele ser rectangular o cuadrada. El tratamiento del lago tiene 3 objetivos:

- Eliminación de materia orgánica contaminante de aguas residuales.
- Eliminación de microorganismos patógenos que representen un riesgo grave para la salud.
- Utilizar su fuente para reutilizarlo, para otros fines, como la agricultura.



Las lagunas de estabilización se pueden dividir en cuatro categorías: anaeróbicas, facultativas, maduras y gruesas o altamente aeróbicas.

#### **2.2.6.3.3. Filtros Percoladores**

Para Gómez (2013) corresponde este sistema a proceso aerobio de película bacterial adherida, es decir los microorganismos están adheridos al lecho. Cuentan con una clasificación, es decir pueden de película adherida no sumergida, adherida y crecimiento en suspensión y adherido sumergido. Para el primero el exponente de ellos es el filtro percolador, entre tanto a los segundos; corresponden los biofiltros y los últimos son lechos de crecimiento de flujo ascendente. Los filtros percoladores consisten en hacer pasar el agua a través de un medio granular grande alcanzando tamaños entre 2 y 4 pulgadas. Sin embargo, para mejorar la eficiencia del tratamiento, se han desarrollado medios nuevos de plástico.

En los filtros percoladores se usa comúnmente roca triturada como medio de soporte debido a que es fuerte, durable y químicamente resistente para el crecimiento de la biopelícula. Con tamaño de roca de 50 a 100 mm se consigue un área superficial específica de 50 a 65 m, con porosidades de 40 a 50%. También se utilizan medios de soporte de plástico de formas variadas, con la ventaja de que puede determinarse con precisión el área superficial específica y la porosidad; con los medios de plástico a granel se consigue hasta 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> de área y porosidad de 95%. Además, existen medios de soporte modulares fabricados con madera o plástico. (Valdez & Vázquez, 2003).

#### **2.2.6.3.4. Desinfección**

El último paso del tratamiento secundario del agua residual es la desinfección. El propósito de la desinfección del efluente es destruir cualquier organismo patógeno que pudiera haber sobrevivido al proceso de tratamiento, protegiendo así la salud pública. La remoción de DBO y SST tiene el objetivo de proteger principalmente al ecosistema



acuático. La desinfección del agua residual es particularmente importante cuando el efluente secundario es descargado en un cuerpo receptor usado para nadar o para el consumo humano por una comunidad localizada aguas abajo. En general, el agua residual se desinfecta con cloro. La demanda de cloro del agua residual es mayor que la del agua potable. Se requiere una dosis de aproximadamente 10 mg/l para dejar 0.5 mg/l de cloro combinado residual en el efluente secundario. Un buen desinfectante debe ser tóxico para los microorganismos a concentraciones mucho menores que sus límites de toxicidad para los humanos y animales superiores. Además, debe tener una tasa rápida de eliminación y persistir lo suficiente para evitar que se reproduzcan nuevamente los microorganismos. (Valdez & Vázquez, 2003)

Se emplea para reducir principalmente el contenido de bacterias, virus y quistes amebianos en las aguas residuales tratadas, previo a su disposición final. La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades. La desinfección suele realizarse mediante agentes químicos, físicos, mecánicos y radiación. De ellos el más utilizado es la desinfección química con cloro. (Rojas, 2002).

#### **2.2.6.4. Tratamiento Terciario**

Rojas (2002) manifiesta que:

Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc. Las sustancias o compuestos comúnmente removidos son:

- (a) Fosfatos y nitratos.
- (b) Huevos y quistes de parásitos.
- (c) Sustancias tenso activas.
- (d) Algas.



(e) Bacterias y virus (desinfección).

(f) Radionúclidos.

(g) Sólidos totales y disueltos.

(h) Temperatura.

## **2.3. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.3.1. Tratamiento de Aguas Residuales Mediante Lagunas de Estabilización**

#### **2.3.1.1. Generalidades**

Para Edgardo (2008) el agua residual tratada (previamente sometida al proceso de pretratamiento) pasa a través de una serie de balsas de profundidad decreciente, anaeróbicas y aeróbicas. Después de permanecer varios días en la laguna en lugar de horas con las aguas residuales se descargan después de un tratamiento convencional. Se disponen en serie diferentes tipos de lagunas anaerobias, facultativas y maduras, simulando diferentes escenarios de fenómenos de autodepuración que ocurren en los cauces naturales. Si se descarga material biodegradable en el lecho del río, el oxígeno disuelto en el medio ambiente en el punto de descarga se consumirá más rápido de lo que se puede reemplazar, creando así condiciones anaeróbicas con la subsiguiente "muerte" del medio ambiente acuático, el medio ambiente se ve afectado.

Luego del proceso de contaminación, comienza la autolimpieza natural en el cauce relacionada con:

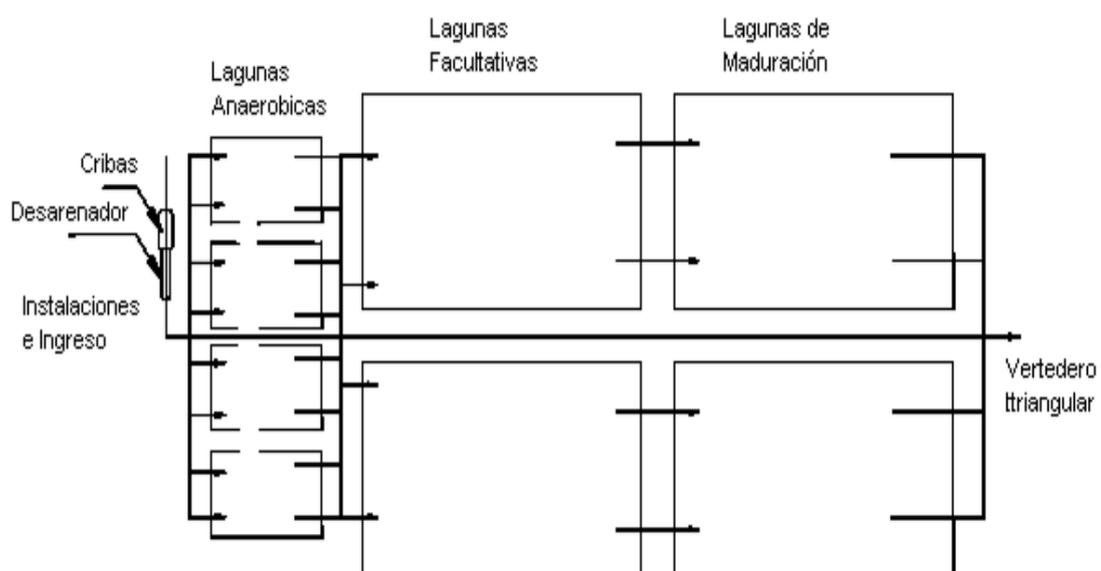
- Procesos físicos: sedimentación, flotación.
- Procesos químicos: neutralización, oxidación.
- Procesos Biológicos: Los microorganismos presentes en el agua y/o transportados a través de las aguas residuales utilizan como sustrato materia orgánica biodegradable, la cual metabolizan y convierten en nueva materia viva.

### 2.3.1.2. Esquema de Funcionamiento de la Depuración Mediante Lagunaje

Para Edgardo (2008) el diseño de operación de la instalación de la laguna es de naturaleza similar al tratamiento convencional, incluido el pretratamiento, el tratamiento primario, el tratamiento secundario y, en cierta medida, el tratamiento terciario. Según el tipo de reacción principal, se pueden distinguir tres tipos de lagunas: anaeróbicas, facultativas y maduras. El objetivo del tratamiento primario, a saber, la eliminación de sedimentables y sustancias líquidas, se consigue en el caso de una laguna en una laguna anaerobia, que se sitúa a la cabeza del tratamiento. El objetivo del tratamiento secundario es reducir la materia orgánica en forma disuelta y coloidal por mecanismos biológicos, utilizando vías aeróbicas en la superficie y vías anaeróbicas en el fondo, que tienen lugar en lagunas facultativas organizadas según la fase anaeróbica. En cuanto al tratamiento terciario en la balsa de maduración ubicada al final del tratamiento, donde prevalecen las condiciones aeróbicas, en el vertido final de las aguas residuales tratadas, este hecho justifica el nombre de esta laguna.

#### Figura 5

*Disposición de las lagunas de estabilización*



Fuente: (Ayala & Gonzales, 2008).



### **2.3.1.3. Clasificación de lagunas de estabilización**

La Iglesia (2016) afirma que:

La presencia de oxígeno disuelto en las lagunas de estabilización determina qué tipo de mecanismos van a ser responsables de la depuración, los estanques de estabilización suelen clasificarse en aerobios, anaerobios y facultativos. Además de esta clasificación básica también se utilizan otras relacionadas con sus características físicas, tales como la profundidad. Ambas clasificaciones están relacionadas, ya que las fuentes de oxígeno disuelto en lagunas son fenómenos de superficie. Estas fuentes de oxígeno son la actividad de las algas microscópicas y la reaireación a través de la interfase aire-agua.

Las lagunas de oxidación o de estabilización se clasifican en:

- Anaerobias.
- Facultativas.
- Aerobias o de maduración.

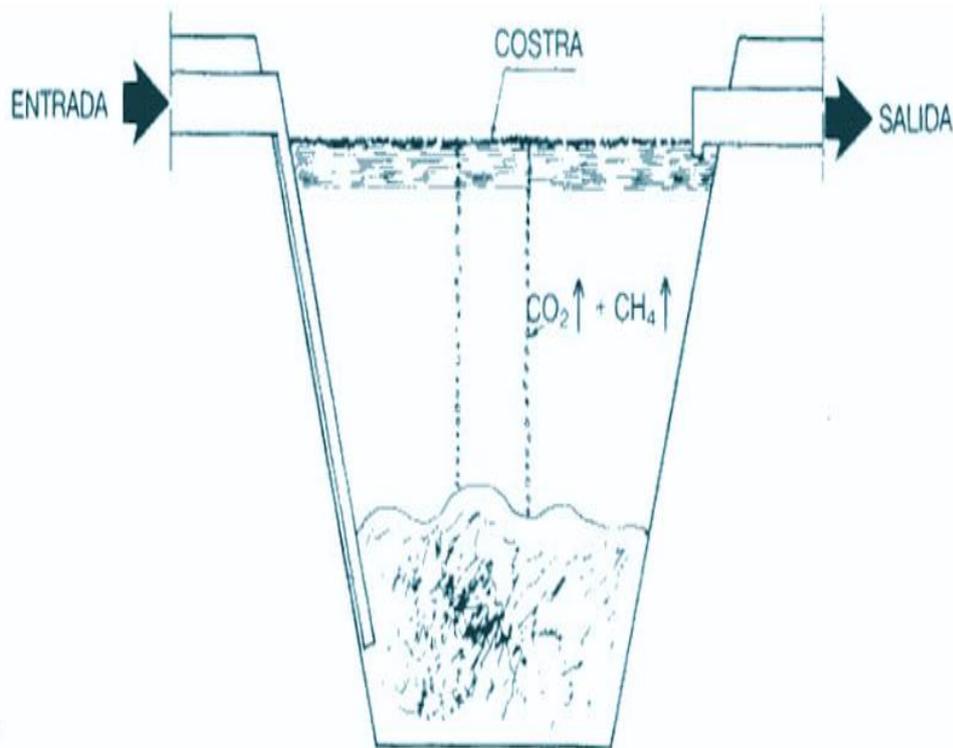
#### **2.3.1.3.1. Lagunas Anaeróbicas**

Son estanques profundos de 2,5 a 5 metros de profundidad en la que se produce la decantación de los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. En el fondo de la laguna tiene lugar la estabilización de la materia orgánica mediante la acción de bacterias anaerobias, que primero transforman la materia orgánica en ácidos volátiles y posteriormente por la acción de las bacterias metanogénicas, en dióxido de carbono, metano, y en sólidos mineralizados. En este tipo de lagunas, como consecuencia de la elevada carga orgánica y corto periodo de retención del agua residual, el contenido en oxígeno disuelto se mantiene muy bajo o nulo durante todo el año. El objetivo perseguido es retener la mayor parte de los sólidos, que pasan a incorporarse a la capa de fangos

acumulados en el fondo, eliminando por consiguiente parte de la materia orgánica. (La Iglesia, 2016).

### Figura 6

*Esquema básico de operación de una laguna anaerobia*



*Fuente:* (Edgardo, 2008).

#### 2.3.1.3.2. *Lagunas Facultativas*

Este tipo de estanque tiene una profundidad media, entre 1 y 2 m y se caracteriza por poseer una zona aerobia próxima a la superficie, y una zona anaerobia en el fondo. La extensión relativa de estas dos zonas varía durante el año en función de la carga aplicada y de la eficacia de los dos mecanismos de adición de oxígeno al medio: la fotosíntesis llevada a cabo por las algas y la reaireación a través de la superficie. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionado principalmente por las algas presentes. (La Iglesia, 2016).



Edgardo (2008) argumenta lo siguiente:

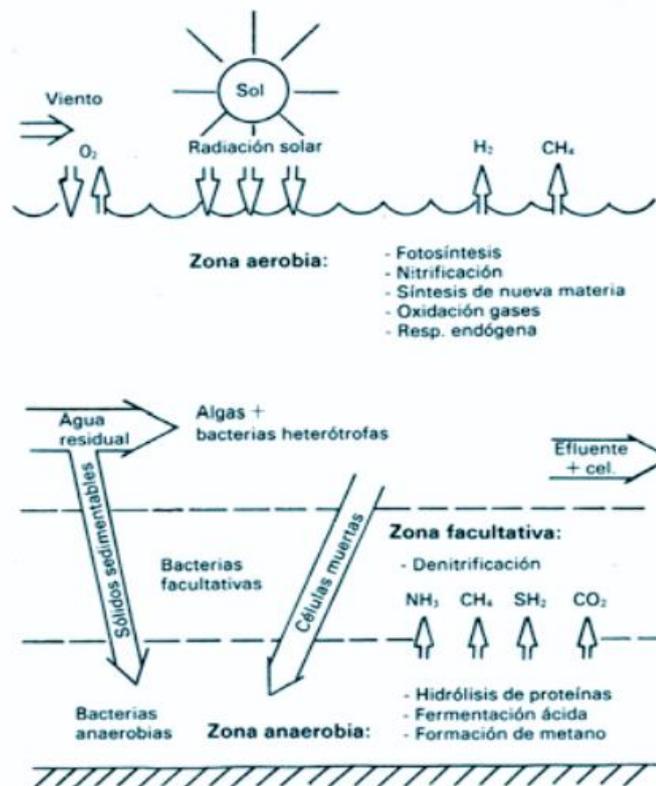
En este tipo de lagunas, con profundidades de 1 a 2 m., se establecen, de forma natural, tres estratos claramente diferenciados:

- En el fondo de estas lagunas, donde se acumulan los sedimentos, se establecen condiciones de anaerobiosis, en las que se dan los fenómenos y reacciones descritos en el anterior apartado.
- En la zona intermedia, en la que se dan condiciones muy variables, se establece una zona en la que predominan las bacterias de tipo facultativo, de las que toman el nombre este tipo de lagunas.
- En la zona superficial de las lagunas, se instauran condiciones aerobias, gracias a la actividad fotosintética de las microalgas que en ella se desarrollan y, en menor medida, a fenómenos de reaireación superficial inducidos por el viento.

El principal objetivo que se persigue en la etapa facultativa es la biodegradación vía aerobia de la materia orgánica presente en las aguas residuales a tratar, gracias al oxígeno aportado, principalmente, por la actividad fotosintética de las microalgas presentes y, en menor medida, por los fenómenos de reaireación superficial.

**Figura 7**

*Esquema de una laguna facultativa*



Fuente: (Edgardo, 2008).

### 2.3.1.3.3. *Lagunas de Maduración*

Para La Iglesia (2016) son estanques de poca profundidad, entre 0'5-1 m, que soportan bajas o nulas cargas orgánicas. La escasa profundidad permite la insolación de la casi totalidad de la capa de agua, proliferando, además de bacterias aerobias protozoos y algas que, mediante la actividad fotosintética, suministran el oxígeno necesario para la acción degradadora de las bacterias aerobias. Además del aporte de oxígeno vía fotosíntesis, se produce también una oxigenación del medio líquido por reaireación superficial. En este tipo de lagunas, debido a la luz ultravioleta procedente de la radiación solar incidente se consigue una elevada eliminación de organismos patógenos, así como la mineralización de los nutrientes orgánicos. La eliminación de patógenos aumenta con el pH de la laguna. La actividad fitoplancton da lugar a un aumento del pH, mientras que



la actividad metabólica de las bacterias genera CO<sub>2</sub> que provoca un descenso en el pH. Como las lagunas de maduración tienen una carga orgánica muy baja, se produce una generación muy escasa de CO<sub>2</sub>. Por otra parte, la actividad fotosintética es muy elevada, incrementándose el pH que se traduce en un medio más desfavorable para la supervivencia de organismos patógenos.

### **2.3.2. Humedales Artificiales**

Los humedales artificiales consisten normalmente en un monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrófitos) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos. El efluente, normalmente después de recibir un pretratamiento, pasa a través del humedal durante el tiempo de retención. El efluente es tratado a través de varios procesos físico-químicos y bacteriológicos. El oxígeno necesario para estos procesos es suministrado por las propias plantas, que forman por fotosíntesis o toman del aire e inyectan hasta la zona radicular. La transferencia de oxígeno hacia la zona radicular por parte de estas plantas acuáticas es un requisito imprescindible para que la eliminación microbiana de algunos contaminantes se realice con eficacia, estimulando además la degradación de materia orgánica y el crecimiento de bacterias nitrificantes. Los mecanismos que tienen lugar para la depuración de contaminantes constituyen una gran variedad de procesos físicos, químicos y biológicos. (de Miguel Beascoechea et al., 2004).

Salas et al. (2014) define los humedales artificiales de la siguiente manera:

Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en la que, de forma controlada, se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales naturales. El carácter artificial de este tipo de humedales viene definido por las siguientes particularidades.



El confinamiento del humedal se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo.

Se emplean sustratos diferentes al terreno original para el enraizamiento de las plantas.

Se eligen las plantas que van a colerizar el humedal.

La depuración de las aguas residuales a tratar se consigue haciéndolas pasar a través de zonas húmedas artificiales, en las que tienen lugar procesos físicos, biológicos y químicos, que conducen a unos efluentes finales depurados.

### **2.3.3. Tratamiento Aerobio**

En la depuración aeróbica, la materia orgánica presente en los vertidos en suspensión, coloidal o en disolución, se oxida por contacto con el oxígeno disuelto en el agua. Cuando la concentración de materia orgánica es de cierta importancia se produce déficit de oxígeno que es necesario aportar si pretendemos que la descomposición aeróbica continúe. (Massa, 1988).

En este tipo de tratamiento se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos. Como el catabolismo oxidativo requiere la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no está presente en las aguas residuales, él requiere ser introducido artificialmente. La forma más conveniente de introducir un oxidante es por la disolución del oxígeno de la atmósfera, utilizando la aireación mecánica, lo que implica altos costos operacionales del sistema de tratamiento. Adicionalmente la mayor parte de la DQO de la materia orgánica es convertida en lodo, que cuenta con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado. (Rodríguez, 2010).

### **2.3.4. Tratamiento Anaerobio**

Es el proceso de fermentación en el cual se degrada el material orgánico y se produce biogás (compuesto) principalmente por metano y dióxido de carbono), se conoce



como digestión anaerobia. Los procesos de digestión anaerobia se pueden llevar a cabo en diferentes lugares en donde se encuentre disponible materia orgánica y el potencial redox sea bajo (en ausencia de oxígeno). Este suele ser el caso de estómagos de rumiantes, pantanos, sedimentos de lagos o lagunas, vertederos municipales, o inclusive alcantarillas municipales. (Amy et al., 2017)

La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido. (Rodríguez, 2010).

### **2.3.5. Eficiencia de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales**

De la Vega (2012) argumenta:

El estimado de eficiencia tiene la finalidad de conocer la cantidad de recursos que emplea cada tipo de PTAR para obtener cada volumen tratado o para la remoción de cada parámetro y se considera la más eficiente a la que emplea menos recursos económicos para producir mayor resultado, la máxima eficiencia corresponde al valor de uno.

Las plantas de tratamiento para que sean eficientes, deben cumplir en lo posible con las siguientes características:

Técnicamente adecuadas

Económicamente viables

No contribuir a la degradación de medio ambiente y

No explotar los recursos naturales

### 2.3.5.1. Remoción de Contaminantes

De la Vega (2012) menciona:

El grado de remoción de contaminantes de un PTAR puede definirse como la reducción porcentual de los parámetros de control especificados en la normatividad vigente. Para determinar cantidad removida de los parámetros de control específicos se considera la relación entre la carga que entra a la planta, o a una unidad de ella, y la correspondiente carga en el flujo de salida.

Para el cálculo del porcentaje de la remoción de contaminantes, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Remoción (\%)} = (\text{Ca} - \text{Ce}) / \text{Ca} \times 100$$

Donde Ca= Concentración afluente y Ce= Concentración del efluente

**Tabla 10**

*Eficiencias de remoción*

Unidades de tratamiento	Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje						
	DBO	DQO	SS	P	N Org	NH <sub>3</sub> -N	Patógenos
Rejilla	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0	Desp.
Lodos activados (convencional)	80-95	80-95	80-90	10-25	15-20	8-15	Desp.
Filtros percoladores							Desp.
▪ alta tasa, roca	65-	60-	60-	8-12	15-50	8-15	
supertasa, plástico	80	80	85	8-12	15-50	8-15	
	65-85	65-85	65-85				
Cloración	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100
Reactores UASB	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	Desp.
Reactores RAP	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	Desp.

Unidades de tratamiento	Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje						
	DBO	DQO	SS	P	N Org	NH <sub>3</sub> - N	Patógenos
Filtros anaerobios	65- 80	60- 80	60- 70	30- 40	---	---	Desp.
Lagunas de oxidación							
▪ Lagunas anaerobias	50- 70	---	20- 60	---	---	---	90-99.99
▪ Lagunas aireadas	80- 95	---	85- 95	30- ---	---	---	90-99.99
▪ Lagunas facultativas	80- 90		63- 75				
Lagunas de maduración	60- 80		85- 95				
Ultravioleta	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100

Fuente: (Romero, 2010).

**Tabla 11**

*Redimientos medios de depuración en función de tipo de tratamiento*

Etapa de depuración	Rendimiento (%)		
	Sólidos en suspensión	DBO <sub>5</sub>	Escherichia coli
Pretratamiento	5 - 15	5 - 10	10 - 25
Tratamientos primarios	40 - 70	25 - 40	25 - 70
Tratamientos secundarios	80 - 90	80 - 85	90 - 98
Tratamientos terciarios	90 - 95	95 - 98	98 - 99

Fuente: (Edgardo, 2008).

**Tabla 12**

*Rendimiento de eliminación de contaminantes en las etapas de lagunajes*

Tipos de lagunas	Sólidos en suspensión	Rendimiento (%)			
		DBO <sub>5</sub>	DQO	N	P
Anaerobias	50 - 65	40 - 50	40 - 50	5 - 10	0 - 5
Facultativas	0 - 70	60 - 80	55 - 75	30 - 60	0 - 30
Maduración	40 - 80	75 - 80	70 - 80	35 - 80	10 - 60

Fuente: (Edgardo, 2008).

### 2.3.6. Operación y Mantenimiento

Romero (2010) afirmó lo siguiente:



Todo sistema de tratamiento de aguas residuales debe estar diseñado de tal manera que, cuando se opera adecuadamente, produzca en forma continua el caudal y calidad de efluente requerido.

Si existen equipos, éstos han de funcionar satisfactoriamente dentro de cualquier rango posible de operación; igualmente, el operador debe estar en capacidad de ajustar la operación a los requerimientos de cada momento. Se tiene que contar con equipos de laboratorio que permitan determinar las características esenciales de operación, hacer los ajustes requeridos y controlar la calidad del efluente.

El sistema de tratamiento debe estar en capacidad de operar continuamente, aún en los casos en que sea necesario sacar de operación un equipo para su mantenimiento o reparación. Esto supone la existencia de dos o más unidades de repuesto o de reserva y la derivación o el aislamiento de los equipos de operación crítica.

Cuando los costos de mano de obra son bajos y relativamente accesibles, se debe preferir un diseño de mano de obra intensiva a uno de automatización. La utilización de equipos automáticos y de controles elaborados requiere técnicos calificados, lo influye en el costo de operación y mantenimiento, así como en la fiabilidad del sistema.

El mantenimiento se define como el arte de mantener los equipos de la planta, las estructuras y todos los accesorios en condiciones adecuadas para prestare los servicios para los cuales fueron propuestos, por lo cual es esencial para lograr una operación eficiente del sistema de tratamiento.

Para asegurar un mantenimiento adecuado se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

La responsabilidad del mantenimiento debe definirse claramente.

La responsabilidad del mantenimiento debe asignarse a personal competente.



Los objetivos del mantenimiento deben definirse con claridad y establecerse en un programa de mantenimiento.

El programa de mantenimiento debe contar con presupuesto adecuado y seguro.

El sistema de tratamiento debe contar con todos los repuestos, herramientas y controles requeridos para su mantenimiento.

El mantenimiento preventivo tiene que planearse y programarse en forma permanente.

Debe existir un registro, computarizado o escrito, de cualquier labor de mantenimiento, que permita controlar el programa correspondiente. Lo ideal sería que los registros de control fueran el mínimo necesario para administrar y ejecutar un programa efectivo de mantenimiento; suficientes para que no se les olvide todo lo que haya que hacer, pero sin que incluyan esfuerzo de dedicación excesiva que desaliente su diligenciamiento actualizado y conduzca a debilitar una actividad vital en la buena marcha del sistema de tratamiento. (p.183)



## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ASPECTOS GENERALES

##### 3.1.1. Ubicación del Área de Estudio

La investigación se llevó a cabo en los siguientes distritos de la región de Puno: Chucuito, Juli, Capachica y Cabana cuya ubicación geográfica se describe a continuación:

**Tabla 13**

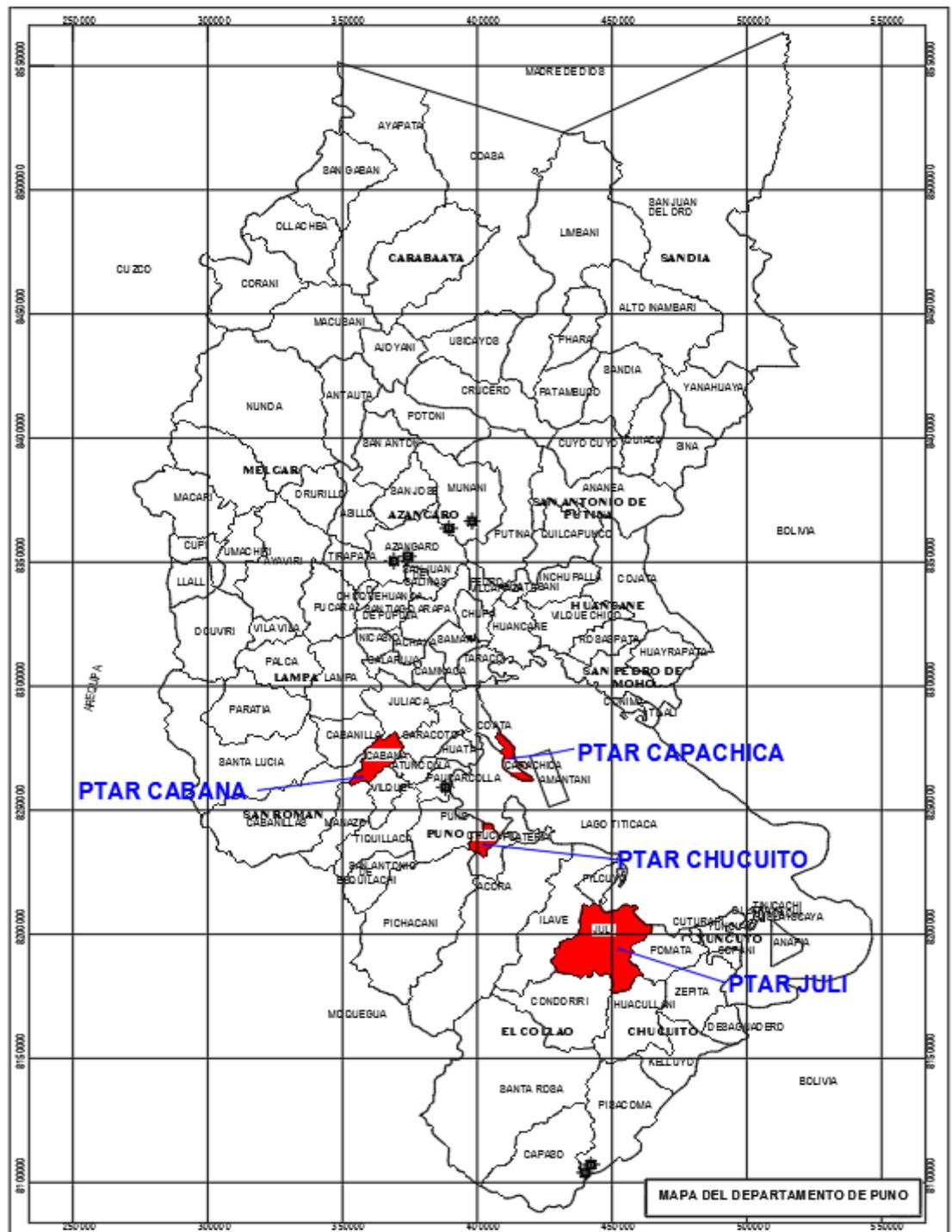
*Ubicación del área de estudio*

Ubicación de PTAR	Ubicación política	Ubicación geográfica
Chucuito	Región : Puno	Latitud : 14°04'07" S
	Provincia : Puno	Longitud : 70°25'53" O
	Distrito : Chucuito	Altitud : 3871 m.s.n.m.
Juli	Región : Puno	Latitud : 16°12'45" S
	Provincia : Chucuito	Longitud : 69°27'37" O
	Distrito : Juli	Altitud : 3888m.s.n.m.
Capachica	Región : Puno	Latitud : 15°38'26" S
	Provincia : Puno	Longitud : 69°49'28" O
	Distrito : Capachica	Altitud : 3860 m.s.n.m.
Cabana	Región : Puno	Latitud : 15°39'02" S
	Provincia : San Román	Longitud : 70°19'14" O
		Altitud : 3901 m.s.n.m.
	Distrito : Cabana	

*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 8**

*Ubicación geográfica de las PTAR evaluadas.*



*Fuente:* Elaboración propia.

### 3.1.2. Accesibilidad a los Distritos de Trabajo

Las vías de acceso a los diferentes distritos que se llevó en la presente investigación son por vía terrestre desde la ciudad de Puno a los diferentes puntos, dado que el transporte es algo limitado porque no hay mucho tránsito de pasajeros, la Tabla 14 muestra el tiempo requerido para llegar a estos distritos desde Puno, que a continuación se detallan:

**Tabla 14**

*Accesibilidad a los distritos de trabajo*

Distrito	Desde	A	Tipo de Vía	Medio de Transporte	Distancia (Km)	Tiempo (Hrs)
Chucuito	Puno	Chucuito	Asfaltada	Vehículo	20	0.33
Juli	Puno	Juli	Asfaltada	Vehículo	83	1.33
Capachica	Puno	Capachica	Asfaltada	Vehículo	62	1.33
Cabana	Puno	Juliaca	Asfaltada	Vehículo	43.2	1.00
	Juliaca	Cabana	Asfaltada	Vehículo	24.0	0.55

*Fuente:* Elaboración propia.

### 3.1.3. Población y Muestra

#### 3.1.3.1. Población

La población objeto de investigación, son las plantas de tratamiento de aguas residuales de la zona altiplánica de la región Puno, es decir, con característica de temperatura y altitud similares.

#### 3.1.3.2. Muestra

Se tomó como tamaño de muestra un total de 04 plantas de tratamiento de aguas residuales (02 con sistema de filtros biológicos y 02 con lagunas de estabilización), las cuales se tomaron teniendo en consideración el tipo de sistema de tratamiento y su funcionamiento; dichas muestras son: Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Capachica y Chucuito que tienen un sistema de filtros biológicos y PTAR del distrito de Cabana y Juli que son por un sistema de lagunas de estabilización.



### **3.1.4. Evaluación de la Infraestructura y su Operatividad de las PTAR**

La evaluación de la infraestructura de las PTAR se realizó con la finalidad de determinar su operatividad y existencia de algún tipo de mantenimiento de parte de la entidad correspondiente.

#### ***3.1.4.1. Evaluación de la PTAR del Distrito de Chucuito***

##### ***3.1.4.1.1. Cámara de Rejas***

El primer elemento de pretratamiento existente en esta PTAR es la cámara de rejas. El elemento responsable de la separación de material grueso, está construido de concreto armado, se ha observado que no tiene revestimiento y el concreto está en contacto directo con aguas residuales, también se visualiza que la simetría requerida de dicha estructura no se mantuvo durante la construcción. La estructura cuenta con una pendiente del 2% el cual favorece a la circulación de las aguas residuales, el espesor promedio de la pared de la cámara es de 31cm. También se observa que las rejillas presentan oxidación debido a los sulfatos contenida en las aguas residuales. La malla está hecha de acero corrugada de 1/2" de diámetro con una inclinación de 60°, también cuenta con un by-pass de 31 cm.

Se observa que se cuenta con una estructura en el que se pueda depositar la materia retenida en las rejillas.

## Figura 9

### *Cámara de rejas de PTAR Chucuito*



*Nota:* En la figura se observa la cámara de rejas en funcionamiento.

#### **3.1.4.1.2. Desarenador**

Esta estructura está encargada de sedimentar los sólidos minerales (arena y otros) que pueda contener el agua residual a tratar, tal como muestran en la imagen, y éstas vienen funcionando, así mismo cuenta con dos unidades en paralelo.

El desarenador, cada una de ellas tiene las siguientes dimensiones

Ancho: 0.50m

Largo: 5.15m

## Figura 10

### *Desarenador de la PTAR Chucuito*



*Nota:* En la figura se observa el desarenador en funcionamiento.

#### **3.1.4.1.3. Medidor Parshall**

La canaleta Parshall es la segunda estructura en la presente PTAR, el cual está encargado de medir el caudal que circula en la PTAR, hecho de concreto armado el cual fue revestido por mortero como se muestra en la figura. Se compone de la sección convergente o entrada, la garganta y la divergencia o salida. Un patrón horizontal en la base y dos paredes verticales simétricas y sección divergente o de salida forman la primera sección de la estructura: En el fondo del desfiladero se presenta una pendiente de 2.67:1, la cual está formada por dos paredes verticales iguales paralelas. La salida está marcada por dos paredes verticales que divergen, con la pared inferior inclinada hacia arriba. Cabe señalar que las paredes y el fondo son planos. La cresta creada por la intersección de la parte inferior de la entrada y la parte inferior de la garganta se denomina cresta del medidor, y su longitud (es decir, la separación entre las paredes de la garganta) se conoce como tamaño del medidor y se denota con la letra  $W$ . Esta figura muestra la ubicación del medidor Parshall.

El caudalímetro Parshall, tiene las siguientes dimensiones

Ancho: 0.40m

Ancho garganta: 0.10m

Largo: 3.00m

### **Figura 11**

*Medidor Parshall de PTAR Chucuito*



*Nota:* En la figura se observa el medidor Parshall.

#### **3.1.4.1.4. Desengrasador**

Este componente se encarga de retener aceites y grasas que pueda contener el agua residual a tratar; el desengrasador tiene las siguientes medidas y es de forma rectangular.

Ancho: 2.15m

Largo: 4m

## Figura 12

### *Desengrasador de PTAR Chucuito*



*Nota:* En la figura se observan los desarenadores primarios.

#### **3.1.4.1.5. Sedimentador Primario**

Luego del pretratamiento, se inicia el tratamiento primario en el lugar donde se encuentran los separadores de lodos, esta estructura se encarga de la remoción de material sedimentable del agua residual.

Los sedimentador primarios son rectangulares y poseen las siguientes dimensiones:

Ancho: 2.15m

Largo: 8m

### Figura 13

*Sedimentador primario de PTAR Chucuito*



*Nota:* En la figura se observan los sedimentadores primarios.

#### 3.1.4.1.6. *Sedimentador Secundario*

Este componente está encargado de separar la biomasa en suspensión; sedimentador secundario es de forma rectangular y tiene las siguientes dimensiones:

Ancho: 3.60m

Largo: 16.15m

### Figura 14

*Sedimentador secundario de PTAR Chucuito*



*Nota:* En la figura se observan los sedimentadores secundarios.

### 3.1.4.1.7. *Filtro de Arena y Grava*

Esta estructura se encarga de quitarle la turbidez; esta estructura es utilizada como un tratamiento primario.

Está formado por tres naves paralelas con grava en su interior que tienen las siguientes medidas:

Nave 1

Ancho: 1.25m

Largo: 16.50m

Nave 2

Ancho: 1.65m

Largo: 16.50m

Nave 3

Ancho: 2.50m

Largo: 16.50m

Altura: 2m

### **Figura 15**

*Filtro de arena y grava de PTAR Chucuito*



*Nota:* En la figura se observan los filtros de arena y grava.

### 3.1.4.1.8. *Filtro Percolador*

Esta estructura se encarga de remover la materia orgánica soluble, el filtro percolador o reactor biológico fue diseñado como un sistema aeróbico, las tuberías sobresalientes del lado lateral del reactor lo demuestran, así como su colmatación de lodos.

Dos reactores biológicos en este centro de tratamiento de aguas residuales tienen las siguientes medidas:

Reactor Biológico 1

Ancho: 5.4m

Largo: 5.8m

Reactor Biológico 2

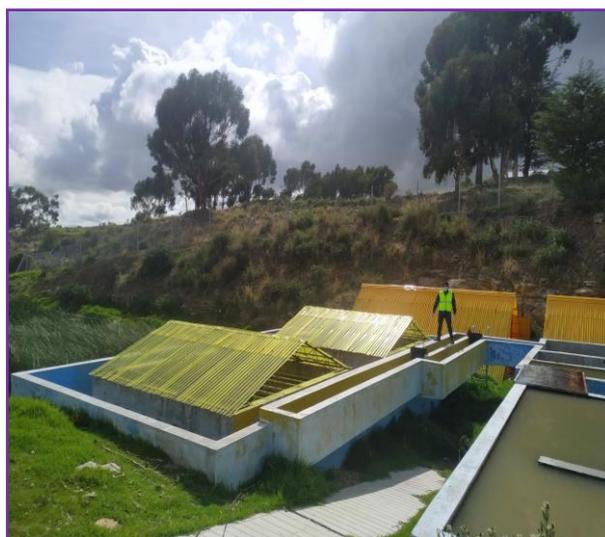
Ancho: 5.4m

Largo: 5.8m

Altura: 2m

### **Figura 16**

*Filtros biológicos de PTAR Chucuito*



*Nota:* En la figura se observan los filtros percoladores.

#### **3.1.4.1.9. Humedales Artificiales**

Los humedales artificiales como se muestra en la imagen cuentan con 6 naves paralelas en las cuales cuenta con totora que es la utilizada para la remoción de nutrientes los cuales puedan contaminar el lago.

Tiene la siguiente dimensión:

Ancho: 3m

Largo: 12m

#### **Figura 17**

*Humedales artificiales de PTAR Chucuito*



*Nota:* En la figura se observan los humedales artificiales.

#### **3.1.4.1.10. Cámara de Contacto**

Esta estructura se encarga de que el agua residual tratada entre en contacto con el cloro, como se muestra en la imagen cuenta con 7 compartimientos instaladas continuamente.

Al momento del monitoreo se pudo observar que no había una estructura que permita la aplicación del cloro, por lo que no funciona, este tratamiento sirve para reducir la carga bacteriana.

Tiene la siguiente dimensión:

Ancho: 0.50m

Largo: 4.50m

### Figura 18

*Cámara de contacto de cloro en PTAR Chucuito*



*Nota:* En la figura se observa la cámara de contacto que no está en operatividad.

#### **3.1.4.1.11. Digestor de Lodos**

La planta en estudio cuenta con dos cámaras de digestor de lodos de las siguientes dimensiones:

Ancho: 5.25m

Largo: 6.95m

## Figura 19

### *Digestor de lodos de PTAR Chucuito*



*Nota:* En la figura se observa los digestores de lodo.

#### **3.1.4.1.12. Lecho de Secado**

La planta en estudio cuenta con dos lechos de secados de las siguientes dimensiones:

Ancho: 5.25m

Largo: 5.25m

## Figura 20

### *Lecho de secado PTAR Chucuito*



*Nota:* En la figura se observa el lecho de secado.

### **3.1.4.2. Evaluación de la PTAR del Distrito de Capachica**

#### **3.1.4.2.1. Cámara de Rejas**

Como parte del pre tratamiento se tiene tres cámaras de rejas que a la vez funciona como desarenador. Componentes responsables de la separación de partículas sólidas y sedimentar partículas sólidas (arenas y otros); esta estructura tiene 4.80 m de largo y 1.20 m de ancho, en la parte inferior de la cámara de rejas tiene una pendiente del 5% y tres rejas.

Cuenta con un lecho de secado de solidos que se retienen en la rejilla.

#### **Figura 21**

##### *Cámara de rejas PTAR Capachica*



*Nota:* En la figura se observa la cámara de rejas.

#### **3.1.4.2.2. Tanque Imhoff**

Después de la etapa de pretratamiento, comienza tratamiento primario lugar donde se encuentran los separadores de lodo, en esta PTAR se utilizó los tanques imhoff, esta estructura se encarga de la remoción de material sedimentable del agua residual.

La medida del tanque imhoff es la siguientes:

Ancho: 7.0m

Largo: 10.0m

Altura: 9m

## Figura 22

*Tanque Imhoff PTAR Capachica*



*Nota:* En la figura se observa el tanque Imhoff.

### 3.1.4.2.3. Medidor Parshall

El medidor Parshall está ubicado después del tanque imhoff, el cual está encargado de medir el caudal que circula en la PTAR. Se compone de la sección convergente o entrada, la garganta y la divergencia o salida. Un patrón horizontal en la base y dos paredes verticales simétricas y sección divergente o de salida forman la primera sección de la estructura: En el fondo del desfiladero se presenta una pendiente de 2.67:1, la cual está formada por dos paredes verticales iguales paralelas. La salida está marcada por dos paredes verticales que divergen, con la pared inferior inclinada hacia arriba. Cabe señalar que las paredes y el fondo son planos. La cresta creada por la intersección de la parte inferior de la entrada y la parte inferior de la garganta se denomina cresta del medidor, y su longitud (es decir, la separación entre las paredes de la garganta)

se conoce como tamaño del medidor y se denota con la letra W. Esta figura muestra la ubicación del medidor Parshall.

El caudalímetro Parshall, tiene las siguientes dimensiones

Ancho: 0.40m

Ancho garganta: 0.10m

Largo: 3.00m

#### **3.1.4.2.4. Filtro Biológico**

Como tratamiento secundario esta PTAR está compuesto por filtros biológicos, este componente se encarga de remover la materia orgánica soluble, los cuatro filtros biológicos de esta PTAR tienen las siguientes medidas:

Ancho: 4.00m

Largo: 7.00m

Altura: 3m

### **Figura 23**

*Filtro percolador PTAR Capachica*



*Nota:* En la figura se observan los filtros biológicos.

### 3.1.4.2.5. *Filtros de Arena*

Se tiene como tratamiento terciario filtros de arena, son unidades de tratamiento biológico y físico, consiste en tratar las aguas residuales mediante la filtración.

#### **Figura 24**

*Filtro de arena Capachica*



*Nota:* En la figura se observan los filtros de arena.

#### **Figura 25**

*Filtro de arena Capachica*



*Nota:* En la figura se observan los filtros de arena.

### **3.1.4.2.6. Cámara de Cloración**

Esta estructura se encarga de que el agua residual tratada entre en contacto con el cloro, como se muestra en la imagen cuenta con 7 compartimientos instaladas continuamente.

Al momento del monitoreo se puede observar que no había una estructura que permita la aplicación del cloro, por lo que no funciona, este tratamiento sirve para reducir la carga bacteriana.

Tiene la siguiente dimensión:

Ancho: 1.50m

Largo: 5.50m

### **Figura 26**

*Cámara de cloración PTAR Capachica*



*Nota:* En la figura se observa la cámara de cloración.

### **3.1.4.3. Evaluación de la PTAR del Distrito de Juli**

#### **3.1.4.3.1. Repartidor de Caudal**

La PTAR dispone de un distribuidor de caudal acondicionado en el buzón de entrega, que cumple la función de distribuidor de caudal.

## Figura 27

### *Repartidos de caudal PTAR Juli*



*Nota:* En la figura se observa el repartidor de caudal.

#### **3.1.4.3.2. *Lagunas Facultativas Primarias***

La laguna de estabilización encargado del proceso de asentamiento de los sólidos, consta de 2 lagunas principales distribuidas en paralelo, impermeabilizado en los costados y en el fondo con material impermeable, con las siguientes características:

- Largo : 80 m.
- Ancho : 26 m.
- Largo de espejo de agua : 76 m.
- Ancho de espejo de agua : 24 m.
- Altura (hasta los lodos sedimentados) : 0.5 m.

Al momento del monitoreo se pudo observar falta de mantenimiento, presencia de vegetación alrededor de las lagunas y lo más importante cada laguna cuenta con una estructura de entrada y de salida simple, por lo que se genera zonas muertas en áreas que no se tiene movimiento por el flujo; como resultado se genera cortos circuitos hidráulicos.

## Figura 28

### *Lagunas de facultativas primarias PTAR Juli*



*Nota:* En la figura se observa 02 las lagunas facultativas primarias en paralelo.

#### **3.1.4.3.3. Lagunas Facultativas Secundarias**

Es el tratamiento secundario de la PTAR, encargado del proceso de descomposición del contenido biológico de las aguas residuales. El cual está compuesto por 2 lagunas secundarias distribuidas en paralelo, está construida en una excavación de tierra en suelo gravo-arenoso, que esta impermeabilizado en los taludes y el fondo, y tiene las siguientes características:

- Largo : 40 m.
- Ancho : 20 m.
- Largo de espejo de agua : 35 m.
- Ancho de espejo de agua : 15 m.
- Talud :  $V/H=1/2$
- Altura (hasta lodos) : 1 m

Al momento del monitoreo se pudo observar falta de mantenimiento, presencia de vegetación alrededor de las lagunas y lo más importante cada laguna cuenta con una estructura de entrada y de salida simple, por lo que se genera zonas muertas en áreas que no se tiene movimiento por el flujo; como resultado se genera cortos circuitos hidráulicos.

### **Figura 29**

*Lagunas de facultativas secundarias PTAR Juli*



*Nota:* En la figura se observa 02 las lagunas facultativas secundarias en paralelo.

#### **3.1.4.4. Evaluación de la PTAR del Distrito de Cabana**

##### **3.1.4.4.1. Cámara de Rejas**

En el monitoreo se pudo observar que cuenta con una estructura de pretratamiento el cual es la cámara de rejas, estructura encargada de separar todos los sólidos gruesos y/o visibles que lleva el agua residual, dicha estructura está construida de concreto armado y revestido de mortero; la estructura cuenta con una inclinación del 2% el cual favorece a la circulación de las aguas residuales, el espesor promedio de la pared de la cámara es de 31cm. También se observa que las rejillas presentan oxidación debido a los sulfatos contenida en las aguas residuales. La malla está hecha de acero corrugada de 1/2" de diámetro con una inclinación de 60°, también cuenta con un by-pass de 31 cm.

También se observó la falta de operación de la estructura, ya que se encuentra colmatado. Este tratamiento preliminar no cuenta con un lecho de secado de sólidos que retienen la rejilla.

### Figura 30

*Cámara de rejas PTAR Cabana*



*Nota:* En la figura se observa la cámara de rejas sin limpieza.

#### **3.1.4.4.2. Repartidor de Caudal**

Posteriormente se tiene un repartido de caudal el cual se encarga de repartir las aguas residuales a las lagunas.

#### **3.1.4.4.3. Lagunas Facultativas Primarias**

El tratamiento primario está compuesto por 2 lagunas principales distribuidas en paralelo encargado del proceso de asentado de los sólidos, está construida e impermeabilizada por material impermeable (arcilla), sellado en el costado y en el fondo, tiene las siguientes características:

- Largo : 54 m.
- Ancho : 26 m.
- Largo de espejo de agua : 50 m.

- Ancho de espejo de agua : 24 m.
- Talud :  $V/H=1/2$
- Altura (hasta lodos) : 1.2 m

Al momento del monitoreo se pudo observar falta de mantenimiento, presencia de vegetación alrededor de las lagunas y lo más importante cada laguna cuenta con una estructura de entrada y de salida simple, por lo que se genera zonas muertas en áreas que no se tiene movimiento por el flujo; como resultado se genera cortos circuitos hidráulicos.

### Figura 31

*Lagunas facultativas primarias PTAR Cabana*



*Nota:* En la figura se observa 02 las lagunas facultativas primarias en paralelo.

#### 3.1.4.4.4. *Lagunas Facultativas Secundarias*

La laguna maduración secundaria encargada de la descomposición del contenido biológico, compuesta por 2 lagunas secundarias distribuidas en paralelo, construida en un pozo de excavación de suelo arenoso mezclado con grava, sellado en el costado y en el fondo, posee las siguientes características:

- Largo : 40 m.
- Ancho : 20 m.

- Largo de espejo de agua : 35 m.
- Ancho de espejo de agua : 15 m.
- Talud :  $V/H=1/2$
- Altura (hasta lodos) : 1 m

Al momento del monitoreo se pudo observar falta de mantenimiento, presencia de vegetación alrededor de las lagunas y lo más importante cada laguna cuenta con una estructura de entrada y de salida simple, por lo que se genera zonas muertas en áreas que no se tiene movimiento por el flujo; como resultado se genera cortos circuitos hidráulicos.

### **Figura 32**

*Lagunas de facultativas secundarias PTAR Cabana*



*Nota:* En la figura se observa 02 las lagunas facultativas secundarias en paralelo.

#### **3.1.4.4.5. Filtro Biológico**

La planta de tratamiento cuenta con un filtro biológico como tratamiento terciario de la siguiente dimensión:

Ancho: 2.8m

Largo: 3.2m

### Figura 33

#### *Filtros biológicos PTAR Cabana*



*Nota:* En la figura se observa el filtro biológico.

#### **3.1.4.4.6. Cámara de Cloración**

La cámara de cloración tiene 5.90 m de ancho y 6.70 m de largo, existen cuatro cámaras de cloración del mismo tamaño, que cumplen la función de mezclar con cloro para que el agua depurada se descargue en el cuerpo receptor.

Al momento del monitoreo se pudo observar que no había una estructura que permita la aplicación del cloro, por lo que se deduce que no funciona este tratamiento para reducirá la carga bacteriana.

## Figura 34

### *Cámara de cloración PTAR Cabana*



*Nota:* En la figura se observa la cámara de cloración que se encuentra inoperativo.

### **3.1.4.5. Evaluación de Otros PTAR**

#### **3.1.4.5.1. Descripción de la PTAR Paucarcolla**

Esta planta de tratamiento fue puesta en operación en mayo del 2013 y estuvo diseñada para manejar las aguas residuales del área local de Paucarcolla; consta de dos plantas de tratamiento de las mismas características.

Posee un pretratamiento de tres rejillas y un desarenador.

En lo que se refiere al Tratamiento Primario, posee dos filtros verticales seguidos de un tratamiento secundario de dos filtros percoladores.

Finalmente se visualiza como tratamiento terciario humedales artificiales.

### Figura 35

*Cámara de rejas PTAR Paucarcolla sur*



*Nota:* Se observa las condiciones de la PTAR Sur Paucarcolla, que se encuentra colapsada

### Figura 36

*PTAR Sur colapsado y con filtraciones*



*Nota:* Se verifica que la planta se encuentra en colapso por la obstrucción en el pre tratamiento, en la imagen se ve que el agua residual esta por fuera de la planta.

### Figura 37

*PTAR Norte, rebose de las aguas residuales*



*Nota:* PTAR Norte, se visualiza el rebose de las aguas residuales fuera de la planta dentro del perímetro del cerco esta causa focos infecciosos atrayendo mosquitos.

### Figura 38

*PTAR Norte, esta planta se encuentra en colapso.*



*Nota:* PTAR Norte, esta planta se encuentra en colapso. En primer lugar, por la falta de mantenimiento la cámara de rejillas esta obstruida en su totalidad.

### 3.1.4.5.2. Descripción de la PTAR Acora

La municipalidad distrital de Acora posee una PTAR que al momento de la toma de datos no se encontraba en funcionamiento, esto debido a la falta de mantenimiento.

Esta planta su diseño posee un pretratamiento de rejillas seguido de un canal Parshall, también cuenta con desgradador y sedimentadores.

Como tratamiento primario consta de sedimentadores primarios y secundarios para luego continuar con tres filtros percoladores.

Finalmente, como tratamiento terciario cuenta con humedales artificiales.

### Figura 39

#### *Monitoreo de la PTAR Acora*



*Nota:* Se verifica que en monitoreo la planta solo funciona el pre tratamiento, luego mediante una tubería es desviada a lagunas de oxidación existentes.

## Figura 40

### *Funcionamiento de la PTAR acora*



*Nota:* Se verifica que en monitoreo la planta no se encuentra en funcionamiento.

## Figura 41

### *Cámara de rejillas PTAR Acora*



*Nota:* Se verifica que en monitoreo la planta se halla colapsada por falta de mantenimiento la cámara de rejillas se encuentra atascada.

## Figura 42

### *Estación de bombeo PTAR Acora colapsado*



*Nota:* Se verifica que en monitoreo que existe una estación de bombeo el cual se encarga de reunir las aguas residuales para posteriormente bombearla a la PTAR.

#### **3.1.4.5.3. Descripción de la PTAR Zepita**

El distrito de Zepita cuenta con una PTAR que consta del siguiente diseño: como pretratamiento consta de tres rejillas y un desgrasador, como tratamiento primario posee sedimentadores primarios y secundarios posteriormente cuatro filtros percoladores; finalmente como tratamiento terciario cuenta con humedales artificiales.

### Figura 43

*Colapso PTAR Zepita.*



*Nota:* Se verifica que en monitoreo la planta se encuentra colapsada por falta de mantenimiento la cámara de rejillas se encuentra obstruida.

### Figura 44

*Mantenimiento PTAR Zepita*



*Nota:* Se verifica que en monitoreo la planta no tiene el mantenimiento adecuado por parte de la municipalidad distrital de Zepita.

### Figura 45

*Tratamiento terciario.*



*Nota:* Se verifica que en monitoreo la planta cuenta con un tratamiento terciario que son los humedales artificiales.

### Figura 46

*Evacuación a cuerpo receptor*



*Nota:* Se verifica que en monitoreo la planta la evacuación de aguas tratadas a un cuerpo receptor (río)



### 3.2. MATERIALES

Materiales utilizados en gabinete:

- Impresora cannon
- Laptop Core i7. ACER
- Memoria USB 16HP
- Papel bond A4
- Lapiceros

Materiales utilizados en campo:

- Wincha de 50m
- Flexómetro de 5m
- Cronometro
- Guantes quirúrgicos
- Recipientes de plástico (1L, 0.5L)
- Cinta adhesiva
- Plumones
- Cooler
- Hielo
- Cajas de Tecnopor
- Bolsas de poli burbujas
- Reloj
- Cámara fotográfica
- Mochila
- Baldes de 20L y 4L
- Libreta de campo
- PH-metro



- Termómetro de mercurio.

### 3.3. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL FACTOR CLIMATOLÓGICO (TEMPERATURA)

El factor climatológico considerado en esta investigación será la temperatura, ya que en la zona altiplánica existe mucha variación de temperatura, para el cual se consideró la siguiente metodología.

#### - **Temperatura del agua residual**

Para la evaluación de la temperatura del agua residual se hizo la medición directamente en el cuerpo del agua residual, para lo cual se tomó en un volumen suficiente de muestra para que el instrumento quede debidamente inmerso, luego se esperó el tiempo suficiente para realizar mediciones constantes.

Las lecturas se obtuvieron directamente de la escala del aparato medidor de temperatura, y se informan en grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ), por un periodo de un día y a cada hora.

Para realiza la medición de temperatura se utilizó un termómetro de vidrio con columna de mercurio.

#### - **Temperatura del aire**

Para la medición de la temperatura del aire se solicitaron registros al SENAMHI, de las estaciones donde se realizaron la presente investigación.

### 3.4. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE MANTENIMIENTO Y TIPO

Para realizar la evaluación de la operación, mantenimiento y tipo, se realizó un diagnóstico de los componentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales en estudio, siguiendo los siguientes pasos:

**Paso 1.** Se identificó mediante visitas técnicas y observación directa la estructura y estado que se encontraba las PTAR, por medio de registros fotográficos (Anexo b).



**Paso 2.** Se realizó un levantamiento de información In situ sobre las características de cada uno de los componentes de las PTAR en estudio.

**Paso 3.** Se realizó fichas de evaluación donde se constaron algunos datos como ubicación, oficina encargada de la operación y mantenimiento, entre otros (Anexo a).

**Paso 4.** Se realizó una evaluación tomando en consideración los siguientes parámetros: existencia de personal capacitado y disponibilidad, actividades y frecuencia de operación y mantenimiento en las etapas de tratamiento, Actividades de mantenimiento a largo plazo, monitoreo y documentación existente.

**Paso 5.** Finalmente se realizó una escala valorativa de 0 a 2 para los parámetros de evaluación de mantenimiento donde:

0: Significa que no existe el parámetro evaluado.

1: Significa que existe parcialmente el parámetro evaluado.

2: Significa que existe el parámetro evaluado.

Y un puntaje total del 0 – 8, el cual determina el nivel de aceptación de la operación y mantenimiento que se realizan en cada PTAR estudiada, el cual se describe a continuación:

0-3: Nada aceptable.

4-6: Poco aceptable.

7-8: Aceptable.

### **3.5. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA Y OPERATIVIDAD**

#### **3.5.1. Medición de Caudales**

Para realizar el aforo de las aguas residuales en el ingreso de las plantas de tratamiento de aguas residuales, se empleó el método volumétrico.

Para obtener un dato confiable se realizaron aforo de caudales en el día más crítico de la semana es decir de mayor consumo.

El aforo de las aguas residuales al ingreso de la PTAR, se realizó por el método volumétrico, con el uso de un recipiente de un volumen de 20 litros y 4 litros, además de un cronometro, para la determinación de los caudales.

**Tabla 15**

*Medición de caudal PTAR Capachica (Afluente)*

<b>Nro.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Caudal</b>	<b>Observación</b>
1	16/12/2021	4:00 am.	0.61 l/s	Método volumétrico
2	16/12/2021	5:00 am.	1.05 l/s	Método volumétrico
3	16/12/2021	6:00 am.	1.96 l/s	Método volumétrico
4	16/12/2021	7:00 am.	1.62 l/s	Método volumétrico
5	16/12/2021	8:00 am.	1.46 l/s	Método volumétrico
6	16/12/2021	9:00 am.	1.11 l/s	Método volumétrico
7	16/12/2021	10:00 am.	1.42 l/s	Método volumétrico
8	16/12/2021	11:00 am.	1.92 l/s	Método volumétrico
9	16/12/2021	12:00 pm.	2.21 l/s	Método volumétrico
10	16/12/2021	13:00 pm.	2.43 l/s	Método volumétrico
11	16/12/2021	14:00 pm.	1.81 l/s	Método volumétrico
12	16/12/2021	15:00 pm.	1.21 l/s	Método volumétrico
13	16/12/2021	16:00 pm.	0.91 l/s	Método volumétrico
14	16/12/2021	17:00 pm.	1.91 l/s	Método volumétrico
15	16/12/2021	18:00 pm.	2.15 l/s	Método volumétrico

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 16**

*Medición de caudal PTAR Capachica (Efluente)*

<b>Nro.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Caudal</b>	<b>Observación</b>
1	16/12/2021	4:30 am.	0.48 l/s	Método volumétrico
2	16/12/2021	5:30 am.	0.79 l/s	Método volumétrico
3	16/12/2021	6:30 am.	1.37 l/s	Método volumétrico
4	16/12/2021	7:30 am.	1.21 l/s	Método volumétrico
5	16/12/2021	8:30 am.	0.81 l/s	Método volumétrico
6	16/12/2021	9:30 am.	1.01 l/s	Método volumétrico
7	16/12/2021	10:30 am.	1.34 l/s	Método volumétrico
8	16/12/2021	11:30 am.	1.59 l/s	Método volumétrico
9	16/12/2021	12:30 pm.	1.69 l/s	Método volumétrico
10	16/12/2021	13:30 pm.	1.75 l/s	Método volumétrico



Nro.	Fecha	Hora	Caudal	Observación
11	16/12/2021	14:30 pm.	1.27 l/s	Método volumétrico
12	16/12/2021	15:30 pm.	0.84 l/s	Método volumétrico
13	16/12/2021	16:30 pm.	0.69 l/s	Método volumétrico
14	16/12/2021	17:30 pm.	1.34 l/s	Método volumétrico
15	16/12/2021	18:30 pm.	1.51 l/s	Método volumétrico

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 17**

*Medición de caudal PTAR Chucuito (Afluente)*

Nro.	Fecha	Hora	Caudal	Observación
1	06/01/2022	4:00 am.	0.53 l/s	Método volumétrico
2	06/01/2022	5:00 am.	1.53 l/s	Método volumétrico
3	06/01/2022	6:00 am.	1.65 l/s	Método volumétrico
4	06/01/2022	7:00 am.	1.74 l/s	Método volumétrico
5	06/01/2022	8:00 am.	1.42 l/s	Método volumétrico
6	06/01/2022	9:00 am.	1.26 l/s	Método volumétrico
7	06/01/2022	10:00 am.	0.98 l/s	Método volumétrico
8	06/01/2022	11:00 am.	1.71 l/s	Método volumétrico
9	06/01/2022	12:00 pm.	2.01 l/s	Método volumétrico
10	06/01/2022	13:00 pm.	1.73 l/s	Método volumétrico
11	06/01/2022	14:00 pm.	0.84 l/s	Método volumétrico
12	06/01/2022	15:00 pm.	0.71 l/s	Método volumétrico
13	06/01/2022	16:00 pm.	0.96 l/s	Método volumétrico
14	06/01/2022	17:00 pm.	1.56 l/s	Método volumétrico
15	06/01/2022	18:00 pm.	1.75 l/s	Método volumétrico

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 18**

*Medición de caudal PTAR Chucuito (Efluente)*

Nro.	Fecha	Hora	Caudal	Observación
1	06/01/2022	4:30 am.	0.41 l/s	Método volumétrico
2	06/01/2022	5:30 am.	0.69 l/s	Método volumétrico
3	06/01/2022	6:30 am.	1.15 l/s	Método volumétrico
4	06/01/2022	7:30 am.	1.24 l/s	Método volumétrico
5	06/01/2022	8:30 am.	1.31 l/s	Método volumétrico
6	06/01/2022	9:30 am.	1.07 l/s	Método volumétrico
7	06/01/2022	10:30 am.	0.95 l/s	Método volumétrico
8	06/01/2022	11:30 am.	0.74 l/s	Método volumétrico
9	06/01/2022	12:30 pm.	1.28 l/s	Método volumétrico
10	06/01/2022	13:30 pm.	1.51 l/s	Método volumétrico
11	06/01/2022	14:30 pm.	1.30 l/s	Método volumétrico



Nro.	Fecha	Hora	Caudal	Observación
12	06/01/2022	15:30 pm.	0.63 l/s	Método volumétrico
13	06/01/2022	16:30 pm.	0.56 l/s	Método volumétrico
14	06/01/2022	17:30 pm.	0.78 l/s	Método volumétrico
15	06/01/2022	18:30 pm.	1.31 l/s	Método volumétrico

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 19**

*Medición de caudal PTAR Juli (Afluente)*

Nro.	Fecha	Hora	Caudal	Observación
1	30/12/2021	4:00 am.	1.03 l/s	Método volumétrico
2	30/12/2021	5:00 am.	3.56 l/s	Método volumétrico
3	30/12/2021	6:00 am.	6.64 l/s	Método volumétrico
4	30/12/2021	7:00 am.	7.21 l/s	Método volumétrico
5	30/12/2021	8:00 am.	4.56 l/s	Método volumétrico
6	30/12/2021	9:00 am.	3.95 l/s	Método volumétrico
7	30/12/2021	10:00 am.	4.02 l/s	Método volumétrico
8	30/12/2021	11:00 am.	7.85 l/s	Método volumétrico
9	30/12/2021	12:00 pm.	8.57 l/s	Método volumétrico
10	30/12/2021	13:00 pm.	7.93 l/s	Método volumétrico
11	30/12/2021	14:00 pm.	4.36 l/s	Método volumétrico
12	30/12/2021	15:00 pm.	3.91 l/s	Método volumétrico
13	30/12/2021	16:00 pm.	3.56 l/s	Método volumétrico
14	30/12/2021	17:00 pm.	5.15 l/s	Método volumétrico
15	30/12/2021	18:00 pm.	7.95 l/s	Método volumétrico

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 20**

*Medición de caudal PTAR Juli (Efluente)*

Nro.	Fecha	Hora	Caudal	Observación
1	30/12/2021	4:30 am.	0.58 l/s	Método volumétrico
2	30/12/2021	5:30 am.	1.99 l/s	Método volumétrico
3	30/12/2021	6:30 am.	3.72 l/s	Método volumétrico
4	30/12/2021	7:30 am.	4.04 l/s	Método volumétrico
5	30/12/2021	8:30 am.	2.55 l/s	Método volumétrico
6	30/12/2021	9:30 am.	2.21 l/s	Método volumétrico
7	30/12/2021	10:30 am.	2.25 l/s	Método volumétrico
8	30/12/2021	11:30 am.	4.4 l/s	Método volumétrico
9	30/12/2021	12:30 pm.	4.8 l/s	Método volumétrico
10	30/12/2021	13:30 pm.	4.44 l/s	Método volumétrico
11	30/12/2021	14:30 pm.	2.44 l/s	Método volumétrico
12	30/12/2021	15:30 pm.	2.19 l/s	Método volumétrico



Nro.	Fecha	Hora	Caudal	Observación
13	30/12/2021	16:30 pm.	1.99 l/s	Método volumétrico
14	30/12/2021	17:30 pm.	2.88 l/s	Método volumétrico
15	30/12/2021	18:30 pm.	4.45 l/s	Método volumétrico

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 21**

*Medición de caudal PTAR Cabana (afluente)*

Nro.	Fecha	Hora	Caudal	Observación
1	13/01/2023	4:00 am.	0.65 l/s	Método volumétrico
2	13/01/2023	5:00 am.	1.02 l/s	Método volumétrico
3	13/01/2023	6:00 am.	1.89 l/s	Método volumétrico
4	13/01/2023	7:00 am.	2.23 l/s	Método volumétrico
5	13/01/2023	8:00 am.	1.76 l/s	Método volumétrico
6	13/01/2023	9:00 am.	1.62 l/s	Método volumétrico
7	13/01/2023	10:00 am.	1.42 l/s	Método volumétrico
8	13/01/2023	11:00 am.	1.95 l/s	Método volumétrico
9	13/01/2023	12:00 pm.	2.55 l/s	Método volumétrico
10	13/01/2023	13:00 pm.	2.32 l/s	Método volumétrico
11	13/01/2023	14:00 pm.	1.47 l/s	Método volumétrico
12	13/01/2023	15:00 pm.	1.06 l/s	Método volumétrico
13	13/01/2023	16:00 pm.	0.94 l/s	Método volumétrico
14	13/01/2023	17:00 pm.	1.23 l/s	Método volumétrico
15	13/01/2023	18:00 pm.	1.98 l/s	Método volumétrico

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 22**

*Medición de caudal PTAR Cabana (efluente)*

Nro.	Fecha	Hora	Caudal	Observación
1	13/01/2023	4:00 am.	0.65 l/s	Método volumétrico
2	13/01/2023	5:00 am.	1.02 l/s	Método volumétrico
3	13/01/2023	6:00 am.	1.89 l/s	Método volumétrico
4	13/01/2023	7:00 am.	2.23 l/s	Método volumétrico
5	13/01/2023	8:00 am.	1.76 l/s	Método volumétrico
6	13/01/2023	9:00 am.	1.62 l/s	Método volumétrico
7	13/01/2023	10:00 am.	1.42 l/s	Método volumétrico
8	13/01/2023	11:00 am.	1.95 l/s	Método volumétrico
9	13/01/2023	12:00 pm.	2.55 l/s	Método volumétrico
10	13/01/2023	13:00 pm.	2.32 l/s	Método volumétrico
11	13/01/2023	14:00 pm.	1.47 l/s	Método volumétrico
12	13/01/2023	15:00 pm.	1.06 l/s	Método volumétrico
13	13/01/2023	16:00 pm.	0.94 l/s	Método volumétrico



Nro.	Fecha	Hora	Caudal	Observación
14	13/01/2023	17:00 pm.	1.23 l/s	Método volumétrico
15	13/01/2023	18:00 pm.	1.98 l/s	Método volumétrico

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2. Muestreo de Aguas Residuales

Para la presente investigación se realizó los ensayos necesarios en la entrada (afluente), salida (efluente) de cada PTAR, así como también en el cuerpo receptor siguiendo los protocolos establecidos en la Resolución Ministerial N° 273 –2013-VIVIENDA (Protocolo de monitoreo de calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales); en el cual mediante un análisis fisicoquímico y biológico de los siguientes parámetros: aceites y grasas, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxígeno (*DBO5*), demanda química de oxígeno (*DQO*), potencial de hidrogeno (pH), solidos suspendidos (SST), temperatura, permite conocer la eficiencia por cada parámetro de la planta de tratamiento de aguas residuales.

La frecuencia de monitoreo se realizó de acuerdo a la resolución ministerial en mención, donde indica que para caudales promedios menores a 10 l/s, se realiza anualmente.

Las muestras tomadas fueron de tipo compuestas, ya que se tomaron muestras horarias de 1 litro, las cuales se fueron añadiendo en un recipiente de 20 litros donde se fueron mezclando, y finalmente después de un periodo de tiempo establecido se tomó las muestras necesarias del recipiente mezclado de 20 litros.

Posteriormente se procedió al traslado de las muestras realizando un registro de cadena de custodia donde se evidencia las horas de muestreo y entrega al laboratorio, que fueron en el menor tiempo posible para que las muestras no se alteren (ver anexo e).

### 3.5.3. Ensayos Realizados

Las muestras obtenidas del muestreo de las aguas residuales de la PTAR objeto de estudio, se efectuaron en el LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD de la



facultad de Ingeniería Química, de la Universidad Nacional de Altiplano; también el análisis microbiológico fue realizada en los laboratorios de la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD (dirección de estudios de la carrera profesional de medicina), de la Universidad nacional del altiplano; para tal efecto se adjunta en el anexo el Certificado de Análisis.

Para esta etapa se efectuó los ensayos de laboratorio correspondientes a cada uno de los parámetros físico químico y bacteriológico (Los más representativos), los cuales nos permitieron caracterizar las aguas residuales.

#### **3.5.4. Cálculo de la Eficiencia en Remoción de Contaminantes**

Para calcular la eficiencia en la remoción de contaminantes de cada PTAR estudiada utilizaremos la siguiente ecuación:

$$E = (S_o - s) / S_o \times 100 \quad : \text{De la Vega (2012)}$$

Donde:

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

*S*: Carga contaminante de salida de la PTAR

*S<sub>o</sub>*: Carga contaminante entrante a la PTAR

#### **3.6. METODOLOGÍA PARA EL CALCULO DE INCIDENCIA**

Finalmente, con los datos obtenidos de la evaluación previa de temperatura, mantenimiento y tipo se prosiguió con la comparación de las eficiencias obtenidas en el presente estudio con las eficiencias establecidas en el reglamento nacional de edificaciones (RNE), para el cual usaremos la siguiente tabla.

**Tabla 23***Eficiencia de procesos de tratamiento*

Proceso de tratamiento	Remoción (%)		Remoción ciclos log10	
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helmintos
Sedimentación primaria	25-30	40-70	0-1	0-1
Lodos activados (a)	70-95	70-95	0-2	0-1
Filtros percoladores (a)	50-90	70-90	0-2	0-1
Lagunas aeradas (b)	80-90	(c)	1-2	0-1
Zanjas de oxidación (d)	70-95	80-95	1-2	0-1
Lagunas de estabilización (e)	70-85	(c)	1-6	1-4

*Fuente:* Reglamento nacional de edificaciones (OS.090), (a) precedidos y seguidos de sedimentación, (b) incluye lagunas secundarias, (c) dependiente del tipo de laguna, (d) seguidas de sedimentación, (e) dependiendo del número de lagunas y otros factores como: temperatura, periodo de retención y forma de las lagunas.

**Tabla 24***Remoción promedio en función al tipo de tratamiento*

Etapa de depuración	Rendimiento (%)		
	Sólidos en suspensión	DBO5	Escherichia coli
Pretratamiento	5 - 15	5 - 10	10 - 25
Tratamientos primarios	40 - 70	25 - 40	25 - 70
Tratamientos secundarios	80 - 90	80 - 85	90 - 98
Tratamientos terciarios	90 - 95	95 - 98	98 - 99

*Fuente:* (Edgardo, 2008)

### 3.7. PRUEBA ESTADÍSTICA PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

#### 3.7.1. Prueba de T-student

Se define como el cociente entre una variable normal estandarizada y la raíz cuadrada positiva de una variable 2 dividida por sus grados de libertad. Se aplica cuando la población estudiada sigue una distribución normal, pero el tamaño muestral es demasiado pequeño como para que el estadístico en el que está basada la inferencia esté normalmente distribuido, utilizándose una estimación de la desviación típica en lugar del valor real. Se utiliza el análisis de sus variables con sus dimensiones, pero no mira el nivel

de acuerdo o concordancia. Y para un mejor análisis en la investigación, la herramienta que se aplicó para la obtención de resultados es con el análisis de datos SPSS.

### 3.7.2. Nivel de Confiabilidad

En referencia a la aprobación y confiabilidad de la información es preciso preguntarse incluso hasta qué punto la información o resultados que se adquirieron son aceptables, es decir si se apegan a la realidad que se analizan. La confiabilidad se vincula con la capacidad de medición y reproducción de la medición de un mismo fenómeno en diferente momento, se garantiza la importancia al triangular la información. Sin embargo, el Alfa de Cronbach es un coeficiente que se utilizó para calcular la fiabilidad de sus datos.

## 3.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 25**

*Tabla operacionalización de variables*

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumento	Índice o unidad de medida
<b>Independiente:</b> Factores climáticos	La temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de actividad bacterial.	Temperatura	Romero (2010) 15 – 35 °C, producción bacterial optimo.	- Medición de temperaturas del agua residual en campo. - Temperaturas del aire SENAMHI.	°C
Mantenimiento	Arte de mantener los equipos de la planta, las estructuras y	- Existencia de personal capacitado y disponibilidad	0-3: nada aceptable 4-6: poco aceptable	- Fichas de evaluación. - Encuesta N° 001 para el desarrollo	Adimensional



Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumento	Índice o unidad de medida
	todos los accesorios en condiciones adecuadas para prestar los servicios para los cuales fueron propuestos.	- Actividades y frecuencia de operación y mantenimiento en las etapas de tratamiento. - Actividades de mantenimiento o a largo plazo. - Monitoreo y documentación existente.	7-8: aceptable.	de investigación .	
Tipo de planta de tratamiento	Componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales.	Tipo del sistema de tratamiento.	- Lagunas de estabilización - Filtros biológicos. - Lodos activados.	- Registros fotográficos. - Fichas de evaluación.	Adimensional
Dependiente: Eficiencia y operatividad	<b>Eficiencia:</b> viene dada por $E = (S_0 - S) \times 100 / S_0$ Donde: E: Eficiencia en la remoción de contaminantes	Eficiencia remoción de contaminantes : DBO5 y Coliformes termotolerantes	RNE Lagunas facultativas DBO5 80-100% Coliformes termotolerantes 90-99.99%	Toma de muestras y análisis en laboratorio del afluente y efluente.	%
	S <sub>0</sub> : Carga contaminante en el efluente. S: Carga contaminante en el afluente. <b>Operatividad</b> : se refiere a su capacidad para eliminar contaminantes presentes en el agua residual.		Filtros biológicos DBO5 98.13-99.36% Coliformes termotolerantes 99.99-100%	Toma de muestras y análisis en laboratorio del afluente y efluente.	%



*Fuente:* Elaboración propia.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS

Los resultados de la toma de muestra de aguas residuales de las PTAR en estudio, se efectuaron en el LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD de la facultad de ingeniería química de la Universidad Nacional de Altiplano, en el cual se realizó el análisis físico-químico; mientras que el análisis microbiológico (los más representativos) se realizaron en los laboratorios de la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD (dirección de estudios de la carrera profesional de medicina), de la Universidad Nacional del Altiplano; para tal efecto se adjunta en los anexos los Certificado de Análisis.

##### 4.1.1. PTAR del Distrito de Chucuito

**Tabla 26**

*Parámetros físico-químicos y microbiológicos, ingreso PTAR Chucuito.*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Método Analítico</b>
Aceites y Grasas	mg/L	65.9	Soxlet
Coliformes Termo Tolerantes	Nmp/100ml	16000000	Filtro de membrana, por dilución
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	270.56	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	440.2	Digestión cerrada
Potencial de Hidrogeno	pH	7.85	Electrométrica
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	140	Colorimétrica
Temperatura	°C	17.52	Termómetro

*Fuente:* Resultados de laboratorio.

**Tabla 27***Parámetros físico-químicos y microbiológicos, salida PTAR Chucuito*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Método Analítico</b>
Aceites y Grasas	mg/L	15.78	Soxlet
Coliformes Termo Tolerantes	Nmp/100ml	670000	Filtro de membrana, por dilución
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	130.2	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	280.23	Digestión cerrada
Potencial de Hidrogeno	pH	8.95	Electrométrica
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	90	Colorimétrica
Temperatura	°C	17.63	Termómetro

*Fuente:* Resultados de laboratorio.**Tabla 28***Parámetros físico-químicos, cuerpo receptor PTAR Chucuito (lago Titicaca)*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Método Analítico</b>
Aceites y Grasas	mg/L	6.31	Soxlet
Coliformes Termo Tolerantes	Nmp/100ml	1000	Filtro de membrana, por dilución
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	7.52	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	17.52	Digestión cerrada
Potencial de Hidrogeno	pH	8.12	Electrométrica
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	40.42	Colorimétrica
Temperatura	°C	17.6	Termómetro

*Fuente:* Resultados de laboratorio.

#### 4.1.2. PTAR del Distrito de Capachica

**Tabla 29**

*Parámetros físico-químicos y microbiológicos, ingreso PTAR Capachica*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Método Analítico</b>
Aceites y Grasas	mg/L	41.28	Soxlet
Coliformes Termo Tolerantes	Nmp/100ml	13000000	Filtro de membrana, por dilución
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	386.67	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	500.67	Digestión cerrada
Potencial de Hidrogeno	pH	7.83	Electrométrica
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	193	Colorimétrica
Temperatura	°C	18	Termómetro

*Fuente:* Resultados de laboratorio.

**Tabla 30**

*Parámetros físico-químicos y microbiológicos, salida PTAR Capachica*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Método Analítico</b>
Aceites y Grasas	mg/L	10.23	Soxlet
Coliformes Termo Tolerantes	Nmp/100ml	130000	Filtro de membrana, por dilución
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	110.3	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	210	Digestión cerrada
Potencial de Hidrogeno	pH	8.15	Electrométrica
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	53	Colorimétrica
Temperatura	°C	18.3	Termómetro

*Fuente:* Resultados de laboratorio.

**Tabla 31**

*Parámetros físico-químicos, cuerpo receptor PTAR Capachica (lago Titicaca)*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Método Analítico</b>
Aceites y Grasas	mg/L	5.41	Soxlet
Coliformes Termo Tolerantes	Nmp/100ml	1500	Filtro de membrana, por dilución

Parámetros Físico Químicos	Unidad de Medida	Resultados	Método Analítico
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	5.4	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	9.94	Digestión cerrada
Potencial de Hidrogeno	pH	8.12	Electrométrica
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	89.22	Colorimétrica
Temperatura	°C	17.6	Termómetro

*Fuente:* Resultados de laboratorio.

#### 4.1.3. PTAR del Distrito de Juli

**Tabla 32**

*Parámetros físico-químicos y microbiológicos, ingreso PTAR Juli*

Parámetros Físico Químicos	Unidad de Medida	Resultados	Método Analítico
Aceites y Grasas	mg/L	65.23	Soxlet
Coliformes Termo Tolerantes	Nmp/100ml	45000000	Filtro de membrana, por dilución
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	250.5	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	520	Digestión cerrada
Potencial de Hidrogeno	pH	7.85	Electrométrica
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	150	Colorimétrica
Temperatura	°C	18.8	Termómetro

*Fuente:* Resultados de laboratorio.

**Tabla 33**

*Parámetros físico-químicos y microbiológicos, salida PTAR Juli*

Parámetros Físico Químicos	Unidad de Medida	Resultados	Método Analítico
Aceites y Grasas	mg/L	42.3	Soxlet
Coliformes Termo Tolerantes	Nmp/100ml	110000	Filtro de membrana, por dilución
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	150.5	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	310	Digestión cerrada
Potencial de Hidrogeno	pH	8.95	Electrométrica
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	120.56	Colorimétrica

Temperatura	°C	18.3	Termómetro
-------------	----	------	------------

*Fuente:* Resultados de laboratorio.

**Tabla 34**

*Parámetros físico-químicos, cuerpo receptor PTAR Juli (lago Titicaca)*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Método Analítico</b>
Aceites y Grasas	mg/L	5.41	Soxlet
Coliformes Termo Tolerantes	Nmp/100ml	1700	Filtro de membrana, por dilución
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	5.00	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	17.05	Digestión cerrada
Potencial de Hidrogeno	pH	8.02	Electrométrica
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	120	Colorimétrica
Temperatura	°C	17.89	Termómetro

*Fuente:* Resultados de laboratorio.

#### 4.1.4. PTAR del Distrito de Cabana

**Tabla 35**

*Parámetros físico-químicos y microbiológicos, ingreso PTAR Cabana*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Método Analítico</b>
Aceites y Grasas	mg/L	65.41	Soxlet
Coliformes Termo Tolerantes	Nmp/100ml	29000000	Filtro de membrana, por dilución
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	239.4	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	489.94	Digestión cerrada
Potencial de Hidrogeno	pH	8.12	Electrométrica
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	189.22	Colorimétrica
Temperatura	°C	17.6	Termómetro

*Fuente:* Resultados de laboratorio.

**Tabla 36***Parámetros físico-químicos y microbiológicos, salida PTAR Cabana*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Método Analítico</b>
Aceites y Grasas	mg/L	20.23	Soxlet
Coliformes Termo Tolerantes	Nmp/100ml	170000	Filtro de membrana, por dilución
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	58	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	119.39	Digestión cerrada
Potencial de Hidrogeno	pH	7.54	Electrométrica
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	120	Colorimétrica
Temperatura	°C	17.52	Termómetro

*Fuente:* Resultados de laboratorio.**Tabla 37***Parámetros físico-químicos, cuerpo receptor PTAR Cabana (Río)*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Método Analítico</b>
Aceites y Grasas	mg/L	10.01	Soxlet
Coliformes Termo Tolerantes	Nmp/100ml	81	Filtro de membrana, por dilución
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	2.7	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	9.16	Digestión cerrada
Potencial de Hidrogeno	pH	7.61	Electrométrica
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	63	Colorimétrica
Temperatura	°C	17.22	Termómetro

*Fuente:* Resultados de laboratorio.

## 4.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL FACTOR CLIMATOLÓGICO (TEMPERATURA)

### 4.2.1. Temperatura de la PTAR del Distrito de Chucuito

**Tabla 38**

*Temperatura del agua, PTAR Chucuito*

Nro.	Fecha	Hora	Temperatura Agua (°C)	Observación
01	06/01/2022	04:00	6.00	Estudio de la zona
02	06/01/2022	05:00	5.00	Estudio de la zona
03	06/01/2022	06:00	6.00	Estudio de la zona
04	06/01/2022	07:00	8.00	Estudio de la zona
05	06/01/2022	08:00	12.00	Estudio de la zona
06	06/01/2022	09:00	14.00	Estudio de la zona
07	06/01/2022	10:00	15.00	Estudio de la zona
08	06/01/2022	11:00	15.00	Estudio de la zona
09	06/01/2022	12:00	17.00	Estudio de la zona
10	06/01/2022	13:00	20.00	Estudio de la zona
11	06/01/2022	14:00	18.00	Estudio de la zona
12	06/01/2022	15:00	15.00	Estudio de la zona
13	06/01/2022	16:00	15.00	Estudio de la zona
14	06/01/2022	17:00	14.00	Estudio de la zona
15	06/01/2022	18:00	13.00	Estudio de la zona

*Fuente:* Elaboración propia, resultados de mediciones en campo.

**Tabla 39**

*Temperaturas máximas del agua, PTAR Chucuito*

Descripción	Dato	Cant.	Und.	Fuente
Temperatura promedio	T. Prom.	18.87	°C	Estudio de la zona
Temperatura máxima	T. Max	20	°C	Estudio de la zona
Temperatura mínima	T. Min	5.00	°C	Estudio de la zona

*Fuente:* Elaboración propia

**Tabla 40***Temperatura del aire, PTAR Chucuito*

<b>Temperatura el aire Chucuito año 2021</b>				
<b>Mes</b>	<b>Und.</b>	<b>Media</b>	<b>Máxima</b>	<b>Mínima</b>
Enero	°C	11.07	15.92	5.67
Febrero	°C			
Marzo	°C	10.47	15.12	5.86
Abril	°C			
Mayo	°C	9.62	15.43	2.10
Junio	°C			
Julio	°C	8.99	17.70	0.81
Agosto	°C	9.51	16.59	1.44
Setiembre	°C	10.86	17.36	4.42
Octubre	°C	12.68	18.66	4.94
Noviembre	°C	13.01	18.40	6.03
Diciembre	°C	11.21	16.30	6.21

*Fuente:* SENAMHI**4.2.2. Temperatura de la PTAR del Distrito de Capachica****Tabla 41***Temperatura del agua, PTAR Capachica*

<b>Nro.</b>	<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>T. Agua (°C)</b>	<b>Observación</b>
01	06/01/2022	4:00	6.00	Estudio de la zona
02	06/01/2022	5:00	7.00	Estudio de la zona
03	06/01/2022	6:00	8.00	Estudio de la zona
04	06/01/2022	7:00	11.00	Estudio de la zona
05	06/01/2022	8:00	12.00	Estudio de la zona
06	06/01/2022	9:00	13.00	Estudio de la zona
07	06/01/2022	10:00	14.00	Estudio de la zona
08	06/01/2022	11:00	15.00	Estudio de la zona
09	06/01/2022	12:00	17.00	Estudio de la zona
10	06/01/2022	13:00	20.00	Estudio de la zona
11	06/01/2022	14:00	18.00	Estudio de la zona
12	06/01/2022	15:00	15.00	Estudio de la zona
13	06/01/2022	16:00	15.00	Estudio de la zona
14	06/01/2022	17:00	14.00	Estudio de la zona
15	06/01/2022	18:00	13.00	Estudio de la zona

*Fuente:* Elaboración propia, resultados de mediciones en campo.

**Tabla 42***Temperaturas máximas del agua, PTAR Capachica*

Descripción	Dato	Cant.	Und.	Fuente
Temperatura promedio	T. Prom.	13.07	°C	Estudio de la zona
Temperatura máxima	T. Max	20	°C	Estudio de la zona
Temperatura mínima	T. Min	6.00	°C	Estudio de la zona

*Fuente:* Elaboración propia**Tabla 43***Temperatura del aire, PTAR Capachica*

Temperatura del aire Capachica							
Mes	Und.	Año 2021			Año 2022		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
Enero	°C	10.33	15.08	4.26	10.25	14.93	4.43
Febrero	°C	10.18	15.44	4.39	10.51	15.19	5.19
Marzo	°C	9.66	14.55	3.94	10.27	15.21	4.92
Abril	°C	8.76	14.93	1.02	9.37	15.99	0.21
Mayo	°C	7.93	14.54	-1.33	8.22	15.14	-1.80
Junio	°C	6.83	14.44	-3.37	5.96	14.25	-4.53
Julio	°C	7.38	15.20	-3.72	7.20	15.28	-4.12
Agosto	°C	8.19	15.73	-2.45	7.29	14.79	-3.49
Setiembre	°C	9.88	16.21	0.43	10.14	16.89	-1.58
Octubre	°C	11.62	17.39	1.45	12.02	18.59	0.22
Noviembre	°C	11.81	17.08	3.87	13.60	19.41	2.35
Diciembre	°C	10.31	14.86	4.62	11.76	16.71	4.20

*Fuente:* SENAMHI

#### 4.2.3. Temperatura de la PTAR del Distrito de Juli

**Tabla 44***Temperatura del agua, PTAR Juli*

Nro.	Fecha	Hora	Temperatura Agua (°C)	Observación
01	06/01/2022	04:00	6.00	Estudio de la zona
02	06/01/2022	05:00	6.00	Estudio de la zona
03	06/01/2022	06:00	7.00	Estudio de la zona
04	06/01/2022	07:00	10.00	Estudio de la zona
05	06/01/2022	08:00	11.00	Estudio de la zona

Nro.	Fecha	Hora	Temperatura Agua (°C)	Observación
06	06/01/2022	09:00	13.00	Estudio de la zona
07	06/01/2022	10:00	14.00	Estudio de la zona
08	06/01/2022	11:00	15.00	Estudio de la zona
09	06/01/2022	12:00	17.00	Estudio de la zona
10	06/01/2022	13:00	19.00	Estudio de la zona
11	06/01/2022	14:00	17.00	Estudio de la zona
12	06/01/2022	15:00	15.00	Estudio de la zona
13	06/01/2022	16:00	14.00	Estudio de la zona
14	06/01/2022	17:00	13.00	Estudio de la zona
15	06/01/2022	18:00	12.00	Estudio de la zona

*Fuente:* Elaboración propia, resultados de mediciones en campo.

**Tabla 45**

*Temperaturas máximas del agua, PTAR Juli*

Descripción	Dato	Cant.	Und.	Fuente
Temperatura promedio	T. Prom.	12.60	°C	Estudio de la zona
Temperatura máxima	T. Max	19	°C	Estudio de la zona
Temperatura mínima	T. Min	6.00	°C	Estudio de la zona

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla 46**

*Temperatura del aire, PTAR Juli*

Temperatura media del aire Juli año 2021					
Mes	Und.	Media	Máxima	Mínima	
Enero	°C	10.86	14.65	4.70	
Febrero	°C	10.86	15.39	4.86	
Marzo	°C	9.90	13.91	3.88	
Abril	°C	9.88	14.37	3.71	
Mayo	°C	9.07	14.22	1.88	
Junio	°C	8.03	13.57	-0.34	
Julio	°C	8.42	14.08	0.13	
Agosto	°C	9.05	14.00	0.81	
Setiembre	°C	11.21	15.61	3.50	
Octubre	°C	12.39	16.89	4.08	
Noviembre	°C	12.43	16.39	5.52	
Diciembre	°C	10.36	14.17	5.41	

*Fuente:* SENAMHI

#### 4.2.4. Temperatura de la PTAR del Distrito de Cabana

**Tabla 47**

*Temperatura del agua, PTAR Cabana*

Nro.	Fecha	Hora	Temperatura Agua (°C)	Observación
01	06/01/2022	04:00	6.00	Estudio de la zona
02	06/01/2022	05:00	5.00	Estudio de la zona
03	06/01/2022	06:00	5.00	Estudio de la zona
04	06/01/2022	07:00	6.00	Estudio de la zona
05	06/01/2022	08:00	8.00	Estudio de la zona
06	06/01/2022	09:00	13.00	Estudio de la zona
07	06/01/2022	10:00	14.00	Estudio de la zona
08	06/01/2022	11:00	18.00	Estudio de la zona
09	06/01/2022	12:00	19.00	Estudio de la zona
10	06/01/2022	13:00	17.00	Estudio de la zona
11	06/01/2022	14:00	15.00	Estudio de la zona
12	06/01/2022	15:00	12.00	Estudio de la zona
13	06/01/2022	16:00	11.00	Estudio de la zona
14	06/01/2022	17:00	10.00	Estudio de la zona
15	06/01/2022	18:00	8.00	Estudio de la zona

*Fuente:* Elaboración propia, resultados de mediciones en campo.

**Tabla 48**

*Temperaturas máximas del agua, PTAR Cabana*

Descripción	Dato	Cant.	Und.	Fuente
Temperatura promedio	T. Prom.	11.12	°C	Estudio de la zona
Temperatura máxima	T. Max	19	°C	Estudio de la zona
Temperatura mínima	T. Min	5.00	°C	Estudio de la zona

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla 49***Temperatura del aire, PTAR Cabana*

Mes	Und.	Temperatura del aire Cabana					
		Año 2021			Año 2022		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
Enero	°C	10.00	15.94	4.59	10.45	15.64	4.12
Febrero	°C	10.17	17.12	4.01	10.57	16.12	4.47
Marzo	°C	9.29	15.27	3.84	10.48	16.32	4.36
Abril	°C	8.72	16.67	0.70	9.37	17.53	-0.34
Mayo	°C	8.19	17.43	-1.34	7.21	18.27	-4.75
Junio	°C	7.00	18.30	-4.21	5.35	17.05	-8.85
Julio	°C	6.24	17.68	-6.03	6.27	18.06	-6.63
Agosto	°C	7.51	18.63	-2.95	6.99	18.61	-5.13
Setiembre	°C	8.92	18.47	1.19	7.91	19.57	-2.67
Octubre	°C	10.84	19.29	0.83	8.57	19.46	-0.94
Noviembre	°C	11.59	19.16	1.59	10.37	20.73	0.62
Diciembre	°C	10.74	16.54	3.52			

*Fuente:* SENAMHI

#### 4.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL MANTENIMIENTO Y TIPO

Los resultados obtenidos de la evaluación de las PTAR se observan en la tabla 50 donde la PTAR Chucuito y Capachica obtuvieron un puntaje total de 2 el cual no es aceptable en los niveles de mantenimiento, PTAR Juli y Cabana obtuvieron un puntaje de 1 lo cual indica que tampoco es aceptable.

**Tabla 50**

*Resultados de la evaluación del mantenimiento*

Planta de tratamiento de aguas residuales	Nivel existente y disponibilidad de experiencia técnica	Actividades y frecuencias de O y M en el tren de tratamiento	Puntaje	Actividades de mantenimiento a largo plazo	Puntaje	Monitoreo y documentación	Puntaje	Total
PTAR Chucuito	Operador en la planta, asistencia técnica acude solo en caso de emergencias	Limpieza de estructuras en caso de emergencia cuando se colmata	1	Ninguna	0	No hay monitoreo automático y no se cuenta con documentación necesaria como (expediente técnico, plan de operación y mantenimiento, Cuaderno de Ocurrencias)	0	2
PTAR Capachica	Operador en la planta, asistencia técnica acude solo en caso de emergencias	Limpieza de estructuras en caso de emergencia cuando se colmata	1	Ninguna	0	No hay monitoreo automático y no se cuenta con documentación necesaria como (expediente técnico, plan de operación y mantenimiento, Cuaderno de Ocurrencias)	0	2

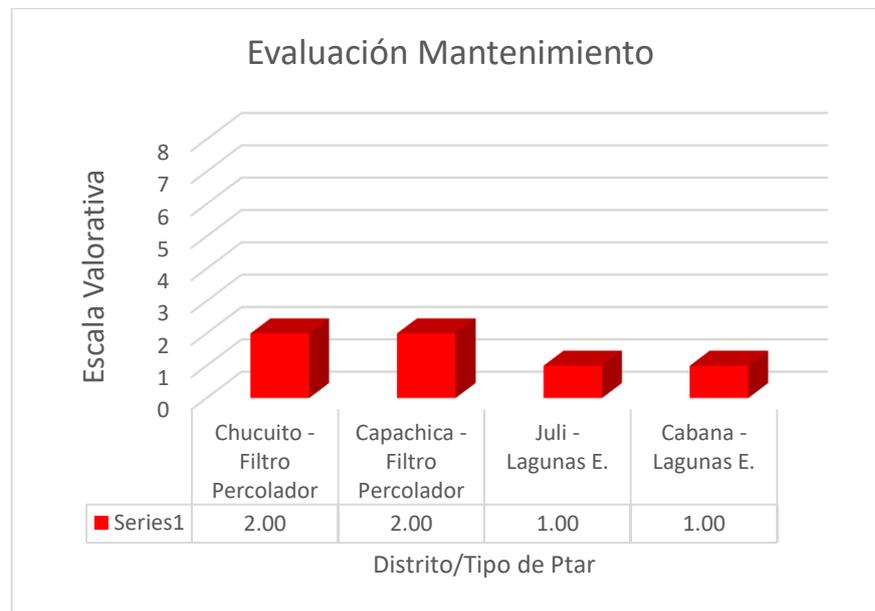


Planta de tratamiento de aguas residuales	Nivel existente y disponibilidad de experiencia técnica	Actividades y frecuencias de O y M en el tren de tratamiento	Actividades de mantenimiento a largo plazo	Monitoreo y documentación	Total
Puntaje	Puntaje	Puntaje	Puntaje	Puntaje	Puntaje
PTAR Juli	Operador en la planta, asistencia técnica acude solo en caso de emergencias	No se hace ningún tipo de limpieza	Ninguna	No hay monitoreo automático y no se cuenta con documentación necesaria como (expediente técnico, plan de operación y mantenimiento, Cuaderno de Ocurrencias)	0 1
PTAR Cabana	Operador en la planta, asistencia técnica acude solo en caso de emergencias	No se hace ningún tipo de limpieza	Ninguna	No hay monitoreo automático y no se cuenta con documentación necesaria como (expediente técnico, plan de operación y mantenimiento, Cuaderno de Ocurrencias)	0 1

*Fuente:* Elaboración propia, resultado de indagaciones y encuestas a las entidades encargadas (fichas de evaluación y encuestas adjuntados en el anexo A).

**Figura 47**

*Evaluación de Mantenimiento*



*Nota:* La evaluación del mantenimiento en función a la escala valorativa.

Para la determinación de los resultados de la operación y mantenimiento se tomaron parámetros de evaluación como: nivel existente y disponibilidad de experiencia técnica, monitoreo y documentación existente, actividad y frecuencia de operación y mantenimiento, actividad de mantenimiento a largo plazo.

#### **4.3.1. Nivel Existente y Disponibilidad de Experiencia Técnica**

En la tabla 51 se muestra el personal operativo que cuenta cada PTAR, evidencia que no se le da la debida importancia a la operación y mantenimiento de las PTAR, la poca presencia del personal ocasiona la falta de medición de caudales y limpiezas en el tratamiento preliminar, lo cual trae consecuencias como la rápida colmatación del tratamiento primario y la disminución de la capacidad de tratamiento de las PTAR.

**Tabla 51**

*Personal encargado de la operación y mantenimiento de PTAR*

Planta de tratamiento de aguas residuales	Oficina encargada	Ingeniero especialista	Personal operario exclusivo	Personal operario que tiene otras funciones
PTAR Chucuito	ATM	0	0	1
PTAR Capachica	ATM	0	0	1
PTAR Juli	ATM	0	0	1
PTAR Cabana	ATM	0	0	1

*Fuente:* Elaboración propia, resultado de indagaciones y encuestas a las entidades encargadas (fichas de evaluación y encuestas adjuntados en el anexo A).

**Figura 48**

*Distribución porcentual en función al personal encargado*



*Nota:* El 100% de las 04 PTAR cuenta con personal operario que tiene otras funciones, y el 0% tiene ingenieros especialistas y personal operario exclusivo.

#### **4.3.1.1. Capacitación del Personal**

La mayoría de los operadores de las PTAR tienen nivel de instrucción básico (secundaria), pero no tienen formación técnica o capacitación relacionada a la operación y manteniendo de PTAR.

Si bien es cierto que la oficina encargada capacita al personal operativo de la PTAR, este personal generalmente trabaja temporalmente, por lo que se hace imposible que tengan un seguimiento constante de la operación y mantenimiento de la PTAR.

**Tabla 52**

*Datos de capacitación al personal*

<b>Planta de tratamiento de aguas residuales</b>	<b>Oficina encargada</b>	<b>Capacitación al personal al año</b>	<b>Cambio del personal operativo por año</b>
PTAR Chucuito	ATM	0	4
PTAR Capachica	ATM	0	3
PTAR Juli	ATM	0	4
PTAR Cabana	ATM	0	5

*Fuente:* Elaboración propia, resultado de indagaciones y encuestas a las entidades encargadas (fichas de evaluación y encuestas adjuntados en el anexo A).

#### **4.3.1.2. Seguridad en el Trabajo**

Al momento del monitoreo se pudo evidenciar que los operadores de las PTAR, no cuentan con uniformes de trabajo y equipos de seguridad personal lo cual dificulta que se realice trabajos de mantenimiento y/o trabajos de limpieza.

**Tabla 53**

*Datos de entrega de EPP al personal*

<b>Planta de tratamiento de aguas residuales</b>	<b>Oficina encargada</b>	<b>Entrega de EPP por semana</b>	<b>Entrega de EPP por mes</b>
PTAR Chucuito	ATM	0	0
PTAR Capachica	ATM	0	0
PTAR Juli	ATM	0	0
PTAR Cabana	ATM	0	0

*Fuente:* Elaboración propia, resultado de indagaciones y encuestas a las entidades encargadas (fichas de evaluación y encuestas adjuntados en el anexo A).

#### **4.3.2. Actividad y Frecuencia de Operación y Mantenimiento**

La correcta operación de una PTAR se evidencia en las superficies limpias de solidos flotantes (bolsas plásticas, lodo, etc.) y vegetación flotante (algas y plantas

acuáticas) que debido a la sombra que producen, inhiben la producción del oxígeno en la PTAR lo que impide la correcta operación de la PTAR, se pudo encontrar que en ninguna PTAR se realizan actividades de operación tales como limpieza de la cámara de rejillas, desarenador, entre otros, ya que se encontraron los componentes del pretratamiento completamente colmatados y llenos de material orgánico. Para la evaluación del presente parámetro se realizó con lo establecido en el Anexo N° 12 del Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N° 011-2007-SUNASS-CD, el cual se muestra en la tabla 54 y 56.

**Tabla 54**

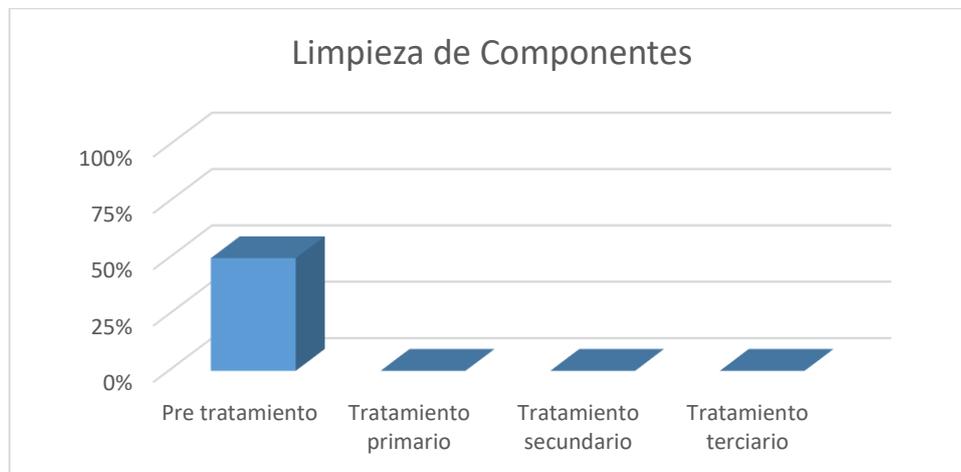
*Resultados de actividades de operación y mantenimiento.*

<b>Planta de tratamiento de aguas residuales</b>	<b>Limpieza de componentes de pre tratamiento</b>	<b>Limpieza de componentes del tratamiento primario</b>	<b>Limpieza de componentes del tratamiento secundario</b>	<b>Limpieza de componentes del tratamiento terciario</b>
PTAR Chucuito	Si	No	No	No
PTAR Capachica	Si	No	No	No
PTAR Juli	No	No	No	No
PTAR Cabana	No	No	No	No

*Fuente:* Elaboración propia, resultado de indagaciones y encuestas a las entidades encargadas (fichas de evaluación y encuestas adjuntados en el anexo A).

**Figura 49**

*Distribución porcentual en función a la limpieza por componente*



*Nota:* En el 50% de PTAR evaluadas se hace limpieza del pre tratamiento, y el 0% del tratamiento primario, secundario y terciario.

#### 4.3.3. Operación y Mantenimiento a Largo Plazo.

Este parámetro de evaluación se refiere a las actividades de operación y mantenimiento que se deben realizar como mínimo anualmente, por ejemplo, la extracción de lodos de las lagunas y del tanque Imhoff, cuyo resultado se muestran en las tablas 55 y 56.

**Tabla 55**

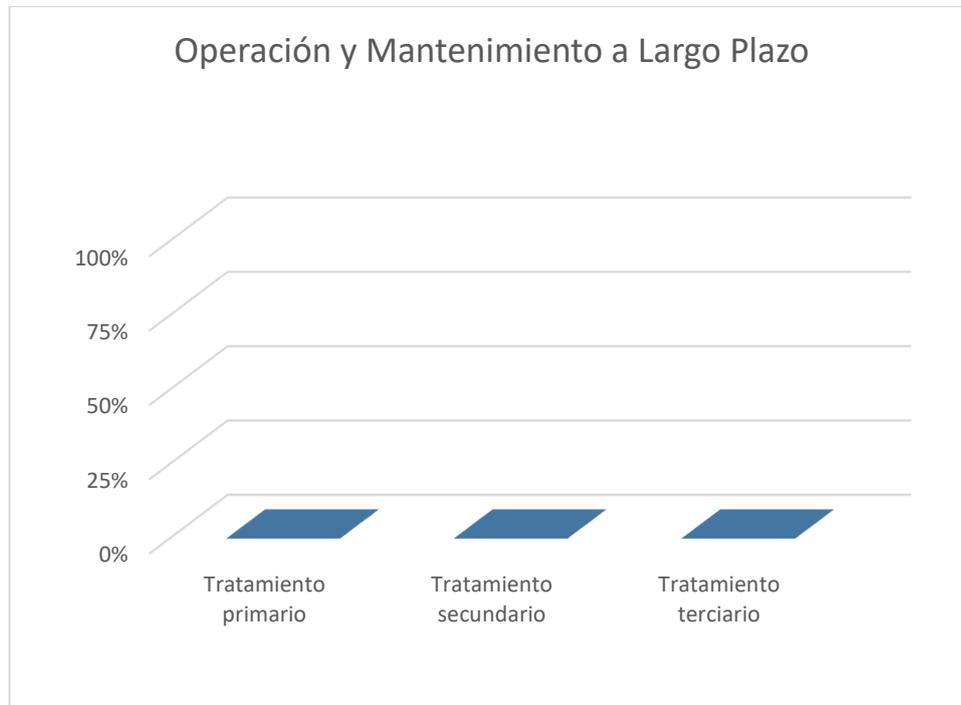
*Actividades mantenimiento de la PTAR en los últimos 03 años.*

Planta de tratamiento de aguas residuales	mantenimiento de componentes del tratamiento primario	mantenimiento de componentes del tratamiento secundario	mantenimiento de componentes del tratamiento terciario
PTAR Chucuito	no	no	no
PTAR Capachica	no	no	no
PTAR Juli	no	no	no
PTAR Cabana	no	no	no

Fuente: Elaboración propia, resultado de indagaciones y encuestas a las entidades encargadas (fichas de evaluación y encuestas adjuntados en el anexo A).

**Figura 50**

*Distribución porcentual en función a la operación y mantenimiento a largo plazo.*



*Nota:* El 0% de las 04 PTAR evaluadas realizan operación y mantenimiento a largo plazo del tratamiento primario, secundario y terciario.

**Tabla 56**

*Resultados de frecuencia mínima de principales actividades de operación y mantenimiento de PTAR*

Cumplimiento con lo establecido en el anexo 12 del Reglamento de calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento			Resultados de PTAR			
Tecnología de tratamiento	Actividad	Frecuencia mínima	Capachica	Chucuito	Juli	Cabana
Rejas	Limpieza de rejas.	Dos veces por día.	Si	Si	No	No
Desarenador	Limpieza desarenador.	Semanal.	No	No	No	No
	Remoción de flotantes de las superficies de agua.	Semanal.	No	No	-	-
Tanque Imhoff	Remoción de lodos de cámara de digestión.	≤ frecuencia del diseño, mínimo anual.	No	No	-	-
	Batimetría.	* Cada dos años.	-	-	No	No



Cumplimiento con lo establecido en el anexo 12 del Reglamento de calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento			Resultados de PTAR			
Tecnología de tratamiento	Actividad	Frecuencia mínima	Capachica	Chucuito	Juli	Cabana
Lagunas facultativas primarias	Eliminación de vegetación del centro de agua.	* De contar con un historial de acumulación promedio del lodo de por lo menos 2 batimetrías, esta puede realizarse cada 3 años.  Mensual.	-	-	No	No
	Eliminación de vegetación en taludes y otros bordes con contacto con el agua.	Mensual (salvo cuenta con revestimiento de geomembrana o losa u otro material).	-	-	No	No
	Remoción de lodos.	* La limpieza se realiza en caso las alturas del lodo sobrepase el 50% del tirante de la laguna o supere el nivel de agua en 0.05m en las zonas de ingreso y salida. * En caso no se cuenta con lo supuesto anterior, la limpieza se debe realizar cada 10 años.	-	-	No	No
Filtro percolador (con sedimentación secundaria)	Mantenimiento del sistema de distribución del afluente (tales como lubricación, cambio de aceite, sellos y glándulas, limpieza, de ser el caso, etc.), barredor del sedimentador y otros electromecánicos.	Trimestral.	No	No	-	-

Cumplimiento con lo establecido en el anexo 12 del Reglamento de calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento			Resultados de PTAR			
Tecnología de tratamiento	Actividad	Frecuencia mínima	Capachica	Chucuito	Juli	Cabana
Cloración	Verificación que el equipamiento de seguridad está completo y operativo.	Mensual.	No	No	-	No

*Fuente:* Elaborado y adaptado de la Resolución de Consejo Directivo N° 011-2007-SUNASS-CD Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento.

#### 4.3.4. Monitoreo y Documentación Existente de las PTAR

Las PTAR no cuentan con documentación, por lo que se desconocen los detalles de su construcción, tales como dimensiones de los reactores del tratamiento y valores de diseño (caudal, carga orgánica y otros datos), tampoco con un plan de operación y mantenimiento; los operadores tampoco cuentan con algún cuaderno de ocurrencias por lo que se hace imposible tener un historial de las PTAR.

**Tabla 57**

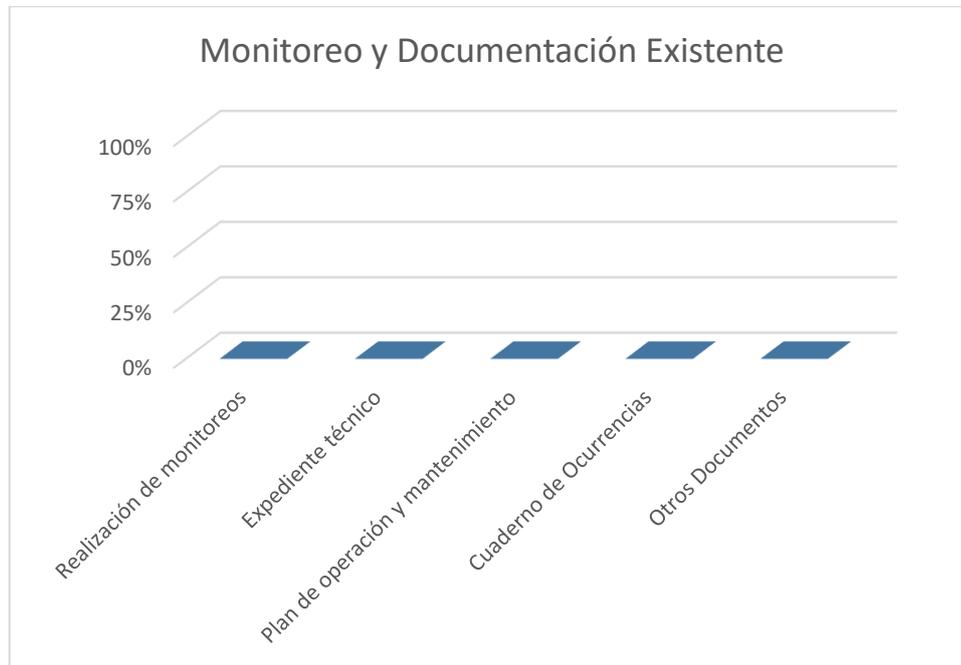
*Resultados de monitoreo y documentación existente de las PTAR.*

Planta de tratamiento de aguas residuales	Realización de monitoreos	Expediente técnico	Plan de operación y mantenimiento	Cuaderno de Ocurrencias	Otros Documentos
PTAR Chucuito	no	no	no	no	no
PTAR Capachica	no	no	no	no	no
PTAR Juli	no	no	no	no	no
PTAR Cabana	no	no	no	no	no

*Fuente:* Elaboración propia, resultado de indagaciones y encuestas a las entidades encargadas (fichas de evaluación y encuestas adjuntados en el anexo A).

**Figura 51**

*Distribución porcentual en función al monitoreo y documentación existente*



*Nota:* El 0% de las 04 PTAR evaluadas cuenta con documentación de monitoreo, expediente técnico, plan de operación y mantenimiento, cuaderno de ocurrencias y otros documentos.

#### 4.3.5. Evaluación del Tipo de PTAR

Las plantas de tratamiento de aguas residuales evaluadas cuentan con diversas etapas de tratamiento (primario, secundario, terciario y desinfección), y cada etapa con diferentes estructuras.

**Tabla 58**

*Resultados de evaluación de tipo y componentes de PTAR.*

PTAR	Descripción	Resultado	Descripción de componentes
Chucuito norte	Tipo de PTAR: Antigüedad: Estado:	Filtros biológicos. 6 años Operativo sin mantenimiento	Consta de un tratamiento preliminar con: 01 Rejillas, 01 Desarenador, 01 medidor Parshall, 01 desengrasador; como tratamiento Primario: 01 sedimentador primario, secundario, 02 filtro de arena y grava; tratamiento Secundario: 02 Filtros biológicos;

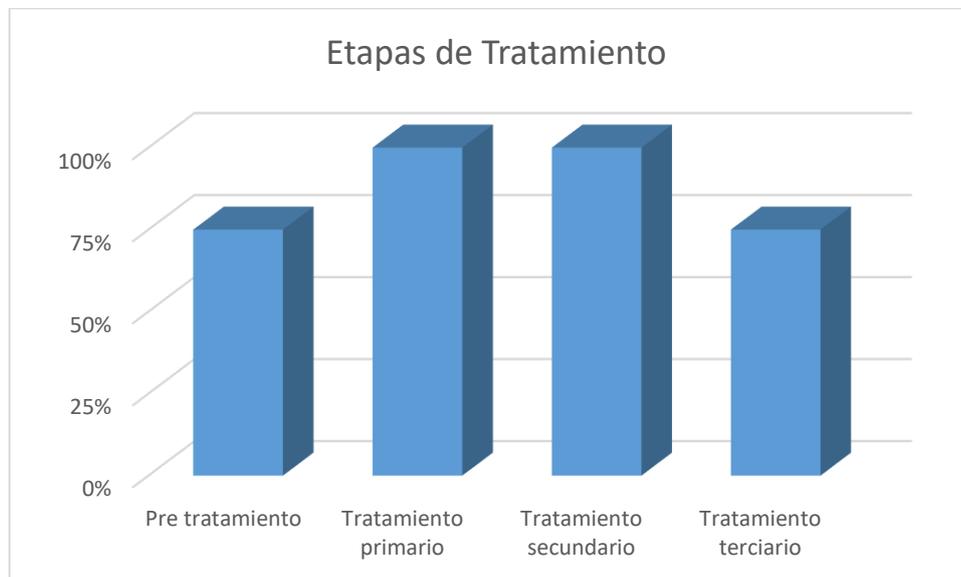


PTAR	Descripción	Resultado	Descripción de componentes
			tratamiento Terciario: humedales artificiales y 01 cámara de contacto.
Capachica	Tipo de PTAR:	Filtros biológicos.	Consta de un tratamiento preliminar con: cámara de rejillas, 01 medidor Parshall; como tratamiento Primario: 01 tanque Inhoff; tratamiento Secundario: 04 Filtros biológicos; tratamiento Terciario: filtro intermitente de arena y cámara de cloración.
	Antigüedad:	5 años	
	Estado:	Operativo sin mantenimiento	
Juli	Tipo de PTAR:	Lagunas de estabilización	No cuenta con un tratamiento preliminar, como tratamiento primario y secundario cuenta son 02 lagunas facultativas primarias seguida de 02 lagunas facultativas secundarias ambas en paralelo.
	Antigüedad:	35 años	
	Estado	Operativo sin mantenimiento	
Cabana	Tipo de PTAR:	Lagunas de estabilización	Tratamiento preliminar: cámara de rejillas y repartidor de caudal, como tratamiento primario y secundario cuenta son 02 lagunas facultativas primarias seguida de 02 lagunas facultativas secundarias ambas en paralelo, y como tratamiento terciario una cámara de cloración.
	Antigüedad:	03 años	
	Estado	Operativo sin mantenimiento	
Zepita	Tipo de PTAR:	Filtro biológico	Tomado adicionalmente solo para verificación.
	Antigüedad:	10 años	
	Estado	Operativo sin mantenimiento	
Paucarcolla	Tipo de PTAR:	Filtro biológico	Tomado adicionalmente solo para verificación.
	Antigüedad:	10 años	
	Estado	Inoperativo sin mantenimiento	
Acora	Tipo de PTAR:	Filtro biológico	Tomado adicionalmente solo para verificación.
	Antigüedad:	8 años	
	Estado	Colapsado	

*Fuente:* Elaboración propia, resultado de la evaluación en campo (anexo A).

**Figura 52**

*Distribución porcentual en función a las etapas de tratamiento*



*Nota:* De las 04 PTAR evaluadas el 75% cuenta con pretratamiento y tratamiento terciario y el 100% cuenta con tratamiento primario y secundario.

#### **4.4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA Y OPERATIVIDAD DE LAS PTAR**

##### **4.4.1. Evaluación de la Eficiencia en Cuanto a la Remoción de Contaminantes**

Los parámetros evaluados y la eficiencia en cuanto a la remoción de contaminantes de cada sistema de tratamiento se muestran en las siguientes tablas, y se usó la siguiente ecuación para la determinación de la eficiencia.

$$E = (S_o - S) / S_o \times 100 \quad : \text{De la Vega (2012)}$$

Donde:

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

*S*: Carga contaminante de salida de la PTAR

*S<sub>o</sub>*: Carga contaminante entrante a la PTAR

**Tabla 59***Resultados de la eficiencia de PTAR Chucuito*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Ingreso</b>	<b>Salida</b>	<b>Eficiencia</b>
Aceites y Grasas	mg/L	65.9	15.78	76%
Coliformes Termo Tolerantes	Nnmp/100ml	16000000	670000	95.81%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	270.56	130.20	52%
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	440.2	280.23	36%
Potencial de Hidrogeno	pH	7.85	8.95	-14%
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	140	90	36%

*Fuente:* Elaboración propia.**Tabla 60***Resultados de la eficiencia de PTAR Capachica*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Ingreso</b>	<b>Salida</b>	<b>Eficiencia</b>
Aceites y Grasas	mg/L	41.28	10.23	75%
Coliformes Termo Tolerantes	Nnmp/100ml	13000000	130000	99%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	386.67	110.3	71%
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	500.67	210	58%
Potencial de Hidrogeno	pH	7.83	8.15	-4%
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	193	53	73%

*Fuente:* Elaboración propia.**Tabla 61***Resultados de la eficiencia de PTAR Juli*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Ingreso</b>	<b>Salida</b>	<b>Eficiencia</b>
Aceites y Grasas	mg/L	65.23	42.3	35%
Coliformes Termo Tolerantes	Nnmp/100ml	45000000	110000	99.76%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	250.5	150.5	40%
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	520	310	40%
Potencial de Hidrogeno	pH	7.85	8.95	-14%
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	150	120.56	20%

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla 62**

*Resultados de la eficiencia de PTAR Cabana*

<b>Parámetros Físico Químicos</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Ingreso</b>	<b>Salida</b>	<b>Eficiencia</b>
Aceites y Grasas	mg/L	65.41	20.23	69%
Coliformes Termo Tolerantes	Nnmp/100ml	26000000	170000	99.41%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	239.4	58	76%
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	489.94	119.39	76%
Potencial de Hidrogeno	pH	8.12	7.54	7%
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	189.22	120	37%

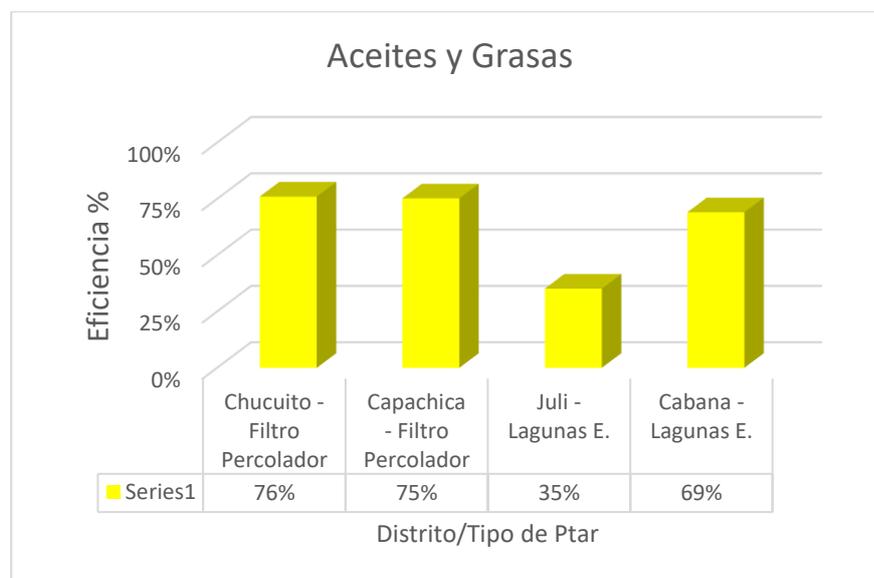
*Fuente:* Elaboración propia.

#### 4.4.1.1. Aceites y Grasas

El sistema que presenta la mayor eficiencia en cuanto a la remoción del parámetro aceites y grasas es el sistema de filtro percolador (Chucuito) con una eficiencia del 76% seguido del sistema de filtro percolador (Capachica) con una eficiencia de 75% y como tercero se tiene el sistema de lagunas de estabilización (Cabana) con una eficiencia del 69%, los datos mencionados se observan en la figura 53 que se muestra a continuación.

**Figura 53**

*Eficiencia en la remoción de aceites y grasas*



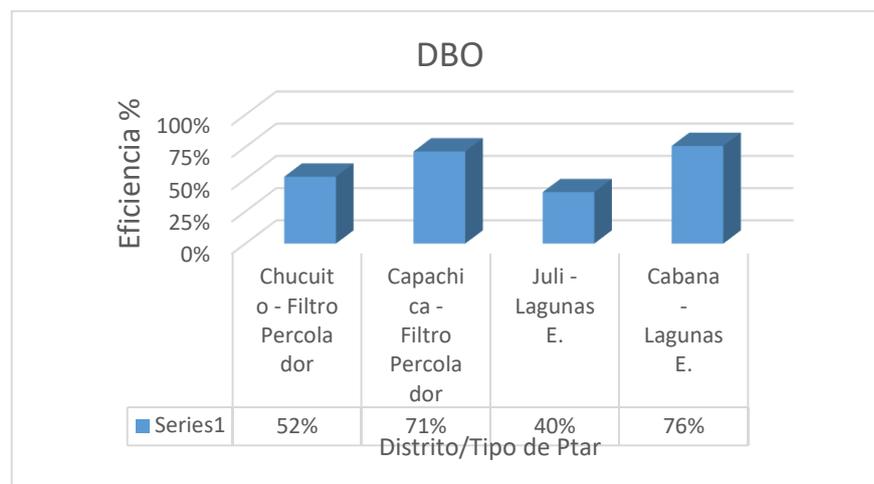
*Nota:* Eficiencia en la remoción de aceites y grasas en función a los PTAR evaluada.

#### 4.4.1.2. DBO

Los sistemas de tratamiento Lagunas de estabilización del distrito de Cabana con 76% y Filtro percolador del distrito de Capachica cuentan con 71% para la remoción del DBO, los datos evaluados se muestran en la figura 54 que se muestra a continuación.

**Figura 54**

*Eficiencia en la remoción de materia orgánica expresada como DBO*



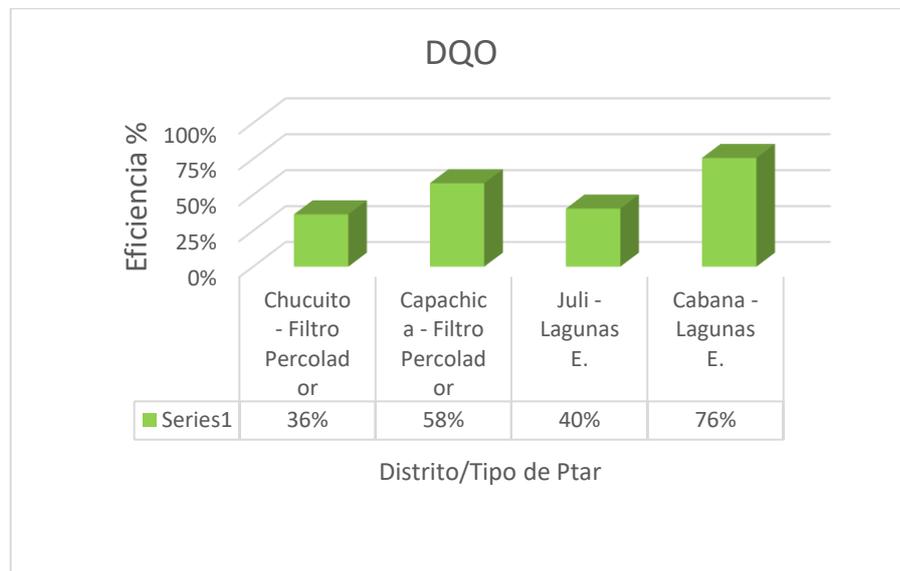
*Nota:* Eficiencia en la remoción de materia orgánica expresada como DBO en función a los PTAR evaluadas.

#### 4.4.1.3. DQO

El sistema que presenta la mayor eficiencia para remover la materia orgánica expresada como la producción de la DQO es la laguna de estabilización del distrito de Cabana con una eficiencia del 76% seguido del sistema de filtro percolador (Capachica) con una eficiencia de 58%, posterior a ello se tiene también un sistema de lagunas de estabilización (Juli), cuyas eficiencias se muestran en la figura 55 que se muestra a continuación.

**Figura 55**

*Eficiencia en la eliminación de materia orgánica expresada como DQO*



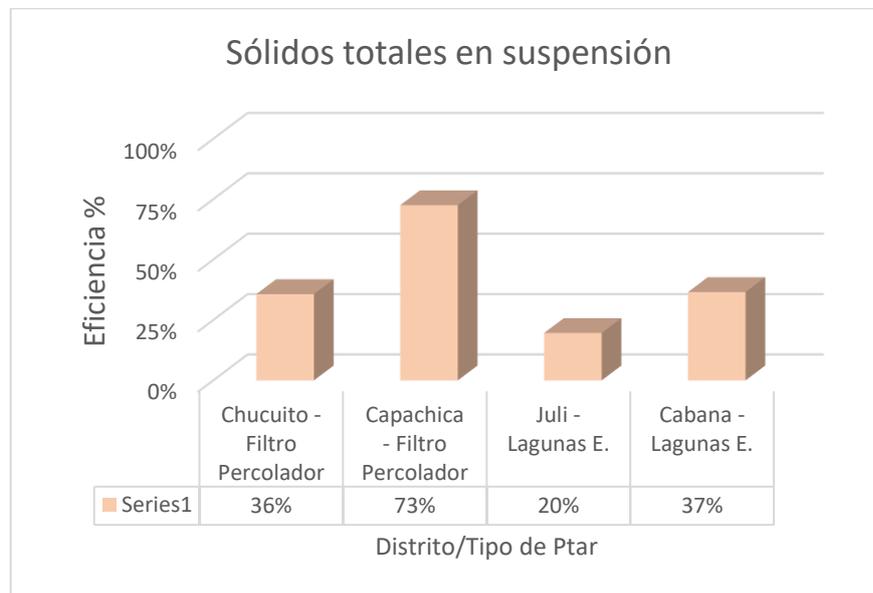
*Nota:* Eficacia en la eliminación de materia orgánica expresada como DQO en función a los PTAR evaluadas.

#### **4.4.1.4. Sólidos Totales en Suspensión**

El sistema que mejor remueve los sólidos totales en suspensión es el filtro percolador (Capachica) con un 73%, seguido de la laguna de estabilización (Cabana) con un 37% de eficiencia y el sistema de filtro percolador (Chucuito) con un 36% de eficiencia, seguido del sistema, de laguna de estabilización (Juli) con una eficiencia del 20% tal como se muestra en la figura 56.

**Figura 56**

*Eficiencia en la remoción de sólidos totales en suspensión*



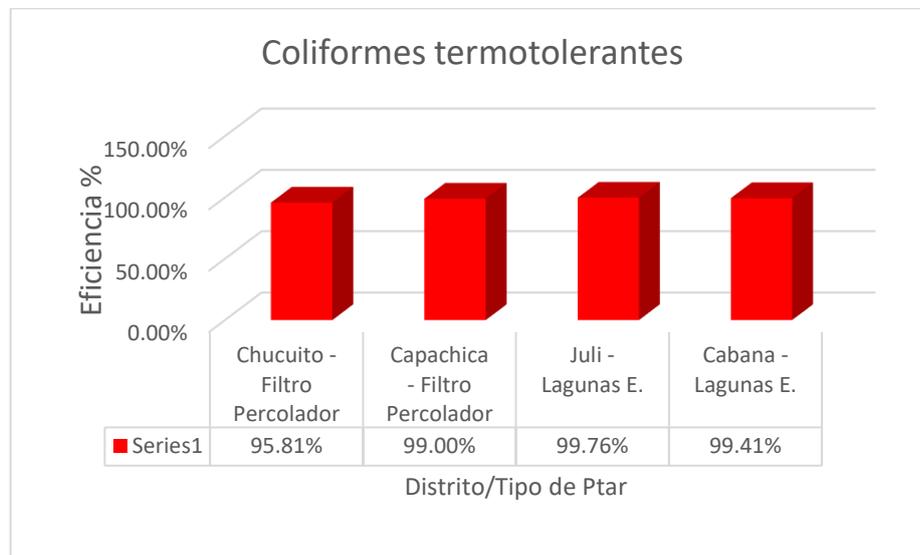
*Nota:* Eficiencia en la remoción de sólidos totales en suspensión en función a los sistemas de tratamiento evaluadas.

#### 4.4.1.5. *Coliformes Termotolerantes*

Según los resultados mostrados en la figura, las plantas de tratamiento de agua residual evaluados tienen una eficiencia considerable en cuanto a la remoción de coliformes termo tolerantes.

**Figura 57**

*Eficiencia en la eliminación de coliformes termo tolerantes*



*Nota:* Eficiencia en la eliminación de coliformes termo tolerantes en función a los sistemas de tratamiento evaluadas.

**Tabla 63**

*Cuadro general de las PTAR evaluadas*

PTAR evaluada	Descripción	Aceites y grasas	coliformes termo tolerantes (Nnmp/100ml)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)		
<b>CHUCUITO</b>	afluente	65.9	16000000	270.56	440.2	140		
	Altitud (msnm)	3871	efluente	15.78	670000	130.20	280.23	90
	Temperatura prom. (°C)	12.87	cuerpo receptor	6.31	1000	7.52	17.52	40.42
	Población (personas)	1135	LMP	20	10000	100	200	150
	Caudal prom. (l/s)	1.36	eficiencia	76%	95.81%	52%	36%	36%
	Antigüedad (años)	6	conclusiones	cumple	no cumple	no cumple	no cumple	cumple
	<b>CAPACHICA</b>	afluente	41.28	13000000	386.67	500.67	193	
Altitud (msnm)	3860	efluente	10.23	130000	110.3	210	53	
Temperatura prom. (°C)	13.20	cuerpo receptor	5.41	1500	5.40	9.94	89.22	



PTAR evaluada		Descripción	Aceites y grasas	coliformes termo tolerantes (Nnmp/100ml)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)
Población (personas)	944	LMP	20	10000	100	200	150
Caudal prom. (l/s)	1.59	eficiencia	75%	99%	71%	58%	73%
Antigüedad (años)	5	conclusiones	cumple	no cumple	no cumple	no cumple	cumple
<b>JULI</b>		afluente	65.23	45000000	250.5	520	150
Altitud (msnm)	3888	efluente	42.3	110000	150.5	310	120.56
Temperatura prom. (°C)	12.60	cuerpo receptor	15.41	1700	5	17.05	120
Población (personas)	8148	LMP	20	10000	100	200	150
Caudal prom. (l/s)	5.35	eficiencia	35%	99.76%	40%	40%	20%
Antigüedad (años)	35	conclusiones	no cumple	no cumple	no cumple	no cumple	cumple
<b>CABANA</b>		afluente	65.41	26000000	239.4	489.94	189.22
Altitud (msnm)	3901	efluente	20.23	170000	58	119.39	120
Temperatura prom. (°c)	11.13	cuerpo receptor	10.01	81	2.7	9.16	63
Población (personas)	934	LMP	20	10000	100	200	150
Caudal prom. (l/s)	1.61	eficiencia	69%	99.41%	76%	76%	37%
Antigüedad (años)	3	conclusiones	no cumple	no cumple	cumple	cumple	cumple

*Nota:* Datos de población obtenidas del INEI.

#### 4.5. RESULTADOS DE LA INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA Y OPERATIVIDAD

##### 4.5.1. Incidencia del Factor Climatológico (Temperatura)

###### 4.5.1.1. Para Lagunas

La temperatura tiene una incidencia directa con la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales ya que al existir variaciones en la temperatura la eficiencia también varía, es decir, si la temperatura disminuye lo mismo sucede con la eficiencia.

Para ello usaremos los parámetros de DBO y coliformes termotolerantes, ya que son parámetros más incidentes y son considerados como factores de diseño.

- **Para coliformes termotolerantes**

Con los datos obtenidos de temperatura se calcularán las eficiencias de remoción de coliformes termotolerantes mediante ecuaciones propuestos por Yáñez (1983) y el RNE (Reglamento nacional de edificaciones), para ellos usaremos datos obtenidos de la PTAR Cabana.

$$K_T = K_{20} * 1.05^{(T-20)} \quad d = \frac{x}{-0.26118 + 0.25392x + 1.0136x^2}$$

$$a = \sqrt{1 + 4 * K * \theta_f * d} \quad \frac{N_f}{N_o} = \frac{4 * a * e^{-\frac{1-a}{2d}}}{(1+a)^2} \quad \% = \frac{(N_o - N_f) * 100}{N_o}$$

.Donde:

T: Temperatura (°C).

$K_T$ : Coeficiente de mortalidad neto a temperatura del agua (día<sup>-1</sup>).

$K_{20}$ : Coeficiente de mortalidad neto a 20 °C (día<sup>-1</sup>) valores de 0.6 a 1 según

OS.090.

d: Factor de dispersión adimensional.

$a$  : Constante adimensional

x: Relación largo ancho mínima de 2 según RNE (OS.090).

$\theta_f$ : Tiempo de retención  $\geq 10$  días.

$N_o$ : Coliformes termotolerantes en el afluente (NMP/100ml).

$N_f$ : Coliformes termotolerantes en el efluente (NMP/100ml).

%: Eficiencia en remoción de Coliformes.

Datos obtenidos de la evaluación de la PTAR Cabana:

$$K_{20} = 0.60 \text{ día}^{-1}$$

$$x = 2, d = 0.47$$



$$\Theta_f = 16 \text{ días.}$$

$$N_o = 26000000 \text{ NMP/100ml} = 2.6E+7 \text{ NMP/100ml.}$$

Los resultados de la incidencia de la temperatura en la eficiencia en remoción de coliformes termotolerantes se muestran en la tabla 64, donde se observa la relación que existe entre la temperatura y la eficiencia.

**Tabla 64**

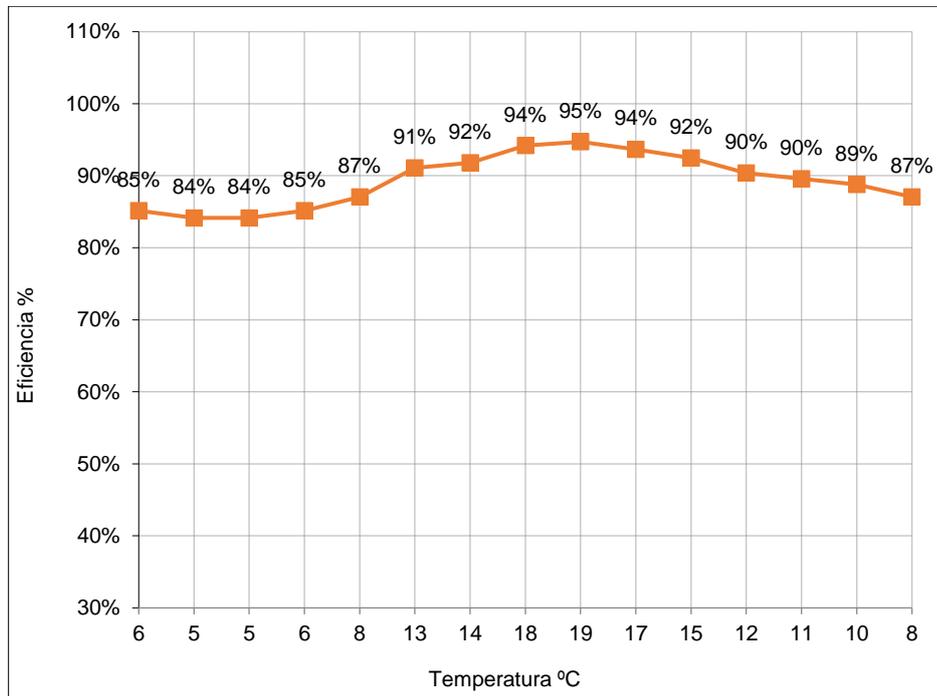
*Incidencia de la temperatura en la eficiencia en remoción de coliformes termotolerantes*

<b>Hora de muestreo</b>	<b>T (°C)</b>	<b><math>K_T</math></b>	<b><math>a</math></b>	<b><math>N_f</math> (NMP/100ml)</b>	<b>%</b>
04:00	6	0.30	3.18	1.86E+06	93%
05:00	5	0.29	3.11	2.03E+06	92%
06:00	5	0.29	3.11	2.03E+06	92%
07:00	6	0.30	3.18	1.86E+06	93%
08:00	8	0.33	3.32	1.56E+06	94%
09:00	13	0.43	3.72	9.64E+05	96%
10:00	14	0.45	3.80	8.68E+05	97%
11:00	18	0.54	4.17	5.58E+05	98%
12:00	19	0.57	4.26	4.96E+05	98%
13:00	17	0.52	4.07	6.26E+05	98%
14:00	15	0.47	3.89	7.81E+05	97%
15:00	12	0.41	3.64	1.07E+06	96%
16:00	11	0.39	3.55	1.18E+06	95%
17:00	10	0.37	3.48	1.30E+06	95%
18:00	8	0.33	3.32	1.56E+06	94%

*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 58**

*Temperatura vs eficiencia en remoción de Coliformes termotolerantes*



*Nota:* En la figura se puede observar que existe una incidencia directa de la temperatura en la eficiencia en remoción de coliformes termotolerantes, ya que si baja la temperatura la eficiencia también lo hace.

- **Para DBO**

En la siguiente tabla se puede observar que con los datos obtenidos de la temperatura se calculan las eficiencias de parámetros como DBO, mediante ecuaciones propuestas por Yáñez (1983) para el diseño, con esto se verifica que la temperatura afecta de forma directa en la eficiencia, para ello usaremos datos de la PTAR Cabana.

$$L_e = \frac{L_i}{k_f * \Theta_f + 1} \quad K_f = \frac{1.2}{1.085^{35-T}} \quad \% = \frac{(L_i - L_e) * 100}{L_i}$$

Donde:

$K_f$ : Constante de decaimiento a una temperatura en cualquiera (día<sup>(-1)</sup>).

$L_e$ : Concentración promedia del DBO5 en el efluente (mg/l).



$L_i$  : Concentración promedio del DBO5 en el afluente (mg/l), se usará 239.4 mg/l.

$\theta_f$ : Tiempo de retención  $\geq 10$  días, se usará 16 días.

%: Eficiencia en remoción.

T: Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

**Tabla 65**

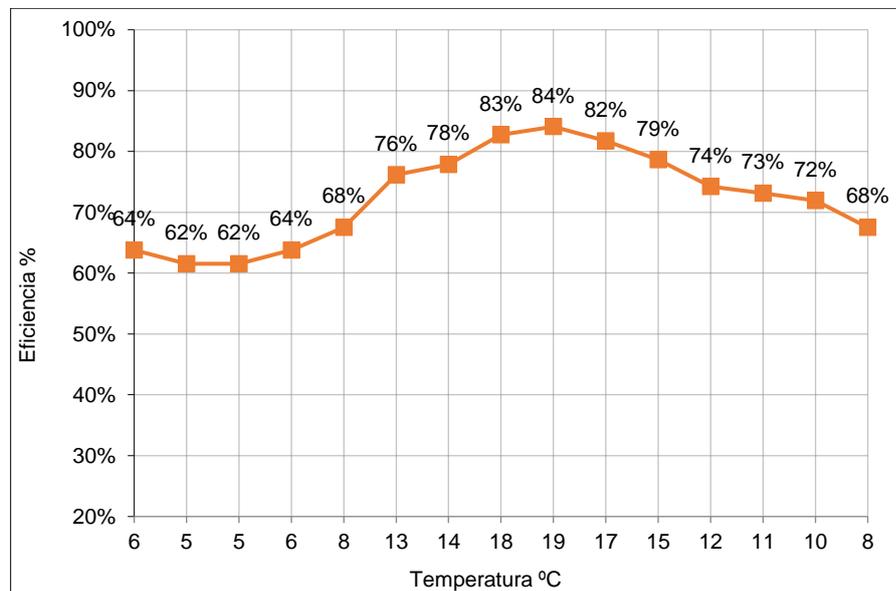
*Incidencia de la temperatura en la eficiencia en remoción de DBO*

Hora de muestreo	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	$K_f$	$L_i$ (mg/l)	%
04:00	6	0.11	86.74	64%
05:00	5	0.10	92.08	62%
06:00	5	0.10	92.08	62%
07:00	6	0.11	86.74	64%
08:00	8	0.13	77.73	68%
09:00	13	0.20	57.00	76%
10:00	14	0.22	52.96	78%
11:00	18	0.30	41.28	83%
12:00	19	0.33	38.12	84%
13:00	17	0.28	43.69	82%
14:00	15	0.23	51.15	79%
15:00	12	0.18	61.70	74%
16:00	11	0.17	64.35	73%
17:00	10	0.16	67.25	72%
18:00	8	0.13	77.73	68%

*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 59**

*Temperatura vs eficiencia en remoción de DBO*



*Nota:* En la figura se puede observar que existe una incidencia directa de la temperatura en la eficiencia en remoción de DBO, ya que si baja la temperatura lo mismo sucede con la eficiencia.

#### 4.5.1.2. Para Filtros Biológicos

- **Para DBO**

Existen diversas ecuaciones empleadas para el diseño de filtros percoladores, para hacer el análisis de incidencia de temperatura utilizaremos las ecuaciones de NRC National Research Council, son ecuaciones empíricas creadas a partir de estudios en aguas residuales típicas o domésticas, para lo cual usaremos los datos obtenidos de la PTAR Chucuito.

$$E = \frac{1}{1 + 0.443\sqrt{W1/V1F1}}$$

Donde:

E1: Eficiencia fraccional de remoción.

W1: Carga orgánica aplicada al filtro de primera etapa.



V1: Volumen total del medio filtrante.

F1: Factor de recirculación para el filtro de primera etapa.

Según Germain los valores de K se corrigen con la temperatura según la siguiente ecuación:

$$K_T = K_{20}(1.035)^{T-20}$$

Donde:

$K_T$ : Constante de tratabilidad a la temperatura de diseño T.

$K_{20}$ : Constante de tratabilidad a la temperatura a 20°C.

T: Temperatura mínima esperada, °C.

Los resultados de la incidencia de la temperatura en la eficiencia en emoción del DBO se muestran en la tabla 66, donde se observa la relación que existe entre la temperatura y la eficiencia.

**Tabla 66**

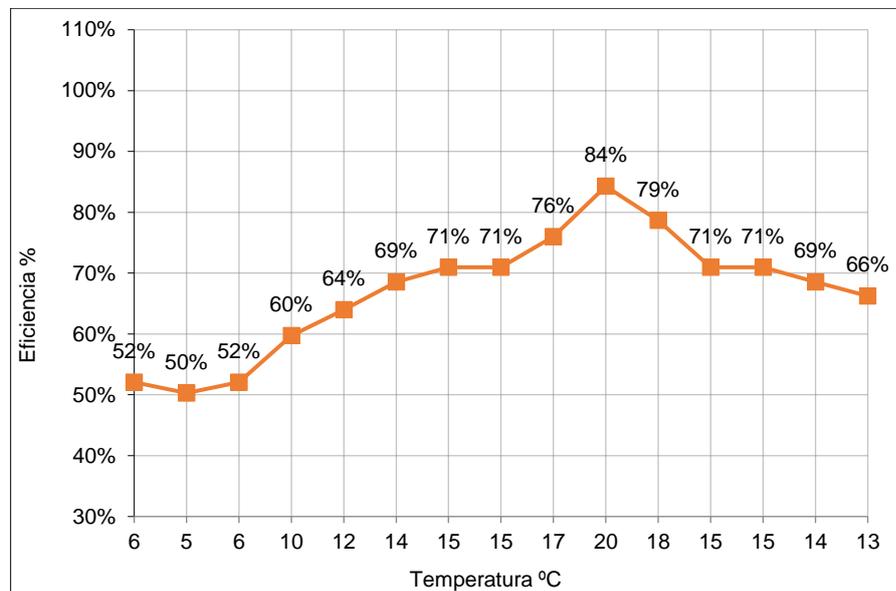
*Incidencia de la temperatura en la eficiencia en remoción de DBO*

Hora de muestreo	T (°C)	$K_T$	W1 (kg.DBO/día)	V1 (m3)	%
04:00	6	0.62	22.25	125.28	52%
05:00	5	0.60	22.25	125.28	50%
06:00	6	0.62	22.25	125.28	52%
07:00	10	0.71	22.25	125.28	60%
08:00	12	0.76	22.25	125.28	64%
09:00	14	0.81	22.25	125.28	69%
10:00	15	0.84	22.25	125.28	71%
11:00	15	0.84	22.25	125.28	71%
12:00	17	0.90	22.25	125.28	76%
13:00	20	1.00	22.25	125.28	84%
14:00	18	0.93	22.25	125.28	79%
15:00	15	0.84	22.25	125.28	71%
16:00	15	0.84	22.25	125.28	71%
17:00	14	0.81	22.25	125.28	69%
18:00	13	0.79	22.25	125.28	66%

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 60**

*Temperatura vs eficiencia en remoción de DBO*



*Nota:* En la figura se puede observar que existe una incidencia directa de la temperatura en la eficiencia en remoción de DBO5 y coliformes termotolerantes, ya que si baja la temperatura lo mismo sucede con la eficiencia.

#### **4.5.2. Incidencia del Mantenimiento y Tipo**

El mantenimiento incide directamente en la eficiencia y operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales ya que, al no existir las actividades de mantenimiento disminuye completamente la eficiencia de remoción de cargas contaminas de una PTAR, lo que es contrario a la etapa de diseño de una PTAR ya que en esta etapa las eficiencias son altas (eficiencias recomendadas por el RNE) considerando un óptimo mantenimiento y por ende su funcionamiento.

En las siguientes tablas se puede apreciar que las eficiencias obtenidas están por debajo de las eficiencias establecidas en el RNE, a consecuencia del mantenimiento.

**Tabla 67**

*Eficiencia teórica y real de las PTAR de Cabana y Juli*

Parámetro	Componentes de PTAR	E. remoción según RNE	Niveles de aceptación		Resultados Cabana		Resultados Juli	
			E. teórica total del sistema	Ptje. M.	E.	Ptje. M.	E.	Ptje. M.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	Laguna facultativa primaria	70-85%	91-98%	0-3: nada aceptable	76%	1: nada aceptable	40%	1: nada aceptable
	Laguna facultativa secundaria	70-85%		4-6: poco aceptable				
Bacterias (Coliformes termotolerantes)	Laguna facultativa primaria	90-99.99%	90-99.99%	7-8: aceptable	99.41%	99.76%	99.76%	99.76%
	Laguna facultativa secundaria	90-99.99%		7-8: aceptable				

*Fuente:* Elaboración propia, donde E: eficiencia, M: mantenimiento, Ptje: puntaje.

**Tabla 68**

*Eficiencia teórica y real de las PTAR de Capachica y Chucuito*

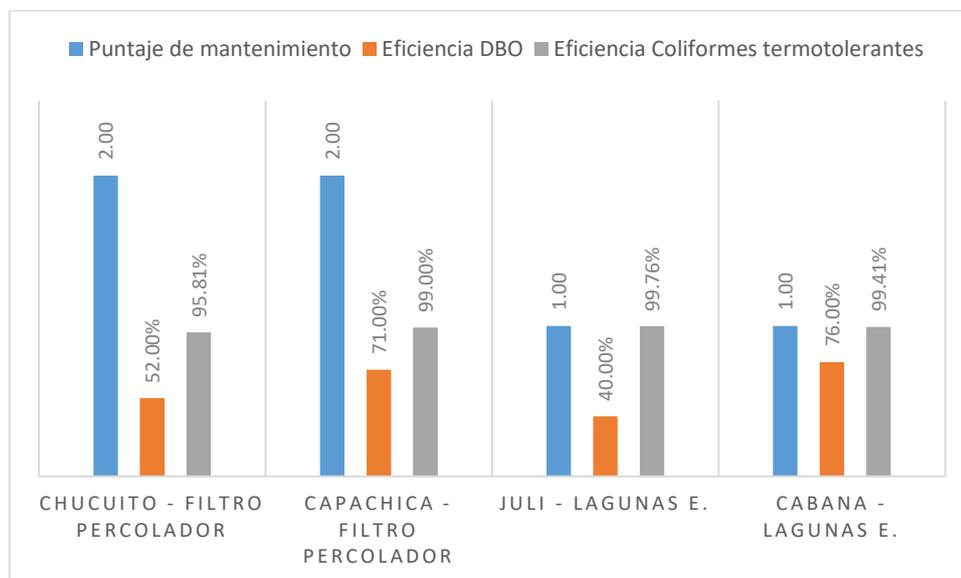
Descripción parámetro	Componentes de PTAR	E. remoción (%) según RNE	Niveles de aceptación		Resultados Capachica		Resultados Chucuito	
			E. teórica total del sistema	Ptje. M.	E.	Ptje. M.	E.	Ptje. M.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	Sedimentación primaria	25-30%	98.13-99.86%	0-3: nada aceptable	71%	2: nada aceptable	52%	2: nada aceptable
	Filtro percolador	50-90%		4-6: poco aceptable				
Bacterias (Coliformes termotolerantes)	Tratamiento terciario	95-98%	99.99-100%	7-8: aceptable	99%	95.81%	95.81%	95.81%
	Sedimentación primaria	0-90%		7-8: aceptable				
	Filtro percolador	0-99%	100%	7-8: aceptable				
	Tratamiento terciario	95-99%						

*Fuente:* Elaboración propia, donde E: eficiencia, M: mantenimiento, Ptje: puntaje.

El tipo del sistema de tratamiento no tienen ninguna incidencia en la eficiencia y operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que para la elección de cualquier sistema se toman en cuenta factores como: disponibilidad de áreas de terreno, presupuesto para su construcción, entre otros.

**Figura 61**

*Relación entre criterio de mantenimiento y eficiencia de remoción de DBO5 y coliformes termotolerantes*



*Nota:* En la figura se puede observar que existe una relación entre el mantenimiento y la eficiencia en remoción de DBO5 y coliformes termotolerantes.

#### **4.6. RESULTADOS DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN AL CUERPO RECEPTOR**

El grado de contaminación fue determinando mediante un balance masa entre los parámetros obtenidos del efluente de la PTAR y el cuerpo receptor antes de ser vertido por el efluente; este resultado fue comparado con los estándares de calidad ambiental (ECA) del agua aprobado mediante DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, en el cual menciona las características máximas que deben tener las aguas según categoría; siguiendo la guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto

de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua realizada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

También el resultado de los parámetros obtenidos del efluente fue comparado con los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes que son vertidos a cuerpos de agua (ríos, lagos, etc.), las cuales fueron aprobados mediante Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

#### **4.6.1. Cumplimiento con los Estándares de Calidad Ambiental**

##### ***4.6.1.1. Evaluación del impacto de vertimiento a aguas residuales tratadas en un cuerpo natural de agua lótico (ríos)***

Según la guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua realizada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), para todos los parámetros característicos de las aguas residuales tratadas vertidas, se determinó sus concentraciones aguas debajo de la zona de mezcla mediante el balance de masas para un cuerpo natural de agua lótico (ríos y quebradas) con:

$$C_o = \frac{(C_{RH} \cdot Q_{RH,crit}) + (C_{vert} \cdot Q_{vert})}{(Q_{RH,crit} \cdot Q_{vert})}$$

La evaluación del cumplimiento de los ECAS-Agua se reduce a:

$$C_o \leq C_{ECA}$$

Donde:

$C_o$  : es la concentración calculada en el límite de la zona de mezcla aguas abajo del vertimiento.

$C_{ECA}$  : es el ECA-Agua del parámetro en evaluación según la categoría que corresponda.

$C_{RH}$  : es la concentración en el cuerpo receptor.

$C_{vert}$  : es la concentración máxima en las aguas residuales tratadas.

$Q_{RH,crit}$  : es el caudal crítico del cuerpo receptor disponible para la dilución.

$Q_{vert}$  : es el caudal máximo del vertimiento.

**Tabla 69**

*Parámetros de descarga PTAR Cabana*

Descarga		
Dato	Cant	Und
Qp:	108.00	m3/día
DBO5:	58.00	mg/l
DQO:	119.39	mg/l
SS:	120.00	mg/l
Cf:	170000.00	NMP/100ml

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 70**

*Parámetros de cuerpo receptor rio Cabana*

Río		
Dato	Cant	Und
Qp:	611.00	m3/día
DBO5:	2.70	mg/l
DQO:	9.16	mg/l
SS:	63.00	mg/l
Cf:	8.10E+01	NMP/100ml

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 71**

*Resultado en zona de mezcla PTAR Cabana*

	Formula según (ANA)	Dato	Cant.	Und.	Descripción
DBO(5)	$\frac{Qd * DBO5(d) + Qr * DBO5(r)}{Qd + Qr}$	DBO (5)	10.86	mg/l	Demanda biológica de oxígeno - mezcla
:		:			
DQO :	$\frac{Qd * DQOd) + Qr * DQO(r)}{Qd + Qr}$	DQO :	25.38	mg/l	Demanda bioquímica - mezcla

	Formula según (ANA)	Dato	Cant.	Und.	Descripción
SS :	$\frac{Q_d * SS(d) + Q_r * SS(r)}{Q_d + Q_r}$	SS :	70.63	mg/l	Sólidos suspendidos - mezcla
Cf :	$\frac{Q_d * CF(d) + Q_r * CF(r)}{Q_d + Q_r}$	Cf :	25270.3	NMP/100 ml	Sólidos suspendidos - mezcla

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 72**

*Cumplimiento con los ECA de PTAR Cabana*

Parámetro	ECAS (categoría 4)	Valor del efluente	Cuerpo receptor	Valor en mezcla	Observación
DBO5 (mg/l)	≤ 10	58.00	2.80	10.86	No cumple
Sólidos Suspendidos (mg/l)	≤ 100	120.00	63	70.63	Cumple
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)	≤ 2000	1.70E+05	8.1E+01	2.53E+04	No Cumple

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.1.2. Evaluación del impacto de vertimiento a aguas residuales tratadas en un cuerpo natural de agua lenticó (lagos)

Según la guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua realizada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), para todos los parámetros característicos de las aguas residuales tratadas vertidas, se deberá determinar sus concentraciones aguas debajo de la zona de mezcla mediante el balance de masas para un cuerpo natural de agua lenticó (lago, lagunas y embalses) con:

$$C_o = \frac{(C_{RH} \cdot I_{RH,crit}) + (C_{vert} \cdot Q_{vert})}{(I_{RH,crit} + Q_{vert})}$$

La evaluación del cumplimiento de los ECAS-Agua se reduce a:

$$C_o \leq C_{ECA}$$

Donde:

$C_o$  : es la concentración en cuerpo receptor en el largo plazo.

$C_{ECA}$  : es el ECA-Agua del parámetro en evaluación según la categoría que corresponda.

$C_{RH}$  : es la concentración en el cuerpo receptor.

$C_{vert}$  : es la concentración máxima en las aguas residuales tratadas.

$II_{RH,crit}$  : Es el índice de intercambio de agua crítico del cuerpo receptor disponible para la dilución.

$Q_{vert}$  : es el caudal máximo del vertimiento.

$$II_{RH,crit} = Q_{anual,min}$$

Donde:

$II_{RH,crit}$  : es el índice de intercambio de aguas crítico, en m<sup>3</sup>/s.

$Q_{anual,min}$  : el valor mínimo del caudal anual medio registrado en los últimos 5 años en la salida de la laguna o en los tributarios a una bahía, en m<sup>3</sup>/s.

Cuando se prevé varios vertimientos al mismo cuerpo receptor, el balance de masas deberá considerar la carga contaminante total de todos los vertimientos proyectados:

$$C_o = \frac{(C_{RH} \cdot II_{RH,crit}) + (C_{vert,1} \cdot Q_{vert,1}) + \dots + (C_{vert,i} \cdot Q_{vert,i})}{(II_{RH,crit} + Q_{vert,1} + \dots + Q_{vert,i})}$$

En nuestro caso específicamente para el lago Titicaca para poder realizar el balance de masas necesitamos como dato todas las fuentes de contaminación que existen hacia el cuerpo receptor por lo que se hace imposible realizar dicho calculo; en tal sentido se hizo la toma de muestra en la zona de mezcla entre el agua residual tratada y el cuerpo

receptor, con estos datos se podrá comparar con los ECA-Agua para poder determinar el grado de contaminación:

**Tabla 73**

*Cumplimiento con los ECA de PTAR Capachica*

Parámetro	ECAS (categoría 4)	Valor del efluente	Cuerpo receptor	Valor en mezcla	Observación
DBO5 (mg/l)	$\leq 5$	110.30	5.4	18.00	No cumple
Solidos Suspendidos (mg/l)	$\leq 25$	53.00	89.22	20.00	No cumple
Coliformes Termotolerantes NMP/100ml)	$\leq 1000$	1.3E+05	1.5E+03	1.1+04	No Cumple

*Fuente:* Elaboración propia, el valor de mezcla es el resultado de la toma de muestra en zona de mezcla.

**Tabla 74**

*Cumplimiento con los ECA de PTAR Chucuito*

Parámetro	ECAS (categoría 4)	Valor del efluente	Cuerpo receptor	Valor en mezcla	Observación
DBO5 (mg/l)	$\leq 5$	130.20	7.52	19.40	No cumple
Solidos Suspendidos (mg/l)	$\leq 25$	90.00	63	40.42	No cumple
Coliformes Termotolerantes NMP/100ml)	$\leq 1000$	6.7E+05	1.0E+03	2.4E+04	No Cumple

*Fuente:* Elaboración propia, el valor de mezcla es el resultado de la toma de muestra en zona de mezcla.

**Tabla 75**

*Cumplimiento con los ECA de PTAR Juli.*

Parámetro	ECAS (categoría 4)	Valor del efluente	Cuerpo receptor	Valor en mezcla	Observación
DBO5 (mg/l)	$\leq 5$	150.50	5	28.70	No cumple
Solidos Suspendidos (mg/l)	$\leq 25$	120.56	120	63.00	No cumple
Coliformes Termotolerantes NMP/100ml)	$\leq 1000$	1.10E+05	1.7E+03	2.6E+04	No Cumple

*Fuente:* Elaboración propia, el valor de mezcla es el resultado de la toma de muestra en zona de mezcla.

#### 4.6.1.3. Grado de Contaminación con Respecto a los ECA

Para calcular el grado de contaminación se tomará el exceso de los resultados obtenidos en zona de mezcla sobre lo establecido por los ECA para agua, el cual establece parámetros máximos permitidos de contaminantes al agua.

Los parámetros evaluados y el grado de contaminación de cada sistema de tratamiento se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 76**

*Resultado del grado de contaminación de PTAR Capachica con los ECA*

Parámetros Químicos	Físico	Unidad De Medida	Valor mezcla	ECA (lago Titicaca)	Grado de Contaminación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)		mg/L	18.00	$\leq 5$	13
Solidos suspendidos		mg/L	20.00	$\leq 25$	No contamina
Coliformes Termotolerantes		NMP/100ml	1.1E+04	$\leq 1000$	10000

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla 77***Resultado del grado de contaminación de PTAR Chucuito con los ECA*

Parámetros Químicos	Físico	Unidad De Medida	Valor mezcla	ECA (lago Titicaca)	Grado de Contaminación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)		mg/L	19.40	$\leq 5$	9.4
Sólidos suspendidos		mg/L	40.42	$\leq 25$	15.42
Coliformes Termotolerantes		NMP/100ml	2.4E+04	$\leq 1000$	23000

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 78***Resultado del grado de contaminación de PTAR Juli con los ECA*

Parámetros Químicos	Físico	Unidad De Medida	Valor mezcla	ECA (lago Titicaca)	Grado de Contaminación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)		mg/L	28.70	$\leq 5$	23.70
Sólidos suspendidos		mg/L	63.00	$\leq 25$	38
Coliformes Termotolerantes		NMP/100ml	2.6E+04	$\leq 1000$	25000

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 79***Resultado del grado de contaminación de PTAR Cabana con los ECA*

Parámetros Químicos	Físico	Unidad De Medida	Valor mezcla	ECA (río)	Grado de Contaminación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)		mg/L	10.86	$\leq 10$	0.86
Sólidos suspendidos		mg/L	70.63	$\leq 100$	No contamina
Coliformes Termotolerantes		NMP/100ml	2.53E+04	$\leq 2000$	23300

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.6.2. Cumplimiento con los Límites Máximos Permisibles

Se realizó la comparación de los resultados obtenidos de los efluentes de las PTAR con los LMP, ya que son las que establecen los parámetros máximos que debe tener un agua residual tratada.

**Tabla 80**

*Cumplimiento con los límites máximos permisibles PTAR Chucuito.*

Parámetros	Und.	Efluente de la PTAR	LMP	Comparación
Aceites y Grasas	mg/L	15.78	20	Cumple
Coliformes Termo Tolerantes	Nnmp/100ml	670000	10000	No cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	130.20	100	No cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	280.23	200	No cumple
Potencial de Hidrogeno	pH	8.95	6.5 a 8.5	No cumple
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	90	150	Cumple
Temperatura	°C	17.63	<35	Cumple

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla 81**

*Cumplimiento con los límites máximos permisibles PTAR Capachica.*

Parámetros	Und	Efluente de la PTAR	LMP	Comparación
Aceites y Grasas	mg/L	10.23	20	Cumple
Coliformes Termo Tolerantes	Nnmp/100ml	130000	10000	No cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	110.3	100	No cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	210	200	No cumple
Potencial de Hidrogeno	pH	8.15	6.5 a 8.5	Cumple
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	53	150	Cumple
Temperatura	°C	18.3	<35	Cumple

*Fuente:* Elaboración propia

**Tabla 82**

*Cumplimiento con los límites máximos permisibles PTAR Juli.*

Parámetros	Und	Efluente de la PTAR	LMP	Comparación
Aceites y Grasas	mg/L	42.3	20	No cumple
Coliformes Termo Tolerantes	Nnmp/100ml	110000	10000	No cumple



Parámetros	Und	Efluente de la PTAR	LMP	Comparación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	150.5	100	No cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	310	200	No cumple
Potencial de Hidrogeno	pH	8.95	6.5 a 8.5	No cumple
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	120.56	150	Cumple
Temperatura	°C	18.3	<35	Cumple

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla 83**

*Cumplimiento con los límites máximos permisibles PTAR Cabana.*

Parámetros	Und	Efluente de la PTAR	LMP	Comparación
Aceites y Grasas	mg/L	20.23	20	No cumple
Coliformes Termo Tolerantes	Nnmp/100ml	170000	10000	No cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	58	100	Cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	119.39	200	Cumple
Potencial de Hidrogeno	pH	7.54	6.5 a 8.5	Cumple
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	120	150	Cumple
Temperatura	°C	17.52	<35	Cumple

*Fuente:* Elaboración propia.

## 4.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### 4.7.1. Prueba de Hipótesis

#### 4.7.1.1. Hipótesis General

Ha: Los factores climatológicos, mantenimiento y tipo de planta de tratamiento de aguas residuales inciden en la eficiencia y operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona sur altiplánica de la región Puno.

Ho: Los factores climatológicos, mantenimiento y tipo de planta de tratamiento de aguas residuales inciden en la eficiencia y operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona sur altiplánica de la región Puno.

**Tabla 84**

*Estadística para muestras*

Descripción	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Eficiencia PTR Capachica	4	1,62	,343	,018
Eficiencia PTR Chucuito	4	2,03	,391	,014
Eficiencia PTR Juli	4	1,55	,377	,019
Eficiencia PTR Cabana	4	1,68	,433	,017

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla 85**

*Prueba para una muestra, valor de prueba = 0*

Descripción	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Eficiencia PTR Capachica	24,908	3	,000	1,617	1,37	1,86
Eficiencia PTR Chucuito	46,434	3	,000	2,033	1,75	2,31
Eficiencia PTR Juli	32,994	3	,000	1,550	1,28	1,82
Eficiencia PTR Cabana	42,235	3	,000	1,675	1,37	1,98

*Fuente:* Elaboración propia.

**Decisión Estadística:**

Si P-valor:  $< \alpha = 0.05$

**Análisis e interpretación:**

Según los resultados de la prueba de hipótesis general, los factores climatológicos, mantenimiento y tipo de planta de tratamiento de aguas residuales inciden en la eficiencia y operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona sur altiplánica de la región Puno, podemos determinar respecto a las pruebas independientes de eficiencia PTAR Capachica es 24,908 cuyo P-valor= 0,018, PTAR Chucuito 46,434 cuyo P-valor=0,014 PTAR Juli 32,994 cuyo P-valor=0.019 y PTAR Cabana 42,235 y su P-valor=0,017, estos resultados evidencian que la demanda Bio química de Oxígeno, son

factores climatológicos, mantenimiento y tipo de planta de tratamiento de aguas residuales inciden en la eficiencia y operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona sur altiplánica de la región Puno.

#### 4.7.1.2. Hipótesis Específica 1

Ha: Las plantas de tratamiento de aguas residuales de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana son operativos y eficientes.

Ho: Las plantas de tratamiento de aguas residuales de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana son operativos y eficientes.

**Tabla 86**

*Estadísticas para muestras independientes*

Descripción	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Eficiencia PTR Capachica	4	3,53	,818	,025
Eficiencia PTR Chucuito	4	2,55	,934	,029
Eficiencia PTR Juli	4	2,78	,333	,010
Eficiencia PTR Cabana	4	3,65	,580	,018

Fuente: SPSS.

**Tabla 87**

*Estadísticas para muestras independientes, valor de prueba = 0*

Descripción	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Eficiencia PTR Capachica	20,624	3	,000	3,525	2,94	4,11
Eficiencia PTR Chucuito	25,317	3	,000	2,550	1,88	3,22
Eficiencia PTR Juli	26,120	3	,000	2,775	2,54	3,01
Eficiencia PTR Cabana	29,909	3	,000	3,650	3,24	4,06

Fuente: SPSS.

#### **Decisión Estadística:**

Si P-valor:  $< \alpha = 0.05$

### **Análisis e interpretación:**

Según los resultados de la prueba de hipótesis específica 1, sobre las plantas de tratamiento de aguas residuales de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana son operativos y eficientes, podemos determinar respecto a las pruebas independientes de Eficiencia PTAR Capachica es 20,624 cuyo P-valor= 0,025, PTAR Chucuito 25,317 cuyo P-valor=0,029 PTAR Juli cuyo P-valor=0.010 y PTAR Cabana 29,909 y su P-valor=0,018, estos resultados evidencian que la demanda Bio química de Oxígeno lo más resaltante está en PTAR Cabana con 29,909, y con referente al P-valor o margen de rechazo todas las pruebas independiente son  $<0.05$ , por consiguiente las plantas de tratamiento de aguas residuales de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana son operativos y eficientes.

#### **4.7.1.3. Hipótesis Específica 2**

Ha: Las plantas de tratamiento de aguas residuales de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana contaminan al cuerpo receptor.

Ho: Las plantas de tratamiento de aguas residuales de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana contaminan al cuerpo receptor.

**Tabla 88**

*Estadísticas para muestras independientes*

<b>Descripción</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Desviación</b>	<b>Desv. Error promedio</b>
Eficiencia PTR Capachica	4	1,62	,343	,010
Eficiencia PTR Chucuito	4	2,03	,391	,024
Eficiencia PTR Juli	4	1,55	,377	,019
Eficiencia PTR Cabana	4	1,68	,433	,037

*Fuente:* Elaboración propia

**Tabla 89***Estadísticas para muestras independientes, valor de prueba = 0*

Descripción	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Eficiencia PTR Capachica	34,908	3	,000	1,617	1,37	1,86
Eficiencia PTR Chucuito	26,434	3	,000	2,033	1,75	2,31
Eficiencia PTR Juli	21,994	3	,000	1,550	1,28	1,82
Eficiencia PTR Cabana	0,235	3	,000	1,675	1,37	1,98

*Fuente:* Elaboración propia**Decisión Estadística:**Si P-valor:  $< \alpha = 0.05$ **Análisis e interpretación:**

Según los resultados de la prueba de hipótesis específica<sup>2</sup>, las plantas de tratamiento de aguas residuales de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana contaminan al cuerpo receptor, podemos determinar respecto a las pruebas independientes de Eficiencia PTAR Capachica es 34,908 cuyo P-valor= 0,010, PTAR Chucuito 26,434 cuyo P-valor=0,024 PTAR Juli 21,994 cuyo P-valor=0,019 y PTAR Cabana 5,235 y su P-valor=0,037, estos resultados evidencian que la demanda Bio química de Oxígeno lo más resaltante está en PTAR Capachica con 34,908 de contaminación, y que no contamina PTAR Cabana 0,235 y P-valor=0,037, respecto al margen de rechazo todas las pruebas independiente son  $< 0.05$ , por consiguiente las plantas de tratamiento de aguas residuales de Chucuito, Juli, Capachica y Cabana contaminan al cuerpo receptor.

**4.7.1.4. Hipótesis Específica 3**

Ha: Las lagunas de estabilización son más eficientes y cumplen con los límites máximos permisibles.

Ho: Las lagunas de estabilización son más eficientes y cumplen con los límites máximos permisibles.

**Tabla 90**

*Estadísticas para muestras independientes*

Descripción	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Eficiencia PTR Capachica	4	1,50	,408	,122
Eficiencia PTR Chucuito	4	1,50	,527	,216
Eficiencia PTR Juli	4	1,45	,438	,413
Eficiencia PTR Cabana	4	1,90	,522	,016

*Fuente:* Elaboración propia

**Tabla 91**

*Estadísticas para muestras independientes, Valor de prueba = 0*

Descripción	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Eficiencia PTR Capachica	-11,619	3	,000	1,500	1,21	1,79
Eficiencia PTR Chucuito	-9,000	3	,000	1,500	1,12	1,88
Eficiencia PTR Juli	-10,474	3	,000	1,450	1,14	1,76
Eficiencia PTR Cabana	41,503	3	,000	1,900	1,53	2,27

*Fuente:* Elaboración propia

**Decisión Estadística:**

Si P-valor:  $< \alpha = 0.05$

**Análisis e interpretación:**

Según los resultados de la prueba de hipótesis específica<sup>3</sup>, Las lagunas de estabilización son más eficientes y cumplen con los límites máximos permisibles, podemos determinar respecto a las pruebas independientes de Eficiencia PTAR Capachica es -11,619 cuyo P-valor= 0,112, PTAR Chucuito -9,00 cuyo P-valor=0,216 PTAR Juli -10,474 cuyo P-valor=0.413 y PTAR Cabana 41,503 y su P-valor=0,016,



estos resultados evidencian que la demanda Bio química de Oxígeno lo más resaltante está en PTAR Cabana con 41,503, lo que indica tanto PTAR Capachica, PTAR Chucuito, PTAR Juli, no cumple debido a que son negativos sus valores, pero PTAR Cabana si cumple debido al valor 41,503 por consiguiente la laguna de estabilización solo de Cabana cumple.

#### **4.8. DISCUSIÓN**

Al evaluar la incidencia del mantenimiento en la eficiencia y operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Capachica, Chucuito, Cabana y Juli, se determinó que el mantenimiento incide directamente en la eficiencia y operatividad de las PTAR de forma que, si no existe actividades de mantenimiento la eficiencia y operatividad disminuyen, hasta en algunos casos colapsan tales como Acora y Zepita; el cual coincide con lo obtenido por Mercado et al. (2020), quien en su investigación concluyó que: existe una dependencia directa entre eficiencia de parámetros principales como DBO y DQO con la operación y mantenimiento, indicando que a mayor eficiencia se ha obtenido mayores puntajes de operación y mantenimiento de las plantas estudiadas en su investigación.

Como resultado también se tiene que el motivo principal de no realizar el mantenimiento es debido a una asignación presupuestal para costos de operación y mantenimiento, así como indica Medrano et al. (2020), el cual obtuvo un 56.25% de encuestados que indican que no pueden efectuar mantenimientos a los sistemas de tratamiento por falta de presupuesto económico.

Al evaluar la eficiencia de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales en cuanto a la remoción de contaminantes de las PTAR estudias de la región Puno se tiene que: la PTAR Chucuito remueve un 52% de DBO y un 36% en DQO, Capachica un 71% en la remoción del DBO y un 58% en la remoción del DQO,



considerando que ambos PTAR tienen un sistema de tratamiento mediante filtros percoladores, estos resultados son superiores a los resultados obtenidos por Apaza (2021) quien en su investigación a un sistema de tratamiento mediante filtros percoladores obtuvo una eficiencia de 34.71% y 34.32% en la remoción de DBO y DQO respectivamente, comparando estas investigaciones podemos afirmar que en ambos casos se encuentran por debajo 85% - 95% según Rojas (2002) quien afirma que los tratamientos biológicos tienen una eficiencia remocional de la DBO entre el 85% al 95%.

Los resultados obtenidos de la PTAR de Cabana quien muestra un 76% de eficiencia en la remoción de DBO, 76% en DQO y 37% en la remoción de sólidos totales en suspensión; y en la PTAR de Juli se encontró una eficiencia de 40% en la remoción del DBO, 40% en la remoción del DQO y 20% en la remoción de sólidos totales en suspensión, estas PTAR tienen un sistema de tratamiento mediante lagunas de estabilización y la diferencia de las eficiencias se debe que la lagunas de Juli tiene mayor tiempo de funcionamiento en cambio la laguna de Cabana es reciente; estos resultados son menores a las obtenidas por Andrade (2020) quien en su investigación evaluó una PTAR con un sistema de tratamiento mediante lagunas de estabilización cuyos resultados de eficiencia fueron 93.42% en la remoción del DBO, 94.88% en la remoción del DQO y 67.16% en sólidos totales en suspensión; y esto se debe a que Cabana y Juli solo cuentan con dos lagunas en serie y no tiene un tratamiento con lagunas de maduración o su cámara de contacto está obsoleto sin funcionar.

Con lo que respecta a la eficiencia en la remoción de contaminantes de las PTAR evaluadas, se obtuvo que la PTAR con una eficiencia considerable en la remoción de DBO, DQO y sólidos totales en suspensión, es del distrito de Cabana, el cual tiene un sistema mediante lagunas de estabilización, por lo que se reafirma el resultado obtenido por Dueñas (2015) el cual llegó al resultado de que las lagunas de estabilización son una



excelente alternativa para el tratamiento de aguas residuales para pequeñas localidades, y también este resultado se asemeja a lo obtenido por Olea (2013) quien concluye que la eficiencia de las lagunas, se pueden considerar aceptables ya que la eficiencia de todo el conjunto fluctuó del 60% al 79%.

Al determinar la calidad del efluente de la PTAR Chucuito y comparando estos con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM se tiene que: DBO de 140.52 mg/l no cumple ya que los LMP establecen 100 mg/l, DQO de 280.23 mg/l no cumple ya que los LMP establecen 200 mg/l, sólidos totales en suspensión de 90mg/l cumple ya que los LMP establecen 150 mg/l, aceites y grasas de 15.78mg/l cumple ya que los LMP establecen 20mg/l, coliformes termotolerantes de 670000 Nnmp/100ml no cumplen ya que los LMP establecen 10000 Nnmp/100ml; comparando estos resultados con Paricahua (2018), quien obtuvo los siguientes resultados de su efluente 67.58 mg/l, 184.57 mg/l, 132.43 mg/l y 1.5E+06 NMP/100ml de DBO, DQO, SST y coliformes termotolerantes respectivamente, en las cuales los parámetros evaluados cumplen con lo establecido por los LMP.

También la calidad del efluente de la PTAR Capachica que fue comparando con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM donde se tiene que: DBO de 110.3 mg/l no cumple ya que los LMP establecen 100 mg/l, DQO de 210 mg/l no cumple ya que los LMP establecen 200 mg/l, sólidos totales en suspensión de 53 mg/l cumple ya que los LMP establecen 150 mg/l, aceites y grasas de 10.23 mg/l cumple ya que los LMP establecen 20mg/l, coliformes termotolerantes de 130000 Nnmp/100ml no cumplen ya que los LMP establecen 10000 Nnmp/100ml.

Al obtener la calidad del efluente de la PTAR Juli y comparar con los límites máximos permisibles se tiene que: DBO de 150.5 mg/l no cumple ya que los LMP



establecen 100 mg/l, DQO de 310 mg/l no cumple ya que los LMP establecen 200 mg/l, solidos totales en suspensión de 120.56 mg/l cumple ya que los LMP establecen 150 mg/l, aceites y grasas de 42.30 mg/l no cumple ya que los LMP establecen 20mg/l, coliformes termotolerantes de 110000 Nnmp/100ml no cumplen ya que los LMP establecen 10000 Nnmp/100ml; y las eficiencias obtenidas fueron de 40% de remoción en DBO, 40% de remoción en DQO, 20% de remoción en solidos totales en suspensión y 35% de remoción de aceites y grasas, donde se obtiene que esta PTAR no está funcionando correctamente debido a que no cuenta con un mantenimiento adecuado, lo cual concuerda con Satalaya (2015) cual concluye que el sistema no está funcionando correctamente ya que no tiene el suficiente tiempo de retención, existe esta similitud porque la PTAR Juli tiene un periodo de vida útil de aproximadamente 35 años y el periodo de retención ya no cumple con lo diseñado por el incremento de caudales y acumulación de lodos en las lagunas primarias.

También la calidad del efluente de la PTAR Cabana fue comparado con los límites máximos permisibles en el cual se tiene que: DBO de 58 mg/l cumple ya que los LMP establecen 100 mg/l, DQO de 119.39 mg/l cumple ya que los LMP establecen 200 mg/l, solidos totales en suspensión de 120 mg/l cumple ya que los LMP establecen 150 mg/l, aceites y grasas de 20.23 mg/l no cumple ya que los LMP establecen 20 mg/l, coliformes termotolerantes de 170000 Nnmp/100ml no cumplen ya que los LMP establecen 10000 Nnmp/100ml; y las eficiencias obtenidas fueron de 76% de remoción en DBO, 76% de remoción en DQO, 37% de remoción en solidos totales en suspensión y 69% de remoción de aceites y grasas, comparando con los obtenidos por Racchumi (2014) las cuales son 75.06% en cuanto al DBO, DQO con 76.65%, SST con 96.52%, aceites y grasas con 75.09% y coliformes termotolerantes con 94.63%, en la que se observa que son muy cercanos los resultados obtenidos de DBO y DQO.



#### 4.9. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE CADA PTAR

- **Capachica**, de la evaluación realizada, esta PTAR contiene los componentes del tren de tratamiento necesarios (tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario) para cumplir con los Límites máximos permisibles, por lo cual, se presenta la propuesta de operación y mantenimiento de todo el sistema de tratamiento (véase anexo F), en el cual se establece la frecuencia de operación y mantenimiento que deberían realizarse en cada unidad de tratamiento como: cámara de rejillas, tanque Imhoff, filtros biológicos entre otros.

- **Chucuito**, esta PTAR cuenta con los componentes del tren de tratamiento necesarios (tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario) para cumplir con los Límites máximos permisibles, por lo cual, se presenta la propuesta de operación y mantenimiento de todo el sistema de tratamiento (véase anexo F), en el cual se establece la frecuencia de operación y mantenimiento que deberían realizarse en cada unidad de tratamiento como: cámara de rejillas, tanque Imhoff, filtros biológicos entre otros.

- **Cabana**, esta PTAR no cuenta con un pretratamiento ni mantenimiento, por lo cual se presenta una propuesta de diseño del pretratamiento necesario para cumplir con los LMP (véase anexo), se presenta también una propuesta de operación y mantenimiento en el cual se detallan las actividades y frecuencias de operación y mantenimiento que deberían realizarse en lagunas facultativas, puesto que se encontró con lagunas colmatadas y cámara de cloración sin funcionamiento.

- **Juli**, esta PTAR no cuenta con un pretratamiento ni con un tratamiento terciario, y considerando su antigüedad de 35 años el cual ya excedió el periodo de diseño con el cual fue proyectado, es por lo cual se presenta una propuesta de diseño hidráulico de toda la planta de tratamiento de agua residual con el mismo sistema (véase anexo H).



## V. CONCLUSIONES

De la evaluación del factor climatológico (temperatura) se obtuvo que la temperatura tiene una incidencia directa sobre la eficiencia y operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales ya que al existir variaciones en la temperatura la eficiencia también varía, es decir, si la temperatura disminuye lo propio sucede con la eficiencia tal como se muestra en las tablas 64, 65 y 66, donde la temperatura evaluada de la zona oscila desde 4 °C a 20 °C, el cual es menor a lo recomendado (temperaturas menores a 15 °C la digestión metanogénica es muy lenta). De la evaluación de las PTAR con respecto al mantenimiento, se encontró que, ninguna PTAR cuenta con un adecuado mantenimiento, ni personal encargado con el suficiente conocimiento referente al tema para realizar este trabajo, mucho menos con asignación presupuestal para ejecutar un plan de mantenimiento, por lo cual Cabana y Juli obtuvo un puntaje de 1, Capachica y Chucuito obtuvo un puntaje de 2, por lo cual en todo los casos estudiados el nivel de aceptación del mantenimiento es no aceptable y las eficiencias obtenidas fueron inferiores a las que debieran tener (recomendadas por el RNE), esto por la falta de mantenimiento ya que algunas unidades de tratamiento se encuentran colapsados, tal como se muestran en las tablas 67 y 68; en consecuencia, podemos afirmar que existe una dependencia directa, por tanto, si incide en la eficiencia y operatividad de las PTAR. También evaluando el tipo de sistema de tratamiento podemos señalar que no incide en la eficiencia y operatividad, debido a que todos los sistemas se diseñan para tener eficiencias óptimas, que los efluentes cumplan con los LMP y que la elección del tipo de sistema de tratamiento depende del área disponible para su ejecución, presupuesto disponible, entre otros factores.

Del análisis de la eficiencia en cuanto a la remoción de contaminantes se tiene que en cuanto al DBO la eficiencia de la PTAR Chucuito es 52%, Cabana 76%, Juli 40% y



Capachica 71%; en cuanto al DQO la eficiencia obtenida de la PTAR Chucuito es 36%, Cabana 76%, Juli 40% y Capachica 58%; aceites y grasas Chucuito 76%, Cabana 69%, Juli 35% y Capachica 75%; solidos totales en suspensión se tiene que Chucuito 36%, Cabana 37%, Juli 20% y Capachica 73%; mientras que para los coliformes termotolerantes se tiene que Chucuito tiene una eficiencia de 95.81%, Cabana 99.41%, Juli 99.76% y Capachica 99%; de esta evaluación podemos afirmar que todas las PTAR se encuentran operativos ya que generan una disminución de los parámetros evaluados, sin embargo, no cuentan con las eficiencias recomendadas por el RNE.

Existe un grado de contaminación a los cuerpos receptores en toda las PTAR al no cumplir con lo establecido en los ECA en los parámetros que se detallan a continuación: PTAR Capachica tiene un cuerpo receptor natural de agua lentic (lago Titicaca) y contamina en 13 mg/l de DBO, no contamina en solidos suspendidos y 10000 NMP/100ml en coliformes termotolerantes, PTAR Chucuito tiene un cuerpo receptor (lago Titicaca) y contamina en 14.40 mg/l de DBO, 15.42 mg/l en solidos suspendidos y 23000 NMP/100ml de coliformes termotolerantes, PTAR Juli tiene como cuerpo receptor el lago Titicaca y contamina en 23.70 mg/l de DBO, 38 mg/l en solidos suspendidos y 25000 NMP/100ml de coliformes termotolerantes, PTAR Cabana tiene un cuerpo receptor (río) y contamina en 0.86 mg/l de DBO, no contamina en solidos suspendidos y coliformes termotolerantes en 23300 NMP/100ml.

De los resultados obtenidos, se encontró que la PTAR de Cabana que tiene un sistema mediante lagunas de estabilización, tiene una eficiencia superior a las demás en cuanto a la remoción de contaminantes y que cumple en su mayoría con lo establecido en los LMP con excepción de coliformes termotolerantes y aceites y grasas.



## VI. RECOMENDACIONES

A las instituciones competentes realizar investigaciones y así establecer propuestas de tecnología de PTAR para las diferentes zonas geográficas (costa, selva y sierra) en nuestro caso para zona altiplánica que cuenta con una variación brusca de temperatura.

A las entidades públicas encargadas designar un presupuesto para ejecutar un plan de operación y mantenimiento, donde se considere personal técnico y operario competente a tiempo completo para realizar estos trabajos, equipos de protección personal, herramientas y equipos, de tal forma que se pueda verificar y monitorear constantemente y así cumplir las expectativas referentes a la operatividad, eficiencia, límites máximos permisibles (LMP) y estándares de calidad ambiental (ECA) para los cuales fueron diseñados.

Para poblaciones con características similares a las evaluadas en esta investigación, diseñar y construir plantas de tratamiento de aguas residuales que consideren necesariamente las siguientes etapas de tratamiento: pretratamiento, tratamiento primario, secundario, terciario, tratamiento de lodos y desinfección.

A las entidades públicas tales como Capachica, Chucuito, Cabana y Juli ejecutar un plan de operación y mantenimiento, para poder tener una correcta operatividad y que los efluentes cumplan con las normativas vigentes, a Cabana ejecutar un pretratamiento y Juli un diseño y ejecución completo de PTAR (ya que ésta ya cumplió con su periodo de diseño).

Realizar monitoreos constantes de las plantas de tratamiento a fin de verificar el contenido de materia orgánica contaminante, DBO, DQO, coliformes totales, sólidos suspendidos.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Amy, G., Brdjanovic, D., Comeau, Y., Ekama, G. A., Orozco Garcia, J. H., Cerba, C. P., . . . Zeeman, G. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. Reino Unido: IWA Publishing. doi: 10.2166/9781780409146
- Andrade Yucra, R. (2020). *Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, región Puno - 2020*. Universidad Privada San Carlos.
- Apaza Mamani, R. A. (2021). *Evaluación de la eficiencia de los tratamientos biológicos en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José provincia de Azángaro*. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Ayala Fanola, R. M., & Gonzales Marquez, G. (2008). *Apoyo didactico en la enseñanza - aprendizaje de la asignatura de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón.
- Da Cámara, L., Hernández, M., & Paz, L. (2014). *Manual de diseño de plantas de aguas residuales alimenticias*. Academia.
- de la Vega Salazar, M. Y. (2012). *Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Contribución a la gestión y desarrollo social*. (V. Girón Ramírez, Ed.) México distrito federal, México: Refugia centro para la conservación de la ecobiodiversidad A.C.
- de Miguel Beascochea, E., de Miguel Muñoz, J., & Curt Fernández de la Mora, M. D. (2004). *Manual de Fitodepuración, Filtro de macrófitas en flotación*. (J. F. González, Ed.) Madrid: Fundación Global Nature.



- DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM. (2010). *Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*.
- DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aguas*.
- 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*. Universidad Católica de Santa María.
- Echeverría, I., Escalante, C., Saavedra, O., Escalera, R., Heredia, G., & Montoya, R. (2021). Evaluación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales basadas en Lagunas de Estabilización acopladas a un reactor anaerobio compartimentado. *Scielo Investigación & Desarrollo ISSN 2518-4431*, 21(1), 37-45.
- Edgardo, J. (2008). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. Ideasmares.
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Scielo*.
- Gómez Duarte, O. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Scielo*.
- Gómez Rendón, C. P. (2013). *Manejo de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta a Distancia - UNAD.
- Jiménez Chunga, A. A. (2014). *Calidad del agua de las algas de oxidación de Covicorti, Trujillo- La Libertad*. Universidad Nacional de Trujillo.
- La Iglesia Gandarillas, J. (2016). *Lagunaje. Módulo Gestión de Aguas Residuales y Reutilización*. Magua: Escuela de organización industrial.



- Lavagnino Letona, H. R. (2016). *Eficiencia de la remoción de contaminantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Rafael Landívar, campus central*. Guatemala de la Asunción: Universidad Rafael Landívar.
- Ley N.º 28611. (s.f.). *Ley General del Ambiente*.
- Lozano Rivas, W. A. (2012). *Fundamentos de Diseño de Plantas Depuradoras de Aguas Residuales*. Bogotá.
- Mamani Yapurasi, Y. (2017). *Evaluación de la operatividad y rediseño de la laguna de estabilización del distrito de Ilave, provincia de le Collao*. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Marín Galvín, R. (2008). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. *academia.edu*.
- Massa López, M. P. (1988). *Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales. Lagunas de Estabilización*. Segovia: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
- Medrano, M., Mamani, A., Muñoz, E., Díaz, R., & Medrano, E. (2020). Operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas circunlacutres al algo Titicaca-sector Perú y el marco legal en defensa de los ecosistemas. 14.
- Meléndez Marmolejo, J., García Saavedra, Y., Galván Romero, V., De Leon Martínez, L., Vargas Berrones, K., Mejía Saaverdra, J., & Flores Ramírez , R. (2020). Contaminantes emergentes. Problemática ambiental asociada al uso de antibióticos. Nuevas técnicas de detección, remediación y perspectivas de legislación en América Latina. *Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud (CIAAS)*.
- Méndez, L., Miyashiro, V., Rojas, R., Cotrado, M., & Carrasco, N. (2004).  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LODOS



- ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO. *Academia* ISSN: 1561-0888, 7(14), 74-83.
- Mercado Guzmán, Á. R., Cossío Grágeda, C. X., & Copa Mitma, M. (Marzo de 2020). Eficiencia vinculada a la operación y mantenimiento de pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en Cochabamba, Bolivia. *SCIELO ACTA NOVA* ISSN: 1693-0768, 9(4), 524-542.
- Ocola Salazar, J. J., & Laqui Vilca, W. F. (2017). *FUENTES CONTAMINANTES DEL LAGO TITICACA un aporte al conocimiento de las causas que amenazan la calidad del agua del maravilloso lago Titicaca*. Lima, Perú: Autoridad Nacional del Agua. doi:ISBN: 978-612-4273-12-4
- Olea Madruga, R. C. (2013). *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Coatepec, Veracruz*. Universidad Veracruzana.
- OS.090. (2021). *Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Lima: Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Panca Peralta, O. D. (2016). *Evaluación de la operatividad y alternativa de solución de la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Putina*. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- 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*. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Rabanales Bravo, K. D. (2015). *Evaluación del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cantón Chichori, del municipio de San Lucas Sacatepéquez, diagnóstico y servicios realizados en la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, Guatemala, C.A.* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.



- Racchumí Linares, K. C. (2014). *Determinación del grado de eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas en la localidad de Segunda Jerusalén - Rioja 2014*. Universidade Nacional de San Martin de Tarapoto.
- Ramalho, R. S. (2021). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: Reverté S.A.
- Resolución de C.D. N° 011-2007-SUNASS-CD. (2007). *Reglamento de Calidad de la Prestación de los Servicios de Saneamiento*.
- Rodríguez Miranda, J. P., García Ubaque, C. A., & Pardo Pinzón, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista Tecnura*, 19(46), 149-164. doi:10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12.
- Rodríguez V., J. A. (2010). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Rojas, R. (2002). *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Academia.
- Rolim Mendonça, S. (1999). *Lagunas de Estabilizacion*. Bogotá: cidbimena.desastres.hn.
- Romero Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales Teorías y Principios de Diseño*. Escuela Colombiana de Ingenieria.
- Salas Rodríguez, J. J., Pidre Bocado, J. R., & Sánchez Fernando, L. (2014). *Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales*. Andalucía: Coria Gráfica.
- Satalaya Vicente, K. (2015). *Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas de estabilización de la ciudad de Uchiza*. Tesis.
- Suarez Marmolejo, C. L. (2011). *Tratamiento de Aguas municipales en el Valle del Cauca*. Universidad del Valle.



- Tchobanoglous, G., & Burton, F. L. (1998). *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización* (Tercera Edición ed., Vol. 1). Madrid: McGraw-Hill.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Trapote Jaume, A. (2013). *Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas*.
- Valdez, E. C., & Vázquez González, A. B. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. México: Fundación ICA, A.C.
- Von Sperling, M., & Lemos Chernicharo, C. A. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions* (Vol. Volume One). IWA Publishing.
- Yáñez Cossio, F. (1982). *Manual de métodos experimentales "Evaluación de lagunas de estabilización"* (OMS/Cepis). Lima.



## ANEXOS

ANEXO A. Fichas de evaluación.

ANEXO B. Panel fotográfico.

ANEXO C. Certificados de laboratorio.

ANEXO D. Documentos emitidos y recibidos.

ANEXO E. Registro de cadena de custodia

ANEXO F. Propuesta de operación y mantenimiento de PTAR.

ANEXO G. Propuesta de mejoramiento PTAR Cabana (diseño hidráulico pretratamiento).

ANEXO H. Propuesta de mejoramiento PTAR Juli (diseño hidráulico).



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Leonardo Favio Cardo Pilco  
identificado con DNI 71957706 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

"INCIDENCIA DE FACTORES CLIMATOLÓGICOS, MANTENIMIENTO Y TIPO EN LA  
EFICIENCIA Y OPERATIVIDAD DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
" Es un tema original. ZONA SUR ALTIPLÁNICA - REGIÓN PUNO.

Declaro que el presente-trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 17 de JULIO del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Leonardo Favio Candia Pilco  
identificado con DNI 71957706 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado

Título Profesional denominado:

"INCIDENCIA DE FACTORES CLIMATOLÓGICOS, MANTENIMIENTO Y TIPO EN LA EFICIENCIA Y OPERATIVIDAD DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ZONA SUR AJIWAJKA-REGION PUNO."

” Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 17 de JULIO del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Jokin Dante Ventura Huanca  
identificado con DNI 47473632 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

“ INCIDENCIA DE FACTORES CLIMATOLÓGICOS, MANTENIMIENTO Y TIPO EN LA  
EFICIENCIA Y OPERATIVIDAD DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS REGIONALES, ZONA SUR ALTIPLANICA -  
REGION PUNO”  
" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 17 de Julio del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Jolvin Dante Ventura Huanea  
identificado con DNI 47473632 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
Ingeniería Civil

, informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

"INCIDENCIA DE FACTORES CLIMATOLÓGICOS, MANTENIMIENTO Y TIPO EN LA EFICIENCIA Y OPERATIVIDAD DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ZONA SUR ALTIPLONICA - REGIÓN PUNO"

" Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 17 de Julio del 20 23

  
FIRMA (obligatoria)



Huella