



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## **[Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)**

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre y cuando den crédito y licencia a las nuevas creaciones bajo los mismos términos. Esta licencia suele ser comparada con las licencias copyleft de software libre y de código abierto. Todas las nuevas obras basadas en la suya portarán la misma licencia, así que cualesquiera obras derivadas permitirán también uso comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Universidad Nacional "San Luis Gonzaga"

Software Antiplagio



## INFORME DE REVISIÓN

Se ha realizado el análisis con el software antiplagio de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", por parte de los docentes reponsables, al documento cuyo título es:

**Diseño del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la Eichhornia crassipes (Jacinto de agua)**

presentado por:

**CARLOS MARTN CCAPCHA CUTIMBO  
RICARDO KEVIN MENDOZA QUISPE**

del nivel **PREGRADO** de la facultad de **INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA** obteniéndose como resultado una coincidencia de **11.24%** otorgándosele el calificativo de:

**APROBADO**

Se adjunta al presenta el reporte de evaluación del software antiplagio.

Observaciones:

El presente Borrador de Tesis ha sido **APROBADO**, con un **11.2%** de coincidencia.

Ica, **31 de Marzo de 2021**

**SANTOS HUMBERTO OLIVERA MACHADO  
COORDINADOR  
SOFTWARE ANTIPLAGIO  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y  
PETROQUIMICA**

**RAUL GERARDO AVILA MEZA  
ASESOR  
SOFTWARE ANTIPLAGIO  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y  
PETROQUIMICA**

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA” DE ICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA  
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**TESIS:**

“DISEÑO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS  
AGUAS RESIDUALES DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN DE  
CACHICHE – ICA, POR MEDIO DE LA EICHHORNIA CRASSIPES  
(JACINTO DE AGUA)”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES:**

**Bach. Ccapcha Cutimbo, Carlos Martin**

**Bach. Mendoza Quispe, Ricardo Kevin**

**ASESOR:**

**Mag. Yarasca Arcos, Felipe Estuardo**

**ICA - PERÚ**

**2020**

## DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis en primer lugar a nuestro papá Dios, quien nos acompañó en todo el desarrollo de la investigación y nos sigue acompañando en nuestras vidas.

A nuestros padres: Lucilia Cutimbo Suaña, Renan Ccapcha Berrocal, María Quispe Vilca y Porfirio Mendoza Rojas, quienes nos dieron sabiduría, paciencia, perseverancia, apoyo y así mismo fueron nuestros pilares para seguir adelante.

A nuestros hermanos/as: Norma Ccapcha Cutimbo y Renzo Mendoza Quispe, quienes nos brindaron su entusiasmo y apoyo incondicional, para no rendirnos, en todo momento.

Y sin dejar atrás a toda nuestra familia y amigos, por confiar siempre en nosotros, a nuestros abuelos, tíos, primos y sobrinos; gracias por ser parte de nuestra vida y por permitirnos ser parte de su orgullo.

¡Gracias!

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, damos gracias a Dios, por acompañarnos durante este complejo camino, y por darnos la posibilidad de servir a nuestra sociedad, a través del desarrollo de esta investigación.

A Él sea el honor y la gloria por siempre.

A nuestras familias por todo su apoyo incondicional en nuestro desarrollo profesional.

A la EPS EMAPICA S.A., por brindarnos un área para la pequeña planta de tratamiento, mediante la Ing. Bessie Aparcana Vega; y a Don Zenon de la Cruz Chacaliaza, por su valioso aporte en los trabajos de campo e ideas.

A nuestro asesor, Dr. Santos Humberto Olivera Machado, ya que nos brindó su sabiduría, confianza, disposición y apoyo incondicional desde la realización del proyecto de investigación, desarrollo del experimento y finalmente la tesis.

A nuestro asesor, Ing. Yarasca Arcos Felipe Estuardo, ya que nos brindó sus recomendaciones y perspectivas, del desarrollo experimental y estructura de la tesis.

Al instituto TECSUP, el cual nos brindó conocimientos y equipos para la realización de análisis del agua residual.

Al Coordinador de procesos químicos y metalúrgicos de TECSUP: Ing. Ames Ramirez Huguez Enrique, quien nos brindó asesoría en la parte experimental, obteniendo resultados valiosos.

A las siguientes personas, quienes aportaron con sus indispensables servicios: Ing. Carlos Calle, Srta. Kelly Sánchez, Sr. Carlos Chillce y al Sr. Gustavo Mere. Nunca olvidaremos su apoyo a nuestra tesis.

Por último, no hay forma de agradecer la disponibilidad de apoyar a alguien y nos quedamos cortos al decir: ¡MUCHAS GRACIAS A TODOS!

## RESUMEN

La presente investigación pretende ir más allá de pruebas a menor escala, es decir, realizar pruebas con dimensiones recomendadas por normas como la Environmental Protection Agency (EPA) y probar su eficiencia en condiciones reales (complejas).

Para el desarrollo de la investigación se optó por construir tres lagunas con las siguientes dimensiones: Profundidad: 1.2 m, ancho: 1.5 m (dato propuesto), largo: 1.5 m (dato propuesto), inclinación de talud de 4:1 – vertical: horizontal (dato propuesto), base interior: 0.90 m x 0.90 m (largo x ancho), para poder trabajar en paralelo (en el mismo instante), siendo nuestros parámetros de operación, características y su respectivo rendimiento (promedio): el tamaño y densidad de las plantas (se usaron entre grandes, medianas y pequeñas; y la relación fue de 3.44 Kg de plantas mojadas/m<sup>2</sup> de superficie de agua residual), temperatura (en el lecho acuático tuvo una temperatura promedio de 23.73 °C), altura efectiva de la laguna (0.90 m), la DBO<sub>5</sub> (90.20% de remoción), pH (7.57 a 7.92) y el tiempo de retención hidráulica; siendo este a su vez, la única variable (18 días de tratamiento, teniendo máximo rendimiento en el día 14). Además, de otros parámetros complementarios y sus respectivos rendimientos (promedio): Sólidos suspendidos totales (SST, 56.11% de remoción), sólidos sedimentables (SS, de 0.0233 a 0 ml/L/h), conductividad (12.59%), salinidad (12.64%), potencial de óxido reducción (-19.03 a -22.04 mV) y sólidos totales disueltos (STD, 12.64%). Con lo expuesto, se demuestra que esta especie presenta una aclimatación adecuada y un rendimiento considerable, en este tipo de escala

**Palabras claves:** Aguas residuales domésticas y urbanas, Eichornia Crassipes, altura efectiva, el tamaño y densidad de las plantas, temperatura ambiente, DBO<sub>5</sub>, pH y el tiempo de retención hidráulica.

## ABSTRACT

This research aims to go beyond tests on a smaller scale, that is, to carry out tests with dimensions recommended by standards such as the Environmental Protection Agency (EPA) and test their efficiency in real conditions (complex).

For the development of the research, it was decided to build three lagoons with the following dimensions: Depth: 1.2 m, width: 1.5 m (proposed data), length: 1.5 m (proposed data), slope inclination of 4: 1 - vertical: horizontal (proposed data), interior base: 0.90 m x 0.90 m (length x width), to be able to work in parallel (at the same time), with our operating parameters, characteristics and their respective performance (average): size and density of the plants

(They were used between large, medium and small; and the ratio was 3.44 Kg of wet plants / m<sup>2</sup> of residual water surface), temperature (in the water bed it had an average temperature of 23.73 °C), effective height of the lagoon (0.90 m), BOD<sub>5</sub> (90.20%, removal), pH (7.57 to 7.92) and the hydraulic retention time; this in turn being the only variable (18 days of treatment, having maximum performance on day 14). In addition, other complementary parameters and their respective yields (average): Total suspended solids (SST, 56.11% removal), sedimentable solids (SS, from 0.0233 to 0 ml/L/h), conductivity (12.59%), salinity (12.64%), oxide reduction potential (-19.03 to -22.04 mV) and total dissolved solids (STD, 12.64%). With the above, it is shown that this species presents adequate acclimatization and considerable performance, on this type of scale.

**Key words:** Domestic and urban wastewater, *Eichornia Crassipes*, effective height, size and density of plants, ambient temperature, BOD<sub>5</sub>, pH and hydraulic retention time.

**INDICE**

<b>DEDICATORIA</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>INDICE</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>12</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>20</b>
<b>CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>21</b>
<b>1.1. Situación problemática</b>	<b>21</b>
<b>1.2. El problema de investigación</b>	<b>22</b>
<b>1.2.1. Problema general.</b>	<b>22</b>
<b>1.2.2. Problemas específicos.</b>	<b>22</b>
<b>1.3. Hipótesis de la investigación</b>	<b>22</b>
<b>1.3.1. Hipótesis general.</b>	<b>22</b>
<b>1.3.2. Hipótesis específicas.</b>	<b>23</b>
<b>1.4. Objetivos de la investigación</b>	<b>23</b>
<b>1.4.1. Objetivo general.</b>	<b>23</b>
<b>1.4.2. Objetivos específicos.</b>	<b>23</b>
<b>1.5. Justificación e importancia de la investigación</b>	<b>24</b>
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO</b>	<b>25</b>
<b>2.1. Antecedentes</b>	<b>25</b>

2.1.1.	A nivel internacional.	25
2.1.2.	A nivel nacional.	27
2.1.3.	A nivel local.	30
2.2.	Bases teóricas	30
2.2.1.	Aguas Residuales.	30
2.2.1.1.	Clasificación de las aguas residuales.	30
2.2.2.	Características de las aguas residuales.	31
2.2.2.1.	Características físicas: definición y utilidad.	31
2.2.2.2.	Características químicas: definición y aplicación.	35
2.2.2.3.	Características biológicas: definición y aplicación.	39
2.2.2.4.	Composición de las aguas residuales.	41
2.2.3.	Tratamiento de aguas residuales.	43
2.2.3.1.	Generalidades del tratamiento de aguas residuales.	43
2.2.3.2.	Tipos de tratamiento de Aguas Residuales.	45
2.2.3.2.1.	Pretratamiento o tratamiento preliminar.	45
2.2.3.2.2.	Tratamiento primario.	47
2.2.3.2.3.	Tratamiento secundario.	48
2.2.3.2.4.	Tratamiento terciario.	49
2.2.4.	Diseño.	50
2.2.4.1.	Pretratamiento.	50
2.2.4.1.1.	Rejas de desbaste.	50
2.2.4.1.2.	Desarenadores.	57
2.2.4.2.	Tratamiento primario.	61

<b>2.2.4.2.1. Lagunas Anaerobias.</b>	<b>61</b>
<b>2.2.5. Eichhornia crassipes (Jacinto de agua).</b>	<b>68</b>
2.2.5.1. Aspectos generales.	68
2.2.5.2. Taxonomía.	70
2.2.5.3. Morfología.	70
2.2.5.4. Cuidados.	71
2.2.5.5. Reproducción.	73
2.2.5.6. El Jacinto de agua como planta invasora.	73
2.2.5.7. Métodos de control ante la invasión del Jacinto de agua en ecosistemas acuáticos.	74
2.2.5.8. Usos y aplicaciones del Jacinto de agua.	76
<b>2.2.6. Eichhornia crassipes como agente fitorremediador.</b>	<b>78</b>
2.2.6.1. Biorremediación.	78
2.2.6.2. Fitorremediación.	79
2.2.6.3. Mecanismos de depuración en la Eichhornia Crassipes.	82
2.2.6.4. Optimización de la capacidad depurativa.	84
2.2.6.5. Investigaciones en el tratamiento de aguas utilizando Eichhornia Crassipes.	85
<b>2.2.7. Sistemas de tratamientos de aguas residuales con plantas acuáticas flotantes.</b>	<b>87</b>
2.2.7.1. Emplazamiento de sistemas de tratamiento con plantas acuáticas flotantes.	87
2.2.7.2. Pretratamiento.	88
2.2.7.3. Parámetros de diseño.	88
<b>2.2.8. Sistemas de tratamiento de aguas residuales con Jacintos de agua.</b>	<b>89</b>

2.2.8.1.	Sistemas aerobios con jacintos sin aireación suplementaria.	89
2.2.8.2.	Sistemas aerobios con jacintos con aireación suplementaria.	89
2.2.8.3.	Sistemas anaerobios/facultativos.	90
2.2.8.4.	Control de mosquitos.	92
2.2.8.5.	Cosechado y procesado de las plantas.	93
2.3.	Marco conceptual	94
<b>CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION</b>		<b>97</b>
3.1.	Tipo y nivel de la investigación	97
3.1.1.	Tipo de investigación.	97
3.1.2.	Nivel de investigación.	97
3.2.	Población y muestra de investigación	97
3.2.1.	Población.	97
3.2.2.	Muestra.	97
3.3.	Variables e indicadores	98
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de investigación	98
3.4.1.	Para la variable independiente: Tratamiento Secundario con Eichhornia Crassipes.	98
3.4.2.	Para la variable dependiente: Efluente del Tratamiento Secundario.	99
3.5.	Técnicas de procesamiento y análisis de resultados	100
3.6.	Método de investigación	100
3.6.1.	Diseño del método de investigación.	100
3.6.2.	Métodos y procedimientos.	101
3.6.2.1.	Investigación bibliográfica y dimensionamiento del Sistema de Tratamiento (ST).	101

3.6.2.1.1.	Dimensionamiento del Tratamiento Primario.	101
3.6.2.1.2.	Dimensionamiento del Tratamiento Secundario.	102
3.6.2.2.	Construcción y Puesta en Operación del ST.	104
3.6.2.2.1.	Ubicación del ST.	104
3.6.2.2.2.	Plano del ST.	105
3.6.2.2.3.	Materiales y accesorios para la construcción del ST	108
3.6.2.2.4.	Instalación del sistema de pretratamiento del proyecto.	109
3.6.2.2.5.	Construcción de laguna anaerobia y lagunas secundarias.	114
3.6.2.2.6.	Operación del ST.	119
3.6.2.3.	Muestreo y monitoreo del afluente doméstico.	125
3.6.2.3.1.	Monitoreo de indicadores in situ (pH, Temperatura, Conductividad, STD, Salinidad, ORP y Sólidos Sedimentables).	125
3.6.2.3.2.	Monitoreo de parámetros evaluados en laboratorio (DBO <sub>5</sub> y SST).	132
<b>CAPITULO IV: PRESENTACION, ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS</b>		<b>136</b>
4.1.	<b>Resultados</b>	<b>136</b>
4.1.1.	Resultados del muestreo in situ en la colectora.	136
4.1.2.	Resultados del muestreo insitu en las lagunas secundarias.	138
4.1.3.	Resultados del muestreo de DBO <sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias.	143
4.2.	<b>Análisis de resultados</b>	<b>146</b>
4.2.1.	Análisis del muestreo in situ en la colectora.	146
4.2.2.	Análisis del muestreo insitu en las lagunas secundarias.	150
4.2.2.1.	Análisis de la variación de los parámetros en el tiempo de la laguna secundaria N° 1.	152

<b>4.2.2.2. Análisis de la variación de los parámetros en el tiempo de la laguna secundaria N° 2.</b>	<b>156</b>
<b>4.2.2.3. Análisis de la variación de los parámetros en el tiempo de la laguna secundaria N° 3.</b>	<b>159</b>
<b>4.2.3. Análisis del muestreo de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias.</b>	<b>162</b>
<b>4.2.4. Análisis comparativo de la variación de los parámetros medidos durante el tratamiento secundario en las tres lagunas secundarias.</b>	<b>166</b>
<b>4.2.5. Análisis de los promedios finales totales para cada parámetro medido.</b>	<b>169</b>
<b>4.2.6. Cálculo y análisis de la eficiencia del tratamiento secundario.</b>	<b>172</b>
<b>4.2.6.1. Análisis de la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>.</b>	<b>172</b>
<b>4.2.6.2. Análisis de la eficiencia de remoción de SST.</b>	<b>173</b>
<b>4.2.6.3. Análisis de la eficiencia de disminución de la conductividad.</b>	<b>173</b>
<b>4.2.6.4. Análisis de la eficiencia de remoción de STD.</b>	<b>174</b>
<b>4.2.6.5. Análisis de la eficiencia de remoción de la salinidad.</b>	<b>175</b>
<b>4.3. Discusión de resultados</b>	<b>177</b>
<b>CAPITULO V: PRUEBA DE HIPOTESIS</b>	<b>180</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>183</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>185</b>
<b>FUENTES DE INFORMACION</b>	<b>187</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>194</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 2.2. Composición típica del agua residual doméstica bruta .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 2.3. Composición del jacinto de aguas residuales .....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 2.4. Clasificación taxonómica de la <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua).....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 2.5. Principales biocombustibles obtenidos del Jacinto de agua .....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 2.6. Mecanismos de fitorremediación .....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla 2.7. Eficiencias de distintas especies de macrófitas flotantes en la remoción de distintos contaminantes .....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 2.8. Tipos de sistemas de tratamiento con jacintos de agua .....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 2.9. Criterios de diseño para sistemas de tratamiento con jacintos de agua .....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 2.10. Criterios de diseño y calidad esperada de sistemas de tratamiento de aguas residuales crudas con Jacintos de agua (India).....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 4.1. Resultados del muestreo in situ en la colectora de la Lagunas de Oxidación ..</b>	<b>136</b>
<b>Tabla 4.2. Resultados del análisis de Sólidos Sedimentables en la colectora.....</b>	<b>137</b>
<b>Tabla 4.3. Resultados de la medición del Caudal de entrada.....</b>	<b>137</b>
<b>Tabla 4.4. Resultados del muestreo de DBO<sub>5</sub> y SST en la colectora .....</b>	<b>137</b>
<b>Tabla 4.5. Resultados del muestreo en las lagunas secundarias el día 15/09/2019 .....</b>	<b>138</b>
<b>Tabla 4.6. Resultados del muestreo en las lagunas secundarias el día 19/09/2019 .....</b>	<b>139</b>
<b>Tabla 4.7. Resultados del muestreo en las lagunas secundarias el día 22/09/2019 .....</b>	<b>139</b>
<b>Tabla 4.8. Resultados del muestreo en las lagunas secundarias el día 26/09/2019 .....</b>	<b>140</b>
<b>Tabla 4.9. Resultados del muestreo en las lagunas secundarias el día 29/09/2019 .....</b>	<b>140</b>
<b>Tabla 4.10. Resultados del muestreo en las lagunas secundarias el día 03/10/2019 .....</b>	<b>141</b>

<b>Tabla 4.11. Resultados del muestreo de SS en las lagunas secundarias el día 15/09/2019</b>	<b>141</b>
<b>Tabla 4.12. Resultados del muestreo de SS en las lagunas secundarias el día 19/09/2019</b>	<b>142</b>
<b>Tabla 4.13. Resultados del muestreo de SS en las lagunas secundarias el día 22/09/2019</b>	<b>142</b>
<b>Tabla 4.14. Resultados del muestreo de SS en las lagunas secundarias el día 26/09/2019</b>	<b>142</b>
<b>Tabla 4.15. Resultados del muestreo de SS en las lagunas secundarias el día 29/09/2019</b>	<b>142</b>
<b>Tabla 4.16. Resultados del muestreo de SS en las lagunas secundarias el día 03/10/2019</b>	<b>143</b>
<b>Tabla 4.17. Resultados del análisis de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias el día 15/09/2019</b>	<b>143</b>
<b>Tabla 4.18. Resultados del análisis de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias el día 19/09/2019</b>	<b>144</b>
<b>Tabla 4.19. Resultados del análisis de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias el día 22/09/2019</b>	<b>144</b>
<b>Tabla 4.20. Resultados del análisis de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias el día 26/09/2019</b>	<b>145</b>
<b>Tabla 4.21. Resultados del análisis de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias el día 29/09/2019</b>	<b>145</b>
<b>Tabla 4.22. Resultados del análisis de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias el día 03/10/2019</b>	<b>146</b>
<b>Tabla 4.23. Promedios de los resultados del análisis del muestreo in situ en la colectora</b>	<b>146</b>
<b>Tabla 4.24. Promedios totales de los parámetros evaluados en la colectora</b>	<b>150</b>
<b>Tabla 4.25. Promedios de los parámetros evaluados el día 15/09/2019</b>	<b>151</b>
<b>Tabla 4.26. Promedios de los parámetros evaluados el día 19/09/2019</b>	<b>151</b>
<b>Tabla 4.27. Promedios de los parámetros evaluados el día 22/09/2019</b>	<b>151</b>

<b>Tabla 4.28. Promedios de los parámetros evaluados el día 26/09/2019.....</b>	<b>151</b>
<b>Tabla 4.29. Promedios de los parámetros evaluados el día 29/09/2019.....</b>	<b>152</b>
<b>Tabla 4.30. Promedios de los parámetros evaluados el día 03/10/2019.....</b>	<b>152</b>
<b>Tabla 4.31. Variación de los parámetros durante el tratamiento secundario en la L.S N° 1 .....</b>	<b>153</b>
<b>Tabla 4.32. Variación de los parámetros durante el tratamiento secundario en la L.S N° 2 .....</b>	<b>156</b>
<b>Tabla 4.33. Variación de los parámetros durante el tratamiento secundario en la L.S N° 3. .....</b>	<b>159</b>
<b>Tabla 4.34. Cuadro comparativo de la variación de DBO5 en el tiempo para cada laguna secundaria.....</b>	<b>162</b>
<b>Tabla 4.35. Cuadro comparativo de la variación de SST en el tiempo para cada laguna secundaria.....</b>	<b>162</b>
<b>Tabla 4.36. Promedios totales de cada parámetro evaluado durante el sistema de tratamiento.....</b>	<b>169</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1. <i>Rejilla que retiene cuerpos gruesos</i>.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 2.2. <i>Desarenador de doble línea</i>.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 2.3. <i>Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)</i>.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 2.4. <i>Morfología del jacinto de agua o lirio acuático</i>.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 2.5. <i>Invasión del jacinto de agua en un cuerpo de agua</i>.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 2.6. <i>Esquema del proceso de aireación de la rizosfera de las macrófitas en humedales</i>.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 2.7. <i>Esquema de un sistema de tratamiento de aguas residuales con macrófitas flotantes</i>.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 3.1. <i>Dimensiones de la laguna anaerobia</i>.....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 3.2. <i>Dimensiones de las lagunas secundarias</i>.....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 3.3. <i>Ubicación con coordenadas geográficas del ST</i>.....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 3.4. <i>Plano del Sistema de Tratamiento</i>.....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 3.5. <i>Ubicación interior del ST</i>.....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 3.6. <i>Ubicación exterior del ST</i>.....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 3.7. <i>Colocación de la tubería de captación</i>.....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 3.8. <i>Colocación de reducción simple y válvulas de control</i>.....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 3.9. <i>Colocación de tuberías de transporte de 1 pulgada</i>.....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 3.10. <i>Colocación del canal de entrada</i>.....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 3.11. <i>Colocación de la malla acerada</i>.....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 3.12. <i>Pozo excavado a cierta profundidad, humedecido todo el contorno</i>.....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 3.13. <i>Laguna anaerobia, con taludes y profundidad definidos</i>.....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 3.14. <i>Base de cemento alrededor de esta</i>.....</b>	<b>116</b>

Figura 3.15. <i>Laguna anaerobia culminada</i> .....	116
Figura 3.16. <i>Empozando de agua a la laguna, para que los taludes tomen consistencia</i> ..	117
Figura 3.17. <i>Ligera base de cemento en el fondo</i> .....	118
Figura 3.18. <i>Pozas de lagunas secundarias</i> .....	118
Figura 3.19. <i>Nivel de agua residual acorde para la captación de esta</i> .....	119
Figura 3.20. <i>Tres válvulas, en el Sistema de tuberías</i> .....	120
Figura 3.21. <i>Agujero (espacio), para la medición del caudal</i> .....	120
Figura 3.22. <i>Agua residual desembocando, para atravesar la rejilla</i> .....	121
Figura 3.23. <i>Retención de partículas, mediante rejillas</i> .....	121
Figura 3.24. <i>Agua residual, desembocando en la laguna anaerobia</i> .....	122
Figura 3.25. <i>Laguna anaerobia, llenada hasta el nivel adecuado</i> .....	123
Figura 3.26. <i>Trasvase de agua residual de la laguna primaria, hacia las lagunas secundarias</i> .....	123
Figura 3.27. <i>Laguna secundaria, con nivel adecuado de agua residual</i> .....	124
Figura 3.28. <i>Lagunas secundarias con niveles adecuados de agua residual</i> .....	124
Figura 3.29. <i>Laguna secundaria, cubierta con jacintos de agua</i> .....	125
Figura 3.30. <i>Lagunas secundarias, cubiertas con jacintos de agua</i> .....	125
Figura 3.31. <i>Colectora de la planta de tratamiento de Cachiche</i> .....	126
Figura 3.32. <i>Captación de agua residual</i> .....	126
Figura 3.33. <i>Efluente de la laguna anaerobia</i> .....	127
Figura 3.34. <i>Aguas residuales sometidas a la fitorremediación</i> .....	127
Figura 3.35. <i>Multiparámetro, con el cual se realiza las mediciones</i> .....	128
Figura 3.36. <i>Medición de parámetros in situ</i> .....	129

<b>Figura 3.37. Medición de los sólidos sedimentables (SS), mediante un cono Imhoff.....</b>	<b>130</b>
<b>Figura 3.38. Realización de muestreo .....</b>	<b>131</b>
<b>Figura 3.39. Apreciación notoria de sólidos sedimentables .....</b>	<b>131</b>
<b>Figura 3.40. Ubicación del Laboratorio acreditado .....</b>	<b>132</b>
<b>Figura 3.41. Envases, con sus respectivas etiquetas y rotulados .....</b>	<b>133</b>
<b>Figura 3.42. Cooler, en el cual se transportaron las muestras. ....</b>	<b>133</b>
<b>Figura 3.43. Muestra homogenizada, siendo trasvasada al envase, adecuado. ....</b>	<b>134</b>
<b>Figura 3.44. Incubadora, con la cual se mide el valor del DBO<sub>5</sub>. ....</b>	<b>135</b>
<b>Figura 3.45. Compartimiento interno de la incubadora.....</b>	<b>135</b>
<b>Figura 4.1. Variación en el tiempo del pH en la colectora.....</b>	<b>147</b>
<b>Figura 4.2. Variación en el tiempo de la conductividad en la colectora.....</b>	<b>147</b>
<b>Figura 4.3. Variación en el tiempo de STD en la colectora .....</b>	<b>148</b>
<b>Figura 4.4. Variación en el tiempo de la salinidad en la colectora.....</b>	<b>148</b>
<b>Figura 4.5. Variación en el tiempo de ORP en la colectora .....</b>	<b>149</b>
<b>Figura 4.6. Variación de pH en la laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>153</b>
<b>Figura 4.7. Variación de la conductividad en laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>154</b>
<b>Figura 4.8. Variación de STD en la laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>154</b>
<b>Figura 4.9. Variación de la salinidad en la laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>155</b>
<b>Figura 4.10. Variación de ORP en la laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>155</b>
<b>Figura 4.11. Variación de pH en la laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>156</b>

<b>Figura 4.12. Variación de la conductividad en laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>157</b>
<b>Figura 4.13. Variación de STD en la laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>157</b>
<b>Figura 4.14. Variación de la salinidad en la laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>158</b>
<b>Figura 4.15. Variación de ORP en la laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>158</b>
<b>Figura 4.16. Variación de pH en la laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>159</b>
<b>Figura 4.17. Variación de la conductividad en laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>160</b>
<b>Figura 4.18. Variación de STD en la laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>160</b>
<b>Figura 4.19. Variación de la salinidad en la laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>161</b>
<b>Figura 4.20. Variación de ORP en la laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>161</b>
<b>Figura 4.21. Variación de DBO<sub>5</sub> en la laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>163</b>
<b>Figura 4.22. Variación de DBO<sub>5</sub> en la laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>163</b>
<b>Figura 4.23. Variación de DBO<sub>5</sub> en la laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>164</b>
<b>Figura 4.24. Variación de SST en la laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>164</b>
<b>Figura 4.25. Variación de SST en la laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>165</b>
<b>Figura 4.26. Variación de SST en la laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario.....</b>	<b>165</b>
<b>Figura 4.27. Comparación de la variación de pH en las tres lagunas secundarias .....</b>	<b>166</b>

<b>Figura 4.28. Comparación de la variación de la conductividad en las tres lagunas secundarias .....</b>	<b>166</b>
<b>Figura 4.29. Comparación de la variación de STD en las tres lagunas secundarias .....</b>	<b>167</b>
<b>Figura 4.30. Comparación de la variación de la salinidad en las tres lagunas secundarias .....</b>	<b>167</b>
<b>Figura 4.31. Comparación de la variación de ORP en las tres lagunas secundarias .....</b>	<b>168</b>
<b>Figura 4.32. Comparación de la variación de DBO<sub>5</sub> en las tres lagunas secundarias .....</b>	<b>168</b>
<b>Figura 4.33. Comparación de la variación de SST en las tres lagunas secundarias .....</b>	<b>169</b>
<b>Figura 4.34. Variación del pH durante el tratamiento secundario .....</b>	<b>171</b>
<b>Figura 4.35. Variación de la temperatura durante en el tratamiento secundario .....</b>	<b>171</b>
<b>Figura 4.36. Variación de la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> en el tratamiento secundario .....</b>	<b>172</b>
<b>Figura 4.37. Variación de la eficiencia de remoción de SST en el tratamiento secundario .....</b>	<b>173</b>
<b>Figura 4.38. Variación de la eficiencia de disminución de conductividad en el tratamiento secundario .....</b>	<b>174</b>
<b>Figura 4.39. Variación de la eficiencia de remoción de STD en el tratamiento secundario .....</b>	<b>175</b>
<b>Figura 4.40. Variación de la eficiencia de remoción de la salinidad en el tratamiento secundario .....</b>	<b>176</b>

## INTRODUCCION

Los residuos líquidos han sido inherentes a las actividades humanas desde los comienzos de la historia. A estos tipos de residuos se les conoce como aguas residuales, las cuales requieren de un tratamiento adecuado, ya que por su propia naturaleza representan un peligro para la salud humana y la contaminación de cuerpos receptores tales como ríos, lagos, lagunas u océanos.

En la actualidad, existen diversas tecnologías químicas y sistemas biológicos para el tratamiento de aguas residuales domésticas y/o industriales, las cuales también son llamadas “convencionales” y que han demostrado ser muy eficientes en este campo de la ingeniería.

Por otra parte, en los últimos años han surgido estudios relacionados a nuevos e innovadores sistemas biológicos, para el tratamiento de aguas residuales, que utilizan plantas acuáticas, llamadas “macrófitas”, las cuales logran disminuir los contaminantes presentes en el agua a través de una variedad de procesos físicos, químicos y biológicos. Según las diversas investigaciones realizadas y los resultados obtenidos, estos sistemas han demostrado ser tan eficientes como los sistemas convencionales, al mismo tiempo que se requiere de un simple manejo y de bajos costos de operación.

Existen diversas especies de este tipo de plantas, las cuales algunas poseen la característica de flotar en la superficie del agua, por lo que se les conoce como: macrófitas flotantes. Algunos ejemplos de ellas son, por ejemplo, *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), *Lemna minor* (lenteja de agua), *Pistia striatiotes* (lechuga de agua), entre otras.

La presente investigación, tuvo como objetivo principal diseñar un proceso de tratamiento secundario mediante el uso de *Eichhornia Crassipes*, considerada como la macrófita flotante que mejor resultados ha brindado en el tratamiento de aguas residuales; y a la vez, conocer la eficiencia de este sistema en la biorremediación de las aguas residuales de la ciudad de Ica, colectadas en las lagunas de oxidación de Cachiche.

## **CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Situación problemática**

En la actualidad en nuestro país especialmente en zonas urbanas encontramos una serie de infraestructuras de sistemas de tratamiento de aguas residuales totalmente colapsadas, esto debido a diferentes razones, como por ejemplo: han cumplido con su ciclo de vida, hay un incremento progresivo de la población, mal diseño hidráulico, etc. Así, en el año 2010, Ica fue declarado como una región en emergencia hídrica, según la ordenanza regional N°0024-2010-GORE-ICA, donde el agua es uno de los bienes más escasos, siendo base para el crecimiento de sectores de gran potencial como lo es el agroexportador. Actualmente, no existe un tratamiento adecuado y óptimo de las aguas residuales urbanas, las cuales son colectadas y vertidas en las lagunas de oxidación de Cachiche, y finalmente son destinadas para regadío de cultivos de tallo alto y bajo.

Asímismo, existen pocos o casi ningún estudio relacionado al tratamiento de aguas residuales por medio de cultivos acuáticos en la ciudad de Ica, existiendo investigaciones importantes a nivel nacional e internacional sobre la eficiencia de estas plantas, siendo la *Eichhornia crassipes*, una de las especies que ha dado resultados óptimos en biorremediación de aguas. En consecuencia, en esta radica la problemática principal.

Por tal motivo, es necesario diseñar un proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche - Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) a nivel experimental, determinando su eficiencia en la descontaminación de estas.

## **1.2. El problema de investigación**

### **1.2.1. Problema general.**

¿Cuál es el diseño óptimo del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua)?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

- P.E.1: ¿Cuáles son las dimensiones del sistema de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)?

- P.E.2: ¿Cuáles son los parámetros de operación del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)?

- P.E.3: ¿Cuál es la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) en el proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)?

## **1.3. Hipótesis de la investigación**

### **1.3.1. Hipótesis general.**

El diseño óptimo del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes*, tiene un rendimiento significativo.

### **1.3.2. Hipótesis específicas.**

- H.E. 1: Las dimensiones del sistema de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) están relacionadas con el largo, ancho y altura de la laguna.
- H.E. 2: Los parámetros de operación del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) son: DBO<sub>5</sub>, pH y tiempo de retención hidráulica.
- H.E. 3: Es alta la eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub>, en el proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua).

## **1.4. Objetivos de la investigación**

### **1.4.1. Objetivo general.**

Diseñar el proceso óptimo de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua).

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- O.E. 1: Determinar las dimensiones del sistema de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua).
- O.E. 2: Establecer los parámetros de operación del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua).

- O.E. 3: Hallar la eficiencia de remoción de  $DBO_5$ , en el proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua).

### **1.5. Justificación e importancia de la investigación**

El trabajo a realizar se justifica por lo siguiente:

Se basa sobre un tema de interés para el departamento de Ica, en donde existe una crisis del recurso hídrico.

En la actualidad, no existe un tratamiento adecuado y óptimo de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche - Ica.

El uso de la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), en el tratamiento de las aguas residuales urbanas, posee bajos costos de operación y mantenimiento.

El empleo de la *Eichhornia crassipes* ha sido evaluado en el Perú y en diversas partes del mundo, brindando resultados más que alentadores en la biorremediación de aguas residuales.

El trabajo es importante por lo siguiente:

El estudio de esta macrofita flotante, brindará resultados importantes para conocer su comportamiento y eficiencia, de acuerdo al clima y a las características de las aguas residuales urbanas, de la ciudad de Ica.

La investigación servirá de base para su posible aplicación a mayor escala, contribuyendo con el desarrollo tecnológico en el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Ica.

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. A nivel internacional.

- Rizzo, P.; Arreghini, S.; Serafini, R.; Bres, P.; Crespo, D. y Fabrizio, A. (2012). Remediación de efluentes provenientes de feedlots mediante el uso de plantas acuáticas, estudio realizado en Buenos Aires, Argentina, con la finalidad de evaluar el potencial de remediación de dos especies de plantas acuáticas: *Eichhornia crassipes* e *Hydrocotyle ranunculoides*, sobre un efluente de feedlot (sistema de engorde a corral). El efluente fue tratado con estas especies durante 31 días, al mismo tiempo que se fue monitoreando parámetros físicos y químicos del agua. Los resultados permiten concluir que la presencia de plantas acuáticas, disminuye los niveles de DBO<sub>5</sub>, DQO, STD, entre otros parámetros, manteniendo constante los niveles de pH.

- Shah et al. (2014). Evaluación del desempeño de macrófitas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales municipales (Pakistán), estudio realizado a partir de las aguas residuales colectadas de la Universidad de Ingeniería y Tecnología de Taxila. Se realizó la evaluación del nivel de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO, Nitrógeno y Fósforo, por parte de 3 especies de macrófitas flotantes: Jacinto de agua, Lenteja de agua y Lechuga de agua. Cada especie realizó el tratamiento en un compartimento individual de 1.52m x 1.83m x 0.91m. El tiempo que llevo cada ensayo fue de 30 días, monitoreando la concentración en el afluente y en el efluente de dichos compartimentos. La especie Jacinto de agua fue la que tuvo el mejor desempeño en comparación con las otras dos especies, teniendo un promedio de reducción del 50.61% para DBO<sub>5</sub>, 46.38% para DQO, 40.34% para Nitrógeno y 18.76% para Fósforo. Adicionalmente, se realizó un estudio sobre la influencia del pH y la temperatura, en el desempeño de las tres macrófitas, obteniéndose como resultado que un pH entre 6-9 y una

temperatura entre 15-38°C, resultarían las condiciones más favorables para el tratamiento de aguas residuales mediante macrófitas.

- Vizcaíno, L. y Fuentes, N. (2016). Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos, fue la investigación realizada con la finalidad de conocer la capacidad depuradora de un sistema biológico compuesto por dichas especies, para el tratamiento de efluentes residuales del municipio de San Juan del Cesar, Colombia. Se emplearon 3 sistemas de tratamiento, T1: *E. foetida* (biofiltro dinámico aerobio de flujo vertical); T2: *E. crassipes* (sistema de flujo horizontal con plantas flotantes) y T3: *E. foetida* + *E. crassipes* (sistema en serie), en los cuales se emplearon tiempos de retención hidráulica de 24h. Se determinaron las concentraciones de ST, SST, turbidez, DBO<sub>5</sub>, DQO, Nitrógeno Total, fosfatos, coliformes totales y *Escherichia coli*. Entre los resultados, la DBO<sub>5</sub> disminuyó en un porcentaje máximo de 91%, al ser tratada en el sistema en serie (T3), seguido por T2, con 83,7%.

- Mendoza, Y.; Castro, F.; Marín, J. & Behling, E. (2016). Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia), trabajo de investigación realizado en el Laboratorio del Instituto de Aprovechamiento de Agua y Estudios Ambientales (INESAG) de la Universidad de la Guajira, Colombia En el trabajo realizado, se implementó un sistema de fitorremediación a escala de laboratorio, integrado por 6 unidades operadas a flujo semicontinuo y con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 7 días. Tres unidades fueron provistas de plantas de *Eichhornia crassipes*, mientras que las tres restantes sirvieron como control (sin plantas). Durante los ensayos se aplicaron tasas de renovación del efluente de 25, 50 y 75%. Los mejores resultados del proceso se obtuvieron al aplicar tasas de renovación de 75% en las unidades con plantas, con porcentajes de remoción de 99,9% de amonio; 93,1% de ortofosfato;

93,9% de materia orgánica (DQO); 91,6% de materia orgánica (DBO<sub>5</sub>); 99,9% de coliformes totales y fecales.

- Mendoza, Y.; Pérez, J. & Galindo, A. (2018). Evaluación del Aporte de las Plantas Acuáticas Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes en el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales, trabajo de investigación realizado en el Laboratorio del Instituto de Aprovechamiento de Agua y Estudios Ambientales (INESAG) de la Universidad de la Guajira, Colombia. Se evaluó el aporte de las plantas acuáticas Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes en el tratamiento del agua residual municipal (ARM). Se estableció un diseño experimental de un factor (plantas) y seis niveles que corresponden a los cinco tratamientos y un control. La mejor eficiencia se logró en el microcosmo que tenía el 100% de cobertura con Pistia stratiotes (M4). Las eficiencias encontradas en los microcosmos especialmente aquellos con cobertura de Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes alcanzaron remoción de 78,5%; 79,1%; 76,2% y 99,9% para NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, DBO<sub>5</sub>, DQO y CT respectivamente; no siendo así para el NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, donde se obtuvieron eficiencias de 8,6%; 51,6% y 24,9%, respectivamente.

### **2.1.2. A nivel nacional.**

- Cupe F. E. D. & Portocarrero C. C. J. (2009). Realizaron el trabajo: Evaluación de la eficiencia de plantas acuáticas flotantes Lemna minor (Lenteja de agua), Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) y Pistia stratioides (Lechuga de agua). Para el tratamiento de aguas residuales domésticas. En este, se realizaron análisis al cabo de los períodos de retención de dos, tres y cuatro días para cada estanque con su respectiva macrofitas, dichos análisis fueron: DBO<sub>5</sub>, Coliformes totales y fecales, Nitrógeno Total y Fósforo total, Sólidos Totales Fijos y Volátiles, Sólidos Disueltos Fijos y Volátiles, Sólidos Suspendedos Fijos y Volátiles. Las pruebas de campo fueron: mediciones de PH, T y evapotranspiración.

Sin embargo se hace presente que el Jacinto de Agua fue la planta acuática que ha presentado mayor eficiencia en la remoción de contaminantes de las aguas residuales.

- Moret Chiappe Issa (2014). Refiere en el trabajo: Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrofitas. En este, se instala, un molino de viento, con la finalidad de eliminar puntos muertos o cortocircuitos, derivados de la geometría de las lagunas, mejorando así las características del agua residual. Asimismo se comprobó que la incorporación de aireación artificial en zonas con velocidades de viento superiores a los 7 Km/h contribuirá a optimizar los diseños de lagunas de estabilización. Añadiendo un sistema de filtro de macrofitas en flotación que reduce drásticamente el número de microorganismos patógenos, siendo innecesaria la cloración del agua antes del vertido al cauce.

- Vargas Torres Katty Lizeth (2017). Refiere en el trabajo: Evaluación de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en la remoción de parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba. En esta, se optó por usar el sistema por tandas, luego; los parámetros a evaluar del agua residual doméstica fueron sólidos suspendidos totales, pH, DBO<sub>5</sub>, temperatura, turbiedad y coliformes termotolerantes, que luego de la última muestra tomada se procedió a comparar con los Límites máximos permisibles para efluentes de PTAR (DS N°003-2010-MINAM). Después de todo el trabajo realizado, se concluyó que la *Eichhornia crassipes* es más eficiente en la remoción de parámetros.

- Castillo Rojas Eisner Will (2017). Refiere en el trabajo: Eficiencia de *Lemna* sp y *Eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín. En esta, la evaluación se realizó por un período de 6 meses, los parámetros analizados fueron: nitrógeno total (N), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), fósforo total (P),

fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y oxígeno disuelto, evaluados con una frecuencia de una vez por mes en el afluente y efluente de cada uno de los sistemas de reactores en serie para el tratamiento con *Lemna* sp y *Eichhornia crassipes*; y los parámetros de campo (temperatura, pH, caudal y tiempo de retención hidráulica), se realizaron en cada punto de monitoreo establecido una vez por semana y a diferentes horas del día. Llegando a la conclusión final de que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* registra las tasas más altas en la remoción de nutrientes.

- Perales Vasquez Kelith Liliana (2018). Refiere en el trabajo: Tratamiento de aguas residuales domésticas por fitorremediación con *Eichhornia Crassipes* en la zona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017. En esta, su objetivo general fue: Determinar la contribución de la fitorremediación con *Eichhornia Crassipes* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la zona rural Caserío Santa Catalina; así como diseñar y aplicar un sistema de fitorremediación de las aguas residuales domésticas. Respecto a la temperatura del lecho acuático se mantiene estable, el promedio de la temperatura registrada en las tres pozas es de 28.6 °C, se registra un pH neutro en todas las pozas muestreadas. Parámetros químicos ( $\text{DBO}_5$ , DQO y Aceites y grasas) se realizaron 3 muestreos antes de sembrado las plantas a los 40 días y 86 días. Los resultados en la remoción de  $\text{DBO}_5$  pozo 01 es de 95.24%, pozo 02 es de 94.46% y pozo 03 es de 94.44%. DQO pozo 01 es de 93.03%, pozo 02 es de 92.76% y pozo 03 es de 92.69%. Aceites y grasas pozo 01 es de 94.41%, pozo 02 es de 94.82% y pozo 03 es de 94.91%. En la investigación realizada demuestra que esta especie presenta una aclimatación adecuada, además de una respuesta altamente positiva a las condiciones ambientales en donde se le instalen.

### 2.1.3. A nivel local.

- Quispe Alarcón Joanna Isabel (2017). Refiere en el trabajo: Tratamiento secundario de los efluentes domésticos empleando el sistema de humedal artificial en el Cercado de Ica – Angostura Limón. Este trabajo, tiene por finalidad reducir la DBO, teniéndose la necesidad de diseñar y construir un humedal piloto, para utilizarse en las pruebas experimentales. Durante las pruebas de evaluación se optó por analizar la DBO5 del afluente y efluente del humedal; demostrando una elevada capacidad de remoción promedio de 94.4% para este Sistema.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Aguas Residuales.

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014) afirma: “Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado” (p.2)

#### 2.2.1.1. Clasificación de las aguas residuales.

- **Aguas residuales industriales:** “Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras” (OEFA, 2014, p.3)
- **Aguas residuales domésticas:** “Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente” (OEFA, 2014, p.3)
- **Aguas residuales municipales:** “Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen

industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado'' (OEFA, 2014, p.3)

### **2.2.2. Características de las aguas residuales.**

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental de cara al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, así como para la gestión de la calidad medioambiental. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.53). Asimismo, los contaminantes a tener en cuenta en el tratamiento de aguas: sólidos en suspensión, materia orgánica biodegradable, patógenos, nutrientes, materia orgánica refractaria, metales pesados y sólidos inorgánicos disueltos.

En la tabla 2.1 se describen los constituyentes físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales.

#### **2.2.2.1. Características físicas: definición y utilidad.**

**Sólidos totales.** De manera analítica, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación, con una temperatura entre 103 y 105 °C'' (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.59).

**Olores.** Los olores, normalmente, son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.63)

**Tabla 2.1.** *Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias*

<b>Características</b>	<b>Procedencia</b>
<b>Propiedades físicas:</b>	
<b>Color</b>	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.
<b>Olor</b>	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
<b>Sólidos</b>	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
<b>Temperatura</b>	Aguas residuales domésticas e industriales
<b>Constituyentes químicos:</b>	
<b>Orgánicos:</b>	
<b>Carbohidratos</b>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
<b>Grasas animales, aceites y grasa</b>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
<b>Pesticidas</b>	Residuos agrícolas
<b>Fenoles</b>	Vertidos industriales
<b>Proteínas</b>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<b>Contaminantes prioritarios</b>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<b>Agentes tensoactivos</b>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<b>Compuestos orgánicos volátiles</b>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<b>Otros</b>	Degradación natural de materia orgánica
<b>Inorgánicos:</b>	
<b>Alcalinidad</b>	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea

**Tabla 2.1. (Continuación)**

<b>Cloruros</b>	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
<b>Metales pesados</b>	Vertidos industriales
<b>Nitrógeno</b>	Aguas residuales domésticas y residuos agrícolas
<b>pH</b>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<b>Fósforo</b>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía
<b>Contaminantes prioritarios</b>	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
<b>Azufre</b>	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.
<b>Gases:</b>	
<b>Sulfuro de hidrógeno</b>	Descomposición de residuos domésticos
<b>Metano</b>	Descomposición de residuos domésticos
<b>Oxígeno</b>	Agua de suministro; infiltración de agua superficial
<b>Constituyentes biológicos:</b>	
<b>Animales</b>	Cursos de agua y plantas de tratamiento
<b>Plantas</b>	Cursos de agua y plantas de tratamiento
<b>Protistas:</b>	
<b>Eubacterias</b>	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial y plantas de tratamiento
<b>Arqueobacterias</b>	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial y plantas de tratamiento
<b>Virus</b>	Aguas residuales domésticas

*Nota.* Obtenido de Metcalf & Eddy, Inc., 1995, p. 54-55.

**Temperatura.** La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.71)

**Densidad.** Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad de las aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.72)

**Color.** Históricamente, para la descripción de un agua residual, se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.72)

**Turbiedad.** La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.72-73)

### **2.2.2.2. Características químicas: definición y aplicación.**

“El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguientes cuatro apartados: La materia orgánica, la medición del contenido orgánico, la materia inorgánica, y los gases presentes en el agua residual” (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.73)

#### ***Materia orgánica.***

Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60 por 100), hidratos de carbono (25-50 por 100), y grasas y aceites (10 por 100). Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea, principal constituyente de la orina. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.73-74)

#### ***Medida del Contenido orgánico.***

A lo largo de los años, se han ido desarrollando diferentes ensayos para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales. En general, los diferentes métodos pueden clasificarse en dos grupos, los empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico, mayores de 1 mg/L, y los empleados para determinar las concentraciones a nivel de traza, para concentraciones en el intervalo de los 0,001 mg/L a 1 mg/L. El primer grupo incluye los siguientes ensayos de laboratorio: (1) demanda bioquímica de oxígeno (DBO), (2) demanda química de oxígeno (DQO), y (3) carbono orgánico total (COT). Como complemento a estos ensayos de laboratorio se emplea la

demanda teórica de oxígeno (DTeO), parámetro que se determina a partir de la fórmula química de la materia orgánica. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.77)

### ***Materia inorgánica***

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las aguas naturales disuelven parte de las rocas y minerales con los que entran en contacto. Las aguas residuales, salvo el caso de determinados residuos industriales, no se suelen tratar con el objetivo específico de eliminar los constituyentes inorgánicos que se incorporan durante el ciclo de uso. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.95)

### ***Parámetros a considerar en el tratamiento de aguas***

**pH.** El intervalo de esta debe ser la adecuada para el objetivo propuesto.

**Cloruros.** Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.96-97)

**“Alcalinidad.** La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco” (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.97).

**Nitrógeno.** Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Trazas de otros elementos, tales como el hierro, son necesarios para el crecimiento biológico.

No obstante, el nitrógeno y el fósforo son, en la mayoría de los casos, los principales elementos nutritivos. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.97)

**Fósforo.** El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas. Las formas más frecuentes en las que se presenta el fósforo en soluciones acuosas incluyen el ortofosfato, el polifosfato y los fosfatos orgánicos. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.98-99)

**Azufre.** El ion sulfato se encuentra, de forma natural, tanto en la mayoría de las aguas de abastecimiento como en el agua residual. Para la síntesis de proteínas, es necesario disponer de azufre, elemento que posteriormente será liberado en el proceso de degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen químicamente a sulfuros y a sulfuros de hidrógeno ( $H_2S$ ) bajo la acción bacteriana en condiciones anaerobias. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.100)

**“Compuestos tóxicos inorgánicos.** El cobre, el plomo, la plata, el cromo, el arsénico y el boro son tóxicos en mayor o menor grado para los microorganismos, razón por la cual deben ser considerados en el proyecto de plantas de tratamiento biológico” (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.100).

**Metales pesados.** Como constituyentes importantes de muchas aguas, también se encuentran cantidades, a nivel de traza, de muchos metales. Entre ellos podemos destacar el níquel (Ni), el manganeso (Mn), el plomo (Pb), el cromo (Cr), el cadmio (Cd), el cinc (Zn), el cobre (Cu), el hierro (Fe) y el mercurio (Hg). Muchos de estos metales también están catalogados como contaminantes prioritarios. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.101)

**“Gases.** Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno ( $N_2$ ), el oxígeno ( $O_2$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), el amoníaco ( $NH_3$ ), y el metano ( $CH_4$ )” (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.101)

**Oxígeno disuelto.** El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución, viene condicionada por los siguientes aspectos: (1) solubilidad del gas; (2) presión parcial del gas en la atmósfera; (3) temperatura, y (4) pureza del agua (salinidad, sólidos en suspensión, etc.). Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales. Tener oxígeno disuelto elevado evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.101-102)

**Sulfuro de hidrógeno.** Como ya se ha comentado anteriormente, el sulfuro de hidrógeno se forma durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales, mientras que su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.102)

**Metano.** El principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el gas metano. En las plantas de tratamiento, el metano se genera en los procesos de tratamiento anaeróbicos empleados para la estabilización de los fangos de aguas residuales. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.102)

### **2.2.2.3. Características biológicas: definición y aplicación.**

El ingeniero ambiental debe tener un conocimiento exhaustivo de las características biológicas de las aguas residuales. Debe estar familiarizado con los siguientes temas: (1) principales grupos de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos; (2) organismos patógenos presentes en las aguas residuales; (3) organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia; (4) métodos empleados para determinar los organismos indicadores, y (5) métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.103)

#### ***Microorganismos***

“Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias” (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.103).

#### **Bacterias**

“Las bacterias se pueden clasificar como eubacterias procariotas unicelulares. En función de su forma, las bacterias pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: esferoidales, bastón, bastón curvado y filamentosas” (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.104)

#### **Hongos**

Los hongos son protistas eucariotas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y quimioheterótrofos. Muchos de los hongos son saprófitos; basan su alimentación en materia orgánica muerta. Juntos con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biósfera. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.104)

**Algas.**

Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Este fenómeno, que se conoce con el nombre de crecimiento explosivo, puede conducir a que ríos, lagos y embalses sean cubiertos por grandes colonias flotantes de algas. Puesto que el efluente de las plantas de tratamiento del agua residual suele ser rico en nutrientes biológicos, la descarga del efluente en los lagos provoca su enriquecimiento y aumenta su tasa de eutrofización. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.104-105)

**Protozoos.**

Los protozoos son microorganismos eucariotas cuya estructura está formada por una sola célula abierta. La mayoría de los protozoos son aerobios o facultativamente quimioheterótrofos anaerobios, aunque se conocen algunos anaerobios. Los protozoos de importancia para el ingeniero sanitario son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.105)

**Plantas y animales.**

Las diferentes plantas y animales que tienen importancia para el ingeniero sanitario tienen tamaños muy variados: desde los gusanos y rotíferos microscópicos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de valorar el estado de lagos y corrientes, al determinar la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al medio ambiente, y a la hora de determinar la efectividad de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados para destruir los residuos orgánicos. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.105-106)

## **Virus.**

Los virus son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (RNA) con una capa de recubrimiento proteínico. No tienen capacidad para sintetizar compuestos nuevos. En lugar de ello, invaden las células del cuerpo vivo que los acoge y reconducen la actividad celular hacia la producción de nuevas partículas virales a costa de las células originales. Cuando muere la célula original, se liberan gran cantidad de virus que infectarán células próximas. Los virus excretados por los seres humanos pueden representar un importante peligro para la salud pública. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.106)

## ***Organismos Patógenos.***

Los organismos patógenos que se encuentran 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 las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos. (Metcalf & Eddy; Inc, 1995, p.106)

### **2.2.2.4. Composición de las aguas residuales.**

La Tabla 2.2, presenta datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica.

**Tabla 2.2.** *Composición típica del agua residual doméstica bruta*

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/L	350	720	1200
• Disueltos, totales (SDT)	mg/L	250	500	850
• Fijos	mg/L	145	300	525
• Volátiles	mg/L	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/L	100	220	350
• Fijos	mg/L	20	55	75
• Volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos sedimentables	mg/L	5	10	20
DBO <sub>5</sub> , 20 °C	mg/L	110	220	400
COT	mg/L	80	160	290
DQO	mg/L	250	500	1000
Nitrógeno (Total en la forma N)	mg/L	20	40	85
• Orgánico	mg/L	8	15	35
• Amoníaco libre	mg/L	12	25	50
• Nitritos	mg/L	0	0	0
• Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (Total en la forma P)	mg/L	4	8	15
• Orgánico	mg/L	1	3	5
• Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfatos	mg/L	20	30	50
Alcalinidad (Como CaCO <sub>3</sub> )	mg/L	50	100	200
Grasa	mg/L	50	100	150
Coliformes totales	n°/100 ml	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	ug/L	<100	100 - 400	>400

*Nota.* Obtenido de Metcalf & Eddy, Inc., 1995, p.125.

### **2.2.3. Tratamiento de aguas residuales.**

#### **2.2.3.1. Generalidades del tratamiento de aguas residuales.**

“El objetivo básico del tratamiento de aguas es proteger la salud y promover el bienestar de los individuos miembros de la sociedad” (Romero R. J. A., 2004, p.129).

El retorno de las aguas residuales a nuestros ríos o lagos nos convierte en usuarios directos o indirectos de las mismas, y a medida que crece la población, aumenta la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o renovación que permita eliminar los riesgos para la salud y minimizar los daños al ambiente. (Romero R. J. A., 2004, p.129)

En el desarrollo gradual de sistemas de tratamiento se pueden considerar, como objetivos iniciales principales del tratamiento de aguas residuales, los siguientes: (Romero R. J. A., 2004, p.130)

- Remoción de DBO, remoción de sólidos suspendidos y remoción de patógenos.

Posteriormente ha sido común agregar:

- Remoción de nitrógeno y fósforo.

Finalmente se involucra:

- Remoción de sustancias orgánicas refractarias como los detergentes, fenoles y pesticidas; remoción de trazas de metales pesados y remoción de sustancias inorgánicas disueltas.

“La complejidad del sistema de tratamiento es, por tanto, función de los objetivos propuestos” (Romero R. J. A., 2004, p.130).

*Orientación básica para el diseño.*

“El requisito fundamental antes de proceder al diseño preliminar o definitivo de una planta de tratamiento de aguas residuales, es haber realizado el estudio del cuerpo receptor” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2006, p.15).

“El estudio del cuerpo receptor deberá tener en cuenta las condiciones más desfavorables. El grado de tratamiento se determinará de acuerdo con las normas de calidad del cuerpo receptor” (MVCS, 2006, p.15).

“Estudio de factibilidad, el mismo que tiene los siguientes componentes:” (MVCS, 2006, p.15).

- Caracterización de aguas residuales domésticas e industriales;
- Información básica (geológica, geotécnica, hidrológica y topográfica);
- Determinación de los caudales actuales y futuros;
- Aportes per cápita actuales y futuros;
- Selección de los procesos de tratamiento;
- Pre dimensionamiento de alternativas de tratamiento;
- Evaluación de impacto ambiental y de vulnerabilidad ante desastres;
- Factibilidad técnico-económica de las alternativas y selección de la más favorable.

“Diseño definitivo de la planta que comprende:” (MVCS, 2006, p.16).

- Estudios adicionales de caracterización que sean requeridos;
- Estudios geológicos, geotécnicos y topográficos al detalle;
- Estudios de tratabilidad de las aguas residuales, con el uso de plantas a escala de laboratorio o piloto, cuando el caso lo amerite;
  
- Dimensionamiento de los procesos de tratamiento de la planta;
- Diseño hidráulico sanitario;
- Diseño estructural, mecánicos, eléctricos y arquitectónicos;
- Planos y memoria técnica del proyecto;
- Presupuesto referencial y fórmula de reajuste de precios;
- Especificaciones técnicas para la construcción y
- Manual de operación y mantenimiento.

Según el tamaño e importancia de la instalación que se va a diseñar, se podrán combinar las dos etapas de diseño mencionadas, previa autorización de la autoridad competente. Toda planta de tratamiento deberá contar con cerco perimétrico y medidas de seguridad. (MVCS, 2006, p.16)

### **2.2.3.2. Tipos de tratamiento de Aguas Residuales.**

#### **2.2.3.2.1. Pretratamiento o tratamiento preliminar.**

“El tratamiento preliminar incorpora procesos de acondicionamiento de las aguas residuales, como la remoción de arena, elementos gruesos, flotantes, sedimentables, aceites y grasas. Las unidades utilizadas en el tratamiento preliminar son: reja, tamiz, desarenador y

desengrasador. Comprende de dos fases” (Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento [SUNASS], 2015, p. 63).

- *Cribado o Desbaste*

Es la operación utilizada para separar material grueso del agua, mediante el paso de ella por una criba o rejilla. La criba puede ser de cualquier material agujereado ordenadamente, por ejemplo una plancha o lámina metálica, de madera o de concreto, con agujeros redondos, cuadrados o de cualquier forma geométrica. También puede construirse una criba con una celosía fija o emparrillado de barras o varillas de hierro o de acero. De acuerdo con el método de limpieza, las rejillas o cribas son de limpieza manual o mecánica. Según el tamaño de las aberturas se clasifican como rejillas gruesas o finas. (Romero R. J. A., 2004, p.287)

**Figura 2.1.** *Rejilla que retiene cuerpos gruesos*



*Nota.* Recuperado de Reutelshöfer T., 2015, p. 6.

- *Desarenadores*

Los desarenadores, en tratamiento de aguas residuales, se usan para remover arena, grava, partículas u otro material sólido pesado que tenga velocidad de asentamiento o peso específico bastante mayor que el de los sólidos orgánicos degradables de las aguas residuales. Los desarenadores protegen el equipo mecánico del desgaste anormal y reducen la formación de depósitos pesados en tuberías, canales y conductos. (Romero R. J. A., 2004, p.287)

**Figura 2.2.** *Desarenador de doble línea.*



*Nota.* Recuperado de Reutelshöfer T., 2015, p. 6.

**2.2.3.2.2. Tratamiento primario.**

Se conoce así al tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o físico-químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por

lo menos, en un 50%. (Guijarro, M. R., Cantero, C. B., Muñoz, R. M. y Cantero, C. F., 2004, p.420)

- *Decantación primaria*

Este tipo de tratamiento se utiliza para eliminar la mayor cantidad de sólidos sedimentables, por gravedad. La retirada de los sólidos es muy importante, ya que con esta removemos la DBO particulado.

- *Tratamiento físico-químico*

En la depuración de aguas residuales industriales, es habitual someter estas a un tratamiento físico – químico previo a su descarga a la red de alcantarillado o a los receptores (ríos, pantanos, mares, etc.) siendo el más utilizado la coagulación-floculación; la eficacia de las operaciones posteriores de tratamiento depende del éxito de este proceso. (Aguilar, M. I., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A. y Ortuño, J. F., 2002, p.17)

MVCS (2006) afirma: “Los tratamientos primarios pueden ser:” (p.27-33)

- Tanques Imhoff
- Tanques de sedimentación
- Tanques de flotación

#### **2.2.3.2.3. Tratamiento secundario.**

Se considerará 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. (MVCS, 2006, p. 33)

#### **2.2.3.2.4. Tratamiento terciario.**

Cuando el grado del tratamiento fijado de acuerdo con las condiciones del cuerpo receptor o de aprovechamiento sea mayor que el que se pueda obtener mediante el tratamiento secundario, se deberán utilizar métodos de tratamiento terciario o avanzado. (MVCS, 2006, p. 59)

“La técnica a emplear deberá estar sustentada en el estudio de factibilidad. El proyectista deberá sustentar sus criterios de diseño a través de ensayos de tratabilidad. Entre estos métodos se incluyen los siguientes:” (MVCS, 2006, p. 59)

- a. Ósmosis Inversa
- b. Electrodiálisis
- c. Destilación
- d. Coagulación
- e. Adsorción
- f. Remoción por espuma
- g. Filtración
- h. Extracción por solvente
- i. Intercambio iónico
- j. Oxidación química
- k. Precipitación
- l. Nitrificación – De nitrificación

## 2.2.4. Diseño.

### 2.2.4.1. Pretratamiento.

#### 2.2.4.1.1. Rejas de desbaste.

##### a) *Introducción*

“Los criterios usados para su diseño incluyen el tamaño de las barras, espaciado, inclinación, anchura del canal y velocidades de aproximación y de paso” (Isla, J.R., 2005, p.11).

##### b) *Definición de parámetros*

“A continuación se comentan los parámetros utilizados en el cálculo que requieren algún tipo de aclaración, se han dividido en dos grupos:” (Isla, J.R., 2005, p.13)

Parámetros de partida a definir previamente a la realización del cálculo.

Parámetros en el resultado del cálculo.

“En algunos casos se incluye información sobre el rango más habitual del parámetro o el valor recomendado para utilizar” (Isla, J.R., 2005, p.13).

##### *Parámetros de partida*

**Caudal de diseño ( $m^3/h$ ):** Caudal adoptado como base para el cálculo

**Caudal máximo ( $m^3/h$ ):** Caudal máximo que puede entrar al tratamiento.

**Caudal mínimo ( $m^3/h$ ):** Caudal mínimo de ingreso al tratamiento.

**Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja sucia (m/s):**

“Velocidad media de circulación del agua residual entre los barrotes de la reja cuando el caudal

tratado coincida con el caudal de diseño y la reja este con la máxima colmatación definida entre dos limpiezas. (Isla, J.R., 2005, p.13)

<b>Rango usual para este parámetro (m/s)</b>	<b>0.8 a 1.0</b>
<b>Valor recomendado para este parámetro (m/s)</b>	0.9

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**Número de líneas de desbaste:** “Número de líneas en paralelo por las que se reparte el caudal de agua a tratar. Las posibles líneas de reserva se consideran aparte de las indicadas en el cálculo” (Isla, J.R., 2005, p.13).

*Espesor de los barros:*

<b>Rango usual para este parámetro (Reja de gruesos en mm)</b>	8 a 15
<b>Valor recomendado para este parámetro (Reja de gruesos en mm)</b>	12
<b>Rango usual para este parámetro (Reja de finos en mm)</b>	5 a 10
<b>Valor recomendado para este parámetro (Reja de finos en mm)</b>	6

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

*Distancia entre barros:*

<b>Rango usual para este parámetro (Reja de gruesos en mm)</b>	<b>30 a 100</b>
<b>Valor recomendado para este parámetro (Reja de gruesos en mm)</b>	60
<b>Rango usual para este parámetro (Reja de finos en mm)</b>	5 a 20
<b>Valor recomendado para este parámetro (Reja de finos en mm)</b>	10

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**Resguardo del canal (m):** “Altura libre desde la lámina de agua hasta la coronación del muro” (Isla, J.R., 2005, p.14).

<b>Rango usual para este parámetro (m)</b>	<b>0.3 a 0.6</b>
<b>Valor recomendado para este parámetro (m)</b>	0.3

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**Ángulo de inclinación de los barrotes:** “Ángulo formado entre el fondo del canal y los barrotes de la reja, en grados sexagesimales” (Isla, J.R., 2005, p.14).

<b>Rango usual para este parámetro (grados)</b>	45° a 90°
<b>Valor recomendado para este parámetro (grados)</b>	60°

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**Máxima colmatación entre dos limpiezas:** “Tanto por ciento de la superficie útil de la reja que se llega a cegar entre dos pasos del peine de limpieza” (Isla, J.R., 2005, p.14).

<b>Rango usual para este parámetro</b>	20% a 40%
<b>Valor recomendado para este parámetro</b>	30%

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**Relación profundidad útil / Anchura del canal:** “Cociente entre la altura mojada del canal y la anchura del canal” (Isla, J.R., 2005, p.14).

<b>Rango usual para este parámetro</b>	1
<b>Valor recomendado para este parámetro</b>	0.3

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**Metros cúbicos de residuos por 1000 metros cúbicos de agua residual a caudal de diseño ( $\text{m}^3/1000 \text{ m}^3 \text{ de AR}$ ):** “Metros cúbicos de residuos que se separan en las rejillas de gruesos y de finos por cada 1000 metros cúbicos de agua residual que pasa por las rejillas. (Isla, J.R., 2005, p.14)

<b>Rango usual para este parámetro (<math>\text{m}^3/1000 \text{ m}^3 \text{ de AR}</math>)</b>	0.003 a 0.09
<b>Valor recomendado para este parámetro (<math>\text{m}^3/1000 \text{ m}^3 \text{ de AR}</math>)</b>	0.01

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**Metros cúbicos de residuos por 1000 metros cúbicos de agua residual con tormenta ( $\text{m}^3/1000 \text{ m}^3 \text{ de AR}$ ):** Metros cúbicos de residuos que se separan en las rejillas de gruesos y de finos por cada 1000 metros cúbicos de agua residual que pasa por las rejillas cuando hay tormenta. (Isla, J.R., 2005, p.14)

<b>Rango usual para este parámetro (<math>\text{m}^3/1000 \text{ m}^3 \text{ de AR}</math>)</b>	0.09 a 0.5
---	------------

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

*Parámetros en el resultado del cálculo*

**Superficie útil del canal ( $\text{m}^2$ ):** “Superficie mojada del canal igual a la anchura del canal por su profundidad útil” (Isla, J.R., 2005, p.15).

**Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia (m/s):**  
Velocidad media de circulación del agua residual entre los barrotes de la reja cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño y la reja este limpia. (Isla, J.R., 2005, p.15)

**Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja colmatada (m/s):**

Velocidad media de circulación del agua residual entre los barrotes de la reja cuando el caudal máximo y la reja esté con la máxima colmatación definida entre dos limpiezas. (Isla, J.R., 2005, p.15).

**Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño (m/s):** “Velocidad media de circulación del agua residual por el canal aguas arriba de la reja cuando el caudal tratado es el de diseño” (Isla, J.R., 2005, p.15).

**Velocidad de aproximación por el canal a caudal mínimo (m/s):** Velocidad media de circulación del agua residual por el canal de aguas arriba de la reja cuando el caudal tratado coincide con el caudal mínimo. Se considera a efecto de evitar sedimentaciones de arena en el canal. (Isla, J.R., 2005, p.15)

“Valor recomendado para este parámetro  $> 0.3$ ” (Isla, J.R., 2005, p.15).

**Profundidad total del canal (m):** “Profundidad útil más resguardo del canal” (Isla, J.R., 2005, p.15).

**Producción normal de residuos (m<sup>3</sup>/día):** “Metros cúbicos de residuos que se recogen por día, en las rejas de gruesos y de finos, cuando el caudal tratado coincide con el caudal de diseño” (Isla, J.R., 2005, p.15).

**Producción máxima de residuos con tormenta (m<sup>3</sup>/hora)::** Metros cúbicos de residuos que se recogen por hora, en las rejas de gruesos y de finos, cuando el caudal coincide con el caudal máximo y se produce un aporte de agua en los colectores proveniente de escorrentía superficial del agua de lluvia. Esta circunstancia suele incrementar sustancialmente la cantidad de residuos durante un período corto. (Isla, J.R., 2005, p.15)

c) *Algoritmo de cálculo (Rejas de gruesos)*

*Parámetros de partida:*

Número de línea – N° línea	Nombre
<b>L1</b>	Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /h)
<b>L2</b>	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)
<b>L3</b>	Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /h)
<b>L4</b>	Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja sucia (m/s)
<b>L5</b>	Número de líneas de desbaste
<b>L6</b>	Espesor de los barrotes (mm)
<b>L7</b>	Distancia entre barrotes (Luz) (mm)
<b>L8</b>	Resguardo del canal (m)
<b>L9</b>	Ángulo de inclinación de los barrotes (grados)
<b>L10</b>	Máxima colmatación entre dos limpiezas (%)
<b>L11</b>	Relación profundidad útil/anchura del canal

Isla, J.R. (2005), recomienda estos parámetros para la realización del diseño

*Resultado de cálculo:*

Número de línea – N° línea	Nombre	Fórmula
<b>L12</b>	Caudal de diseño por línea (m <sup>3</sup> /h)	L1/L5
<b>L13</b>	Caudal máximo por línea (m <sup>3</sup> /h)	L2/L5
<b>L14</b>	Superficie útil del canal (m <sup>2</sup> )	$((L12/3600)/L4)*((L7+L6)/L7))^*$  $(1/(1-L10/100))^*$  $SEN((L9*2*PI)/360)$
<b>L15</b>	Velocidad de paso entre barrotes a caudal de diseño con reja limpia (m/s)	$(L4*((100-L10)/100))$
<b>L16</b>	Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja limpia (m/s)	$(L15*(L13/L12))$
<b>L17</b>	Velocidad de paso entre barrotes a caudal máximo con reja colmatada (m/s)	$(L4*(L13/L12))$
<b>L18</b>	Velocidad de aproximación por el canal a caudal de diseño (m/s)	$(L12/3600)/L14$
<b>L19</b>	Velocidad de aproximación por el canal a caudal mínimo (m/s)	$((L3/L5)/3600)/L14$
<b>L20</b>	Anchura del canal (m)	$(L14/L11)^{0.5}$
<b>L21</b>	Profundidad útil del canal (m)	$(L14/L20)$
<b>L22</b>	Profundidad total del canal (m)	$(L14/L20)+L8$

“L” representa el número de línea. Por ejemplo L5 representa la línea 5 de los parámetros de partida.

Isla, J.R. (2005), recomienda estos parámetros para la realización del diseño

### 2.2.4.1.2. Desarenadores.

#### a) *Introducción*

“La inclusión de desarenadores es obligatoria en las plantas que tienen sedimentadores y digestores. Para sistemas de lagunas de estabilización el uso de desarenadores es opcional” (MVCS, 2006, p. 26).

“Se deben proveer dos unidades de operación alterna como mínimo” (MVCS, 2006, p. 26).

Los sistemas habitualmente utilizados son los desarenadores aireado y sin airear.

#### b) *Definición de parámetros (Desarenadores sin airear)*

“A continuación se comentan los parámetros utilizados en el cálculo que requieren algún tipo de aclaración, se han dividido en dos grupos:” (Isla, J.R., 2005, p.34)

Parámetros de partida a definir previamente a la realización del cálculo.

Parámetros en el resultado del cálculo.

“En algunos casos se incluye información sobre el rango más habitual del parámetro o el valor recomendado para utilizar” (Isla, J.R., 2005, p.34).

#### *Parámetros de partida*

**Caudal de diseño ( $m^3/h$ ).** Caudal adoptado como base para el cálculo” (Isla, J.R., 2005, p.34).

**Caudal máximo ( $m^3/h$ ).** Caudal máximo que puede entrar al tratamietno” (Isla, J.R., 2005, p.35).

**“Velocidad de sedimentación de la arena (m/min):** Velocidad de caída en el seno del agua de la partícula de arena más pequeña que se pretende separar en el desarenador” (Isla, J.R., 2005, p.35).

<b>Rango usual para este parámetro (m/min)</b>	1 a 1.3
<b>Valor recomendado para este parámetro (m/min)</b>	1.15

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**“Relación profundidad útil/anchura del canal:** Cociente entre la altura mojada del canal y la anchura del canal” (Isla, J.R., 2005, p.35).

<b>Rango usual para este parámetro</b>	0.5 a 1.5
--	-----------

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**“Velocidad de circulación por el canal a caudal de diseño (m/s):** velocidad media a la que circularía el agua por una superficie igual a la sección transversal del desarenador cuando el caudal tratado coincida con el caudal de diseño” (Isla, J.R., 2005, p.35).

<b>Rango usual para este parámetro (m/s)</b>	0.15 a 0.4
<b>Valor recomendado para este parámetro (m/s)</b>	0.3

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

### *Parámetros en el resultado del cálculo*

#### **Profundidad útil del canal (m):**

<b>Rango usual para este parámetro (m)</b>	<b>0.5 a 1.5</b>
--	------------------

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**“Longitud teórica del canal (m):** Longitud del canal desarenador necesaria para que una partícula a la velocidad de sedimentación definida alcance el fondo del canal” (Isla, J.R., 2005, p.35).

**“Longitud real del canal (m):** Longitud teórica del canal multiplicada por un coeficiente de mayoración que tiene en cuenta las turbulencias en la entrada y salida del canal” (Isla, J.R., 2005, p.35).

<b>Rango usual para este parámetro (m)</b>	3 a 25
--	--------

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**Tiempo medio de residencia a caudal máximo (min):**

<b>Rango usual para este parámetro (min)</b>	0.25 a 1.5
--	------------

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

*c) Algoritmos de cálculo (Desarenadores sin airear)*

*Parámetros de partida*

Número de línea – N° línea	Nombre
<b>L1</b>	Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /h)
<b>L2</b>	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)
<b>L3</b>	Velocidad de sedimentación de la arena (m/min)
<b>L4</b>	Relación de profundidad/anchura del canal
<b>L5</b>	Velocidad de circulación por el canal a caudal de diseño (m/s)
<b>L6</b>	Número de líneas
<b>L7</b>	Metros cúbicos de arena por 1000 metros cúbicos de agua residual a caudal de diseño
<b>L8</b>	Metros cúbicos de arena por 1000 metros cúbicos de agua residual con tormenta

Isla, J.R. (2005), recomienda estos parámetros para la realización del diseño

*Resultado del cálculo*

Número de línea – N° línea	Nombre	Fórmula
<b>L9</b>	Caudal de diseño por línea (m <sup>3</sup> /h)	L1/L6
<b>L10</b>	Caudal máximo por línea (m <sup>3</sup> /h)	L2/L6
<b>L11</b>	Sección transversal del canal (m <sup>2</sup> )	L9/(L5*3600)
<b>L12</b>	Anchura del canal (m)	(L11/L4) <sup>0.5</sup>
<b>L13</b>	Profundidad útil del canal (m)	L11/L12
<b>L14</b>	Longitud teórica del canal (m)	(L5*60*(L13/L3))
<b>L15</b>	Longitud real del canal (m)	L14+(1+0.5*L14)
<b>L16</b>	Volumen unitario (m <sup>3</sup> )	L13*L12*L15
<b>L17</b>	Tiempo medio de residencia a caudal de diseño (min)	(L16*60/L9)
<b>L18</b>	Tiempo medio de residencia a caudal máximo (min)	(L16*60/L10)
<b>L19</b>	Producción normal de arena seca (m <sup>3</sup> /día)	(L1*L7*24)/1000
<b>L20</b>	Producción máxima de arena seca con tormenta (m <sup>3</sup> /h)	(L2*L8)/1000

“L” representa el número de línea. Por ejemplo, L5 representa la línea 5 de los parámetros de partida.

Isla, J.R. (2005), recomienda estos parámetros para la realización del diseño.

## **2.2.4.2. Tratamiento primario.**

### **2.2.4.2.1. Lagunas Anaerobias.**

“La forma de las lagunas depende del tipo de cada una de las unidades. Para las lagunas anaerobias y aireadas, se recomiendan formas cuadradas o ligeramente rectangulares” (MVCS, 2006, p. 40).

“Antes de la salida de las lagunas primarias se recomienda la instalación de una pantalla para la retención de natas” (MVCS, 2006, p. 40).

“Durante las condiciones de puesta en operación inicial, el balance hídrico de la laguna (afluente- evaporación-infiltración > efluente) debe ser positivo durante los primeros meses de funcionamiento” (MVCS, 2006, p. 40).

“Para el diseño de los diques se debe tener en cuenta las siguientes disposiciones: En general los taludes interiores de los diques deben tener una inclinación entre 1:1.5 y 1:2. Los taludes exteriores son menos inclinados, entre 1:2 y 1:3 (vertical: horizontal)” (MVCS, 2006, p. 40).

Las lagunas anaerobias se emplean generalmente como primera unidad de un sistema para el tratamiento de aguas residuales domésticas, en cuyo caso pueden darse varias unidades anaerobias en serie. No es recomendable el uso de lagunas anaerobias para temperaturas menores de 15°C y presencia de alto contenido de sulfatos en las aguas residuales (mayor a 250 mg/L) (MVCS, 2006, p. 34).

“Por lo general el área de las unidades en serie del sistema no debe ser uniforme” (MVCS, 2006, p. 34).

“En el dimensionamiento de lagunas anaerobias se puede usar las siguientes recomendaciones para temperaturas de 20°C:” (MVCS, 2006, p. 40).

- Carga orgánica volumétrica de 100 a 300 gDBO/(m<sup>3</sup>.d);
- Período de retención nominal de 1 a 5 días;
- Profundidad entre 2.5 y 5 m;
- 50% de eficiencia de remoción de DBO;
- Carga superficial mayor de 1000 Kg DBO/ha.día.

“La acumulación de lodo se calculará con un aporte no menor de 40 L/hab/año” (MVCS, 2006, p. 34-35).

“Debido a las elevadas cantidades de sólidos presentes en el afluente es recomendable alimentar cerca del centro de la laguna para favorecer su distribución, o bien alimentar en varios puntos” (Isla, J.R., 2005, p.183).

Se pueden presentar problemas de olores por lo que no se deben situar a menos de 1 Km de zonas habitadas, estos son debidos en parte a que flotan los fangos y fermentan en la superficie, siendo además un lugar adecuado para la proliferación de insectos. Para evitar la flotación de fangos por tanto los olores, se pueden regar con mangueras o agitar el agua. (Isla, J.R., 2005, p.183)

a) *Construcción de las lagunas*

“La construcción de una laguna implica las siguientes labores:” (Isla, J.R., 2005, p.183)

- Desbroce de la vegetación existente, se debe evitar los árboles altos cerca del estanque que evitan el paso del viento y la luz y provocan caída de hojas.
- Excavación de las balsas utilizando la tierra extraída para hacer diques.

- Formación de los diques generalmente de tierra y grava.
- Protección de los taludes contra el oleaje +/- sobre el nivel del agua.
- Impermeabilización del fondo con arcilla, láminas de materiales plásticos o incluso hormigón.
- Urbanización y jardinería (cercas, carreteras, césped, etc.)

“Para facilidad de operación y mantenimiento se debe tener en cuenta lo siguiente con relación a las conexiones de entrada y salida:” (Isla, J.R., 2005, p.184)

- Disponer de varias entradas para mejorar la distribución del agua, arenas y fangos y evitar los volúmenes muertos, especialmente en afluentes con SS.
- Entradas sumergidas para evitar en parte los sólidos flotantes y las espumas.
- Bocas de salida superficiales con deflector para evitar la salida de espumas y fangos flotantes.
- La instalación de una tubería de drenaje permite vaciar las balsas en caso de necesidad.
- En la última laguna se deben evitar retrocesos de agua del río durante las crecidas mediante una válvula de retención.

Desde el punto de vista de la operación de las lagunas se deben llenar lo más rápidamente posible con agua y en su caso fango digerido para evitar el crecimiento de plantas, posteriormente se aumenta la carga de DBO de forma progresiva para dar tiempo al crecimiento de algas y de bacterias. (Isla, J.R., 2005, p.184)

“Uno de los problemas de operación más importantes es la proliferación de moscas y mosquitos en la laguna, para evitarlos se pueden adoptar las siguientes medidas:” (Isla, J.R., 2005, p.184)

- Diseñar la instalación para poder vaciar y secar el estanque fácilmente.
- Evitar la vegetación en el estanque y eliminarla totalmente durante la construcción, la cantidad de insectos está relacionada con la cantidad de vegetación emergente o flotante.
- Taludes de hormigón o cualquier otro material sin cavidades. Es conveniente reparar cualquier daño, pues la erosión avanza rápidamente a falta de la capa protectora.
- No plantar árboles cerca del estanque para evitar la caída de hojas.
- Eliminar las espumas y flotantes.
- En lagunas con poca carga favorece el crecimiento de los pequeños peces como la gambusia.

*b) Definición de parámetros (Lagunas Anaerobias)*

“A continuación se comentan los parámetros utilizados en el cálculo que requieren algún tipo de aclaración, se han dividido en dos grupos:” (Isla, J.R., 2005, p.184)

- Parámetros de partida a definir previamente a la realización del cálculo.
- Parámetros en el resultado del cálculo.

“En algunos casos se incluye información sobre el rango más habitual del parámetro o el valor recomendado para utilizar” (Isla, J.R., 2005, p.184).

*Parámetros de partida*

**“Número de lagunas en paralelo:”** (Isla, J.R., 2005, p.185)

Valor recomendado para este parámetro > 1

**“Pendiente interior del talud:** Cociente entre la proyección horizontal del talud interior de la laguna y la profundidad total de la laguna” (Isla, J.R., 2005, p.185)

<b>Rango usual para este parámetro</b>	2 a 4
--	-------

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**“Coeficiente de temperatura:** Coeficiente mayor o igual a 1, para el valor 1 la temperatura no influye en el proceso, cuanto mayor sea, la temperatura influye más; en el tamaño de las lagunas” (Isla, J.R., 2005, p.185).

<b>Valor recomendado para este parámetro</b>	1.085
--	-------

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**“Profundidad útil de la laguna (m):** Profundidad de agua en las lagunas (sin resguardo)” (Isla, J.R., 2005, p.185).

<b>Rango usual para este parámetro (m)</b>	2 a 4
--	-------

Isla, J.R. (2005), recomienda estos valores

**“Resguardo sobre la superficie del agua (m):** Altura desde lámina de agua a coronación de muro” (Isla, J.R., 2005, p.185).

Valor recomendado para este parámetro > 0.3

“**Relación longitud/ Anchura de la(s) laguna(s):** Resultado de dividir la longitud de la balsa entre la anchura de la balsa” (Isla, J.R., 2005, p.185).

c) *Algoritmos de cálculo*

*Parámetros de partida*

Número de línea – N° línea	Nombre
<b>L1</b>	Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /h)
<b>L2</b>	Número de lagunas en paralelo
<b>L3</b>	Número de lagunas en serie
<b>L4</b>	Pendiente interior del talud (Proyección horizontal/profundidad)
<b>L5</b>	Concentración de DBO en la entrada a la(s) laguna(s) (mg/L)
<b>L6</b>	Concentración de DBO en la salida de la(s) laguna(s) (mg/L)
<b>L7</b>	Temperatura del agua en la laguna en el mes más frío (°C)
<b>L8</b>	Coeficiente de temperatura
<b>L9</b>	Profundidad útil de la(s) laguna(s) (m)
<b>L10</b>	Resguardo sobre la superficie del agua (m)
<b>L11</b>	Relación longitud/anchura de la(s) laguna(s)

Isla, J.R. (2005), recomienda estos parámetros para la realización del diseño

*Resultado del cálculo*

Número de línea – N° línea	Nombre	Fórmula
<b>L12</b>	Tiempo medio de residencia a caudal de diseño (d)	$(L5/L61) * (1 / (6 * (L6/L5)^{4.8})) * L8^{(20-L7)}$
<b>L13</b>	Volumen total útil de las lagunas (m <sup>3</sup> )	$L12 * L1 * 24$
<b>L14</b>	Volumen unitario útil de las lagunas (m <sup>3</sup> )	$L13 / (L2 * L3)$
<b>L15</b>	Anchura unitaria de la(s) laguna(s) en la superficie del agua (m)	$((6 * L11 * L4 * L9 + 6 * L4 * L9) + ((6 * L11 * L4 * L9 + 6 * L4 * L9)^2 - 4 * 6 * L11 * (8 * L4^2 * L9^2 - 6 * L14 / L9)))^{0.5} / (2 * 6 * L11)$
<b>L16</b>	Longitud unitaria laguna(s) en la superficie del agua (m)	$L11 * L15$
<b>L17</b>	Anchura unitaria laguna(s) en el fondo del agua	$L15 - 2 * L9 * L4$
<b>L18</b>	Longitud unitaria laguna(s) en el fondo del agua (m)	$L16 - 2 * L9 * L4$
<b>L19</b>	Anchura unitaria laguna(s) en coronación de talud (m)	$L15 + 2 * L10 * L4$
<b>L20</b>	Longitud unitaria laguna(s) en coronación de talud (m)	$L16 + 2 * L10 * L4$
<b>L21</b>	Superficie total de lagunas en la superficie del agua (m <sup>2</sup> )	$L15 * L16 * L2 * L3$
<b>L22</b>	Superficie unitaria de las lagunas en la superficie del agua (m <sup>2</sup> )	$L15 * L16$
<b>L23</b>	Rendimiento estimado de eliminación de DBO (%)	$((L5 - L6) / L5) * 100$

“L” representa el número de línea. Por ejemplo L5 representa la línea 5 de los parámetros de partida. Isla, J.R. (2005), recomienda estos parámetros para la realización del diseño.

## **2.2.5. Eichhornia crassipes (Jacinto de agua).**

### **2.2.5.1. Aspectos generales.**

El nombre científico de esta planta acuática flotante es *Eichhornia crassipes*, siendo conocida en diferentes lugares como: Jacinto de agua (mayormente conocida por este nombre), Lirio acuático, Violeta de agua, Camalotes, Buchón de agua, entre otros nombres.

En cuanto a los ambientes en que principalmente se puede encontrar el Jacinto de agua, Aráuz (2015) sostiene que:

Generalmente los lugares donde se desarrollan los jacintos de agua son espacios de agua dulce como los ríos, lagos, charcas y embalse trópico y subtropical. Esta planta acuática tiene sus comienzos en los cursos de agua de la cuenca Amazónica, en América del sur, y para ser específicos en Brasil. Actualmente esta maleza tiene poblaciones en más de 50 países de los cinco continentes. (p.2)

Esta macrófita es considerada de esta forma gracias a su rápida e incontrolada reproducción, por ello en muchos países se adoptan medidas para mitigar su superpoblación.

En cuanto al crecimiento de esta planta, Metcalf & Eddy (1995) afirma que esta se puede describir de dos maneras:

Por el porcentaje de superficie de laguna ocupada durante un período de tiempo determinado, o por la densidad de plantas medida como masa de plantas mojadas por superficie unitaria.

En condiciones normales, los jacintos de agua pueden recubrir la superficie del agua con densidades de plantas relativamente bajas, alrededor de 10 Kg/m<sup>2</sup> (peso mojado). Se pueden alcanzar densidades de hasta 80 Kg/m<sup>2</sup>. Al igual que en otros

procesos biológicos, la velocidad de crecimiento de los jacintos de agua depende de la temperatura. (p.1140)

**Figura 2.3.** *Jacinto de agua (Eichhornia crassipes)*



*Nota.* Recuperado de Wikipedia (2020).

**Tabla 2.3.** *Composición del jacinto de aguas residuales*

Constituyente	% de masa seca	
	Promedio	Intervalo
Proteína cruda	18.1	9.7 – 23.4
Grasa	1.9	1.6 – 2.2
Fibra	18.6	17.1 – 19.5
Cenizas	16.6	11.1 – 20.4
Carbohidratos	44.8	36.9 – 51.6
Nitrógeno Total Kjeldhal	2.9	1.6 – 3.7
Fósforo	0.6	0.3 – 0.9

*Nota.* Adaptado de Romero (2004). Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño (p.1248). Tercera edición.

### 2.2.5.2. Taxonomía.

El nombre científico del jacinto de agua corresponde a *Eichhornia Crassipes* (Mart.) Solms, gracias a que fue descrita por el botánico alemán, Hermann Maximilian Carl Ludwig Friedrich zu Solms-Laubach, en la revista *Monographiae Phanerogamarum* en el año 1883 (Wikipedia, La Enciclopedia Libre, 2019). A continuación, se detalla en la tabla 2.12 la descripción taxonómica del Jacinto de agua.

**Tabla 2.4.** Clasificación taxonómica de la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
<b>Division</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Orden</b>	Commelinales
<b>Familia</b>	Pontederiaceae
<b>Género</b>	Eichhornia
<b>Especie</b>	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms

*Nota.* Recuperado de Wikipedia (2019).

### 2.2.5.3. Morfología.

Torres Abad (2009) citado en Castillo (2013), describe esta planta acuática como una hierba perenne acuática flotante de crecimiento y reproducción precoz. Posee tallos condensados glabros de 15 a 20 cm de largo con nudos y entrenudos de 3 cm de largo. Posee hojas sésiles dispuestas en rosetas basales y hojas pecioladas flotantes. Lamina redondeada de 3 a 8 cm de largo por 4 a 7 cm de ancho. De textura membranosa, hinchada y bulbosa. Sistema radicular copioso de coloración café claro a oscuro.

Los jacintos de agua se caracterizan por su color verde brillante oscuro y lustroso, donde sus hojas son de tipo acorazonadas. La masa radicular, espesa, de color marrón azulado,

presenta un desarrollo en anchura y longitud superior en muchos casos los 30 cm. Cuando llega la época de floración, surge de entre el medio de la planta un tallo espigado que porta las preciosas flores malva claro, que sólo duran dos o tres días (López, 2012).

Otros detalles que se pueden describir de esta planta, es que sus pecíolos son los tallos de las hojas y los estolones son las estructuras que generan nuevos individuos. Además, los frutos son unas pequeñas cápsulas que contienen alrededor de 450 semillas. En cuanto a las raíces que son fibrosas, poseen una gran cantidad de pequeñas hebras que forman una especie de red para poder captar nutrientes y algunas partículas suspendidas (Juárez, 2011).

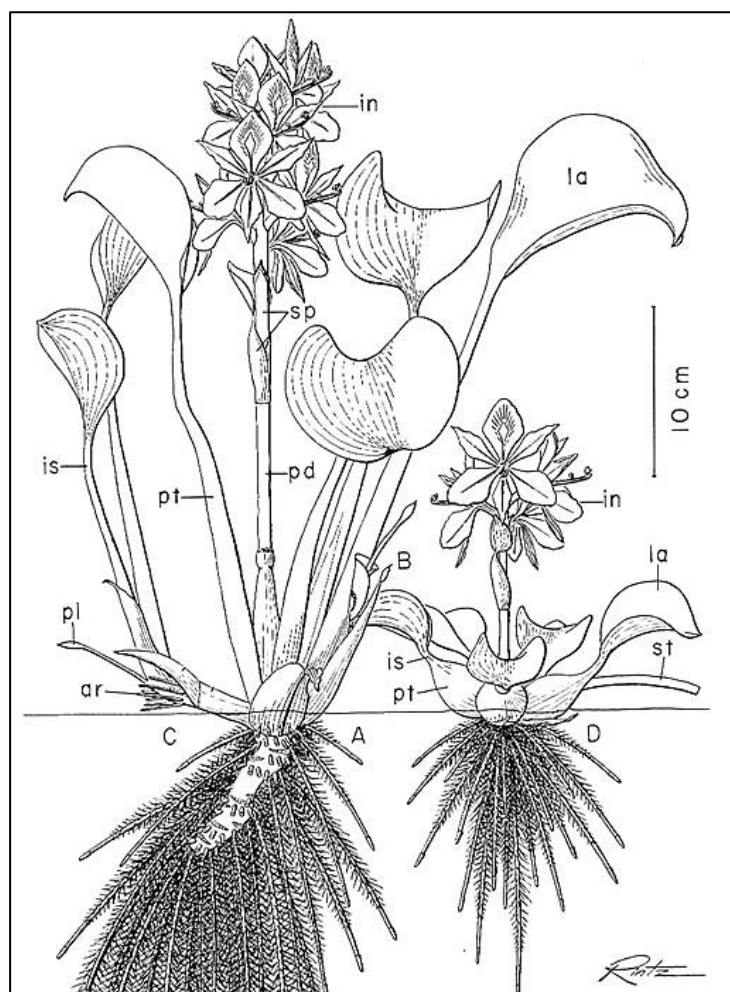
A continuación, se presenta la figura 2.4 donde se señalan las principales partes del jacinto de agua.

#### **2.2.5.4. Cuidados.**

Esta especie presenta una gran adaptación en diversos medios, siendo preferible en climas tropicales, desarrollándose bien en estanques temporales, zonas húmedas, marismas, aguas contaminadas, lagos, pantanos y ríos. Puede tolerar fluctuaciones grandes con respecto a altura de la capa de agua, velocidad del flujo, disponibilidad de nutrientes, pH, contaminación y salinidad. El factor más influyente para el desarrollo del Jacinto de agua es la temperatura. El crecimiento es rápido en el entorno de 20-30°C, pero se estanca en el intervalo de 8-15°C. Las condiciones óptimas para su desarrollo son 90% de humedad relativa y 22.5-35°C. Por otra parte, la planta puede sobrevivir cuando se la expone 24 h a temperaturas del orden de 0.5 a – 5°C, pero muere si desciende por debajo de –6°C (Curt, 2010).

Asimismo, se necesitan superficies lo más extensas posibles y agua neutra, cuyo pH se sitúe entre 6,8 - 7,5. (Metcalf & Eddy, 1995).

**Figura 2.4.** *Morfología del jacinto de agua o lirio acuático*



*Nota.* Descripción: A. Pecíolo atenuado en forma de rosetón producido bajo condiciones de alta densidad poblacional; B. Brote axilar en expansión; C. Un “ramet” en desarrollo; D. Pecíolo bulboso en forma de rosetón producido bajo condiciones de baja densidad poblacional.

Abreviaturas: ar-raíces adventicias; in- inflorescencia; is-istmo de las hojas; la-lámina de las hojas; pl-hojas primarias; pd-pedúnculo de la espiga floral; pt-pecíolo de la hoja; sp-espatas; st-estolones. Recuperado de USDA Agricultural Research Service, Bugwood.org (<https://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=0002102>). Licenciado por Creative Commons Attribution 3.0 License.

#### **2.2.5.5. Reproducción.**

El jacinto de agua se caracteriza por tener una gran capacidad de reproducción. Por esta razón, es considerada en muchos países como maleza o planta invasora.

Se reproduce activamente tanto por semilla como asexualmente (estolones, fragmentación de plantas). Parece que puede ser dispersada por las aves. Cuando las condiciones son adecuadas es capaz de duplicar su población cada cinco días. Las semillas pueden conservar su capacidad germinativa entre 5 y 20 años. La iluminación alta y las oscilaciones de temperatura favorecen la germinación. Las plantas colonizan rápidamente nuevos hábitats al ser transportadas por el agua o por las aves (semillas), pero sobre todo por la actividad humana (escapada de acuarios, embarcaciones, etc.). Una sola planta es capaz de provocar la invasión completa de un lago. (Sanz, Dana, & Sobrino, 2004, p.160)

#### **2.2.5.6. El Jacinto de agua como planta invasora.**

Juárez (2011), señala que “el lirio acuático, como es también llamado el jacinto de agua, está catalogado dentro de las plantas más productivas del mundo y es considerada una de las peores plagas acuáticas. Su densidad de crecimiento interfiere con la navegación, la recreación, la irrigación y la producción de energía” (p.6).

Esta característica acarrea un impacto en los medios en que se desarrolla. Guevara & Ramírez (2015), concluyen que “la invasividad de *Eichhornia crassipes* pone en peligro diversos ecosistemas aprovechando aguas ricas en nutrientes, las densas colonias flotadoras causan que el contenido de oxígeno (D.O.) descienda hasta cero debajo de su manto afectando enormemente la cadena trófica” (p.9).

Asímismo, algunos de los impactos que produce la invasión del jacinto de agua es que reduce la cantidad de luz y oxígeno del ecosistema acuático alterando el fitoplancton, las comunidades de invertebrados y los peces. Además, debido a la evapotranspiración, se produce un incremento en la pérdida de agua, tanto es así, que una fuente de agua cubierta pierde de 2.67 a 3.2 veces más agua que una que se encuentra despejada. Además, cabe mencionar que es un hábitat ideal para vectores de enfermedades como cólera y tifoidea (Castillo, 2013).

#### **2.2.5.7. Métodos de control ante la invasión del Jacinto de agua en ecosistemas acuáticos.**

Para el control de la infestación de esta planta, se distinguen tres métodos: biológico, mecánico y químico (Castillo, 2013) (Juárez, 2011).

A nivel biológico, el uso de gorgojos como el caso de la especie *Neochetina spp.* resulta ser muy exitosa, por lo que es de muy buena aceptación a nivel público (Guevara & Ramírez, 2015). Asímismo, la aplicación de hongos patógenos tales como las especies: *Cercospora piaropi* y *Acremonium zonatum*, es otra alternativa muy útil para el control biológico del jacinto de agua, por lo que se les considera como agentes potenciales (Martínez, 2004).

Por otro lado, el control mecánico de esta maleza se realiza actualmente mediante la trituración mecánica y la cosecha, siendo estas operaciones las principales herramientas para controlar su crecimiento (Juárez, 2011).

La extracción física o mecánica tiene sus limitaciones en cuanto a su magnitud, además de que posiblemente tendrán lugar reinfestaciones a partir de fragmentos de plantas y semillas. Sin embargo, este método resulta útil y seguro cuando sólo se requiere un mantenimiento de canales y la reducción de pequeñas infestaciones. Este control físico puede ser por vía manual, por dragado o mediante una máquina cosechadora especialmente diseñada (Martínez, 2004).

En cuanto al control químico, este se realiza mediante el uso de herbicidas, este requiere de un alto insumo de mano de obra y equipos mecánicos, por lo que puede resultar costoso. Junto a ello se debe hacer una inspección sistemática de manera indefinida para evitar la regeneración de la infestación a partir de plantas y semillas dispersas. Este compromiso a largo plazo es con frecuencia difícil de mantener y constituye un costo continuado, además del impacto y el costo ambiental por el uso de herbicidas. Los herbicidas mayormente usados en el control de esta maleza son: el glifosato, Diquat y el 2,4 D (Martínez, 2004).

**Figura 2.5.** *Invasión del jacinto de agua en un cuerpo de agua*



*Nota.* Foto tomada por Morales (2008), *Labores de extracción humana y mecánica de la especie invasora al paso del Guadiana por Mérida*, Las Provincias (<https://www.lasprovincias.es/sociedad/planta-bebe-20180222175328-nt.html>)

### **2.2.5.8. Usos y aplicaciones del Jacinto de agua.**

#### *A. Tratamiento biológico de aguas contaminadas.*

El lirio acuático es una planta que se caracteriza por crecer en aguas contaminadas y además retiene en sus raíces ciertos iones metálicos. A su vez, Juárez (2011) señala que “las macrófitas acuáticas son capaces de remover iones metálicos por adsorción superficial y/o absorción e incorporación de ellos a sus propios sistemas (principalmente enzimáticos) o almacenamiento en forma ligada” (p.11).

#### *B. Producción de biocombustibles.*

La utilización del Jacinto de agua en la producción de biocombustibles como alternativa frente a los combustibles fósiles no renovables, viene siendo motivo de importantes investigaciones. Los combustibles obtenidos a partir de esta macrófita flotante se detallan en la tabla 2.13.

#### *C. Obtención de fertilizantes y uso en la agricultura.*

El jacinto de agua ha sido objeto de investigación para su aprovechamiento en la obtención de abono orgánico, mediante la utilización de biodigestores, teniendo como resultado una capacidad de degradación del 22% en biodigestores de plástico (López, 2012).

El empleo de compost y vermicompost del jacinto de agua en el cultivo de col morada, ha dado resultados muy favorables en cuanto al desarrollo de dichas plantas en altura; número, largo y ancho de las hojas, y peso de los frutos (Reyes et al., 2017).

**Tabla 2.5.** Principales biocombustibles obtenidos del Jacinto de agua

<b>Biocombustible</b>	<b>Mecanismo de obtención</b>
<b>Hidrógeno</b>	Reformación de los gases obtenidos por pirólisis y gasificación de materia orgánica.
<b>Etanol</b>	Descomposición de los azúcares de las plantas por fermentación en presencia de microorganismos como <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella oxytoca</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> y <i>Zymomonas mobilis</i> y posterior destilación.
<b>Butanol</b>	Descomposición de los azúcares por acción de <i>Clostridium acetobutylicum</i> .
<b>Biogás</b>	Descomposición de la materia orgánica en presencia de bacterias anaeróbicas.

*Nota.* Breve descripción de los mecanismos mediante el cual se obtienen biocombustibles a partir del jacinto de agua. Adaptado de Castillo (2013).

De la misma manera, algunas plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean macrófitas flotantes como el Jacinto de agua, como agente depurador, utilizan finalmente esta planta para elaborar compost, el cual llega a contener macroelementos que constituyen la base de todo fertilizante orgánico, tales como: nitrógeno, fósforo y potasio (Donoso, 2015).

Es una alternativa muy viable emplear el Jacinto de agua como fuente de fósforo para la descomposición de la materia orgánica, debido a que se obtuvo resultados favorables cuando se empleó como restauradora de suelos degradados, determinándola como un potencial de sustrato orgánico, la cual favorece el crecimiento de la cobertura vegetal y mejora su metabolismo (Poveda, 2017).

#### *D. Otros usos y aplicaciones.*

Se ha investigado la obtención de harinas a partir del Jacinto de agua, demostrando que este producto es apto para consumo humano por su composición nutricional (Párraga, Barre, Dueñas, Muñoz, & Zambrano, 2018). Por otra parte, se ha verificado que es posible la utilización del Jacinto de agua fresco o ensilado, como alimentos para cerdos, mostrando buenos resultados. De esta manera, se evitan costos por la compra de otros alimentos y existe una mayor confiabilidad en la eliminación de elementos patógenos en la crianza de dichos animales (Febrero, Romero, Ruiz, & Gonzáles, 2005).

#### **2.2.6. Eichhornia crassipes como agente fitorremediador.**

##### **2.2.6.1. Biorremediación.**

Valero (2006) señala que “la biorremediación es el proceso en el que se emplean organismos biológicos para resolver problemas de contaminación medioambiental con el fin de atacar algunos contaminantes específicos” (p.3).

La Biorremediación se basa en el uso de organismos naturales como también genéticamente desarrollados con el fin de restaurar y recuperar sitios contaminados, a la vez que esto lleva a un fin último, la protección del medio ambiente. El proceso de biorremediación puede clasificarse de acuerdo al organismo que efectúe la degradación del compuesto xenobiótico en los siguientes tipos (Valero, 2006):

- Biorremediación enzimática
- Biorremediación microbiana
- Fitorremediación
- Biolixiviación
- Biofiltración

### 2.2.6.2. Fitorremediación.

La fitorremediación es un conjunto de mecanismos mediante el cual, con la utilización de determinadas plantas, se logra reducir o eliminar los contaminantes que pueden estar presentes tanto en la atmósfera, como en ecosistemas acuáticos o terrestres. Ello se logra a través de procesos biológicos y fisicoquímicos en los que participan plantas específicas para dichos fines.

Núñez, Meas, Ortega, & Olguín (2004) definen este término como:

Una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes. (p.69)

Valero (2006) considera a la fitorremediación como:

El conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petroderivados por medio de la utilización de plantas que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener, degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas. (p.7)

Otra definición relacionada a este tipo de proceso es la de fitodepuración.

Por *fitodepuración* (*phyto* = planta, *depurare* = limpiar, purificar) se entiende la reducción o eliminación de contaminantes de las aguas residuales, por medio de una serie de complejos procesos biológicos y fisicoquímicos en los que participan las plantas del propio ecosistema acuático. Este proceso ocurre tanto en humedales naturales como en humedales artificiales creados por el hombre. (Curt, 2010, p.61)

Las técnicas, mecanismos o estrategias que intervienen en un sistema de fitorremediación se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 2.6. Mecanismos de fitorremediación**

<b>Mecanismo</b>	<b>Proceso involucrado</b>
<b>Fitodegradación</b>	Este mecanismo lo realiza la misma planta y los microorganismos que se encuentran en sus raíces, los cuales degradan o transforman diversos contaminantes a través de reacciones enzimáticas, a compuestos menos tóxicos.
<b>Fitoestimulación</b>	Las plantas liberan diversos compuestos tales como: nutrientes, enzimas, oxígeno, entre otros, como parte de sus actividades fisiológicas y metabólicas. Estos son transportados hacia la rizósfera, de manera que sirve para el desarrollo de comunidades microbianas en esta parte de la planta, como es el caso de hongos y bacterias, quienes son los responsables de la mineralización de los contaminantes.
<b>Fitovolatilización</b>	Algunas plantas tienen la capacidad de volatilizar ciertos contaminantes, liberándolos a la atmósfera a través de su actividad de transpiración, en formas menos tóxicas, debido a las transformaciones que se producen en las raíces y que posteriormente son transportados a sus partes superiores. Algunos ejemplos de contaminantes que las plantas pueden procesar son el mercurio y selenio.

**Tabla 2.6. (Continuación)**

<b>Fitoestabilización</b>	Mediante este mecanismo, las plantas reducen la presencia de metales y otros contaminantes en el agua, por efecto de diversas reacciones químicas que se dan en su raíz, como la precipitación, la formación de complejos, o por medios físicos como la adsorción. De esta forma, los metales se adhieren fuertemente en las raíces de las plantas, evitando la migración de estos hacia la capa freática.
<b>Fitoextracción o fitoacumulación</b>	A través de esta estrategia, algunas plantas acumulan en sus raíces, tallos u hojas, múltiples contaminantes, los cuales pueden ser contaminantes orgánicos, metales e isótopos radioactivos, y que finalmente pueden ser fácilmente cosechados.
<b>Rizofiltración</b>	Mecanismo por el cual, se hace crecer raíces de plantas terrestres con una muy buena tasa de crecimiento y a la vez un gran área superficial, que pueda absorber, concentrar y precipitar compuestos metálicos presentes en las aguas residuales contaminadas.

*Nota.* Breves descripciones de los procesos involucrados en la fitorremediación. Adaptado de Nuñez et al. (2004).

Como se ha descrito en la tabla 2.6, existen muchos mecanismos mediante los cuales las plantas, y específicamente macrófitas acuáticas como es el caso de *Eichhornia crassipes*, pueden realizar un importante e innovador proceso de descontaminación de efluentes contaminados. Ello, como hemos detallado, involucra tanto a las plantas como a los

microorganismos presentes en sus raíces, que también juegan un rol importante, haciendo un gran trabajo en conjunto.

### **2.2.6.3. Mecanismos de depuración en la Eichhornia Crassipes.**

La *Eichhornia crassipes* es una especie que posee un vasto sistema de raíces, la cual constituye un excelente medio de filtración y adsorción de sólidos suspendidos, y en donde habitan microorganismos que favorecen la acción depuradora de esta planta (García, 2012) (Martelo & Lara, 2012). El sistema radicular sirve de sustrato para la comunidad microbiana, la cual cumple la función de degradar la materia orgánica y reducir el consumo de oxígeno, el contenido de sólidos suspendidos y los niveles de nitrógeno. Asimismo, la propia planta, por su parte, mediante sus actividades metabólicas, se encarga de asimilar, transformar y acumular los contaminantes presentes en las aguas residuales (Nuñez et al., 2004).

El jacinto de agua, para su buen desarrollo y metabolismo requiere de nutrientes, los cuales los obtiene del agua con la que está en contacto, siendo los más imprescindibles el nitrógeno y el fósforo, así como también iones de calcio, magnesio, potasio, entre otros (García, 2012).

La capacidad microbiana de eliminar compuestos presentes en el agua residual, se debe en gran medida gracias a la transferencia de oxígeno, desde las partes superiores de la planta hacia su sistema radicular. Debido a ello, se produce una zona aeróbica en sus alrededores, por lo que se deduce que la eficiencia en remoción de contaminantes, aumenta de manera significativa en sistemas con aireación y circulación (Nuñez et al., 2004) (Martelo & Lara, 2012).

Cabe indicar que otro fenómeno particular está involucrado en los sistemas de fitorremediación de aguas residuales. Esto tiene que ver con la atracción electrostática, que se lleva a cabo gracias a que existen partículas coloidales con cargas eléctricas que son atraídas

por las cargas eléctricas opuestas del sistema radicular de la planta. Es por ello, que dicha partículas se adhieren a las raíces, y luego son absorbidas y asimiladas por la misma planta (Nuñez et al., 2004).

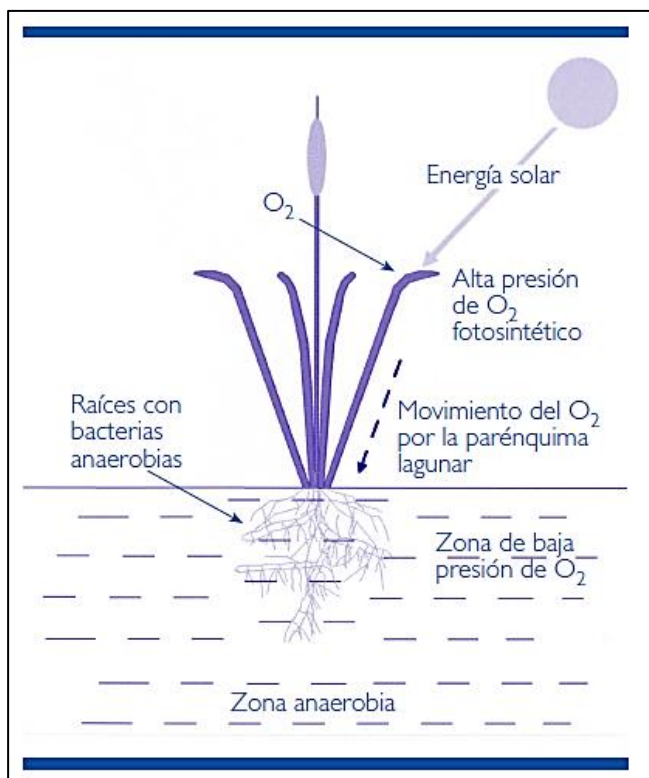
### ***Transferencia del oxígeno desde la planta hacia el sistema radicular***

El oxígeno es conducido desde la superficie exterior de la hoja hacia el interior de los tubos de ésta. Luego el oxígeno empieza a distribuirse y equilibrarse entre todos los tubos colaterales y a lo largo de cada uno de ellos, descendiendo por éstos, hacia las raíces. Esto se debe a que la presión en el exterior, que tiene menos concentración de oxígeno, es mayor que la presión al interior de los tubos (en los huecos o tubos sólo se tiene vapor de agua y oxígeno) (Valero, 2006).

Cuando el oxígeno llega a la parte de la hoja de la planta sumergida, sucede que el agua en contacto con la pared de la hoja, demanda el oxígeno que está en los conductos tubulares de esta zona, debido a la DBO y DQO del agua, que hace que la presión de oxígeno sea menor en el agua que en el interior de los tubos, cediendo éstos parte del oxígeno que tienen hacia la zona de la demanda y la otra parte al sistema radicular, donde existe también una fuerte demanda de oxígeno, ya que normalmente tiene condiciones eutrificantes más severas que las de la lámina de agua que baña las hojas (Valero, 2006).

Los tubos que más oxígeno dejan son siempre los que están más próximos a la zona exterior, por lo que el reparto de oxígeno siempre tiende a ser mayor en la zona sumergida, que en las hojas hacia el agua. De esta forma, el oxígeno puede llegar mejor a las raíces. El sistema radicular, con sus rizomas se provee del oxígeno que le transmiten las hojas. La cantidad de oxígeno que se emite por el sistema radicular está en función de la cantidad de oxígeno que le llega a la zona, de la presión entre los tubos y el medio según la demanda de cada lugar (Valero, 2006).

**Figura 2.6.** Esquema del proceso de aireación de la rizosfera de las macrófitas en humedales



*Nota.* Tomado de *Manual de Fitodepuración. Filtro de macrófitas en flotación*, por Fernández, Beascochea, Muñoz & Curt (2010).

### ***Reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno del agua.***

Los microorganismos adheridos a la planta son los responsables de la reducción de la DBO y DQO, ya que estos se alimentan precisamente de la DBO disuelta y no disuelta del agua. Para ello, dichos microorganismos, que se encuentran en el sistema radicular de la planta, necesitan de oxígeno para realizar los procesos de degradación de la materia orgánica (Valero, 2006).

#### **2.2.6.4. Optimización de la capacidad depurativa.**

Para optimizar la capacidad depurativa del jacinto de agua es importante conseguir que la zona sumergida de hojas y tallos sea la mínima (en lo posible ninguna parte de estas), para que aporte el máximo de oxígeno a la zona radicular, y que ésta última tenga el máximo posible

de la superficie de las raíces en contacto con el agua. Para que haya una óptima capacidad depurativa, se debe colocar una densa población de estas macrófitas flotantes sobre una laguna de oxidación, y para que se mantengan siempre en su máximo punto de eficiencia, se tiene que cosechar periódicamente una parte de esta población (Valero, 2006).

#### **2.2.6.5. Investigaciones en el tratamiento de aguas utilizando Eichhornia Crassipes.**

A nivel de laboratorio, se han realizado estudios que demuestran la eficiencia del jacinto de agua, al aplicarlos en reactores de humedales artificiales, brindando buenos resultados en la remoción de materia orgánica, medida en términos de DBO<sub>5</sub> (Rodríguez, Gómez, Garavito y López, 2010)

Una investigación realizada para determinar la eficiencia de *Eichhornia crassipes*, se hizo para el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, brindando como resultado los siguientes porcentajes de disminución: 90.77 % de la conductividad eléctrica, 95.79% de los sólidos suspendidos totales, 95.55% de DBO<sub>5</sub>, 93.09% de DQO, 99.98% de coliformes totales y 99.99% de coliformes fecales (Coronel, 2016).

De la misma forma, se puede decir que la *Eichhornia crassipes* ha demostrado ser eficiente en la remoción de nutrientes del agua, tal es el caso de una investigación realizada en un sistema de dos reactores en serie con flujo continuo, utilizando el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín, Cajamarca; con un tiempo de retención hidráulica de 5 días y con un caudal de 0.030 L/min. Los resultados de esta investigación, fueron de una eficiencia de remoción de 61% para el parámetro de nitrógeno total (N), un 34 % para el parámetro de nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), un 73% para el parámetro de fósforo total (P) y de un 68% para el parámetro de fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) (Castillo E. , 2017). Asimismo, en

cuanto al tratamiento de aguas residuales mineras, existen investigaciones que demuestran su capacidad de absorción de mercurio siendo alrededor del 30% (Jaramillo & Flores, 2012).

**Tabla 2.7.** Eficiencias de distintas especies de macrófitas flotantes en la remoción de distintos contaminantes

Especie	Porcentaje de remoción (%)												
	DBO <sub>5</sub>	DQO	SS	PT <sup>a</sup>	NT <sup>b</sup>	As	Fe	Mn	Pb	Cu	Cr	Cd	Zn
<i>Eichhornia</i>	37-	72,6-	21-	42,3-	72,4-	80	78,6-			86-	60-	40-	48-
<i>crassipes</i>	95,1	90,25	92	98,5	91,7		90,1			95	89	85	95
<i>Pistia</i>	57-	70,7-	80,6	25-	51,7-		78,3-	86,8-	90-	68-	64-	63-	82-
<i>startiotes</i>	91,9	93,47		64,2	87,6		95	98,4	99,7	97,3	99,6	87	92
<i>Lemna minor</i>	94,4			67	89	5	78,47	95,20	98,55	77-	96,94		97,56
										90,41			
<i>Lemna gibba</i>	50-	64,7	30-				54,4						
	95,7		92										
<i>Hydrocotyle</i>	88,7	72,2	74,3	69-	42,9-								
<i>umbellata</i>				71,3	87,5								
<i>Spirodela</i>							77,5-			76-	62-	63-	82-
<i>polyrrhiza</i>							83,5			91	83	71	92
<i>Spirodela</i>							80,23	96,91	98,22	91,7	33,88		95,73
<i>intermedia</i>													
<i>Salvinia</i>	73,6-	76,6-		10,3-					90		64	84	
<i>natans</i>	83,8	87,1		31,3									
<i>Azolla</i>	69,6			60	52,4	60							
<i>Dryan</i>		83,4		90,4	84,0								
<i>Waseyutaka</i>		80,7		89,9	79,6								
<i>Tachimasari</i>		85,4		88,3	80,3								

<sup>a</sup> Fósforo total

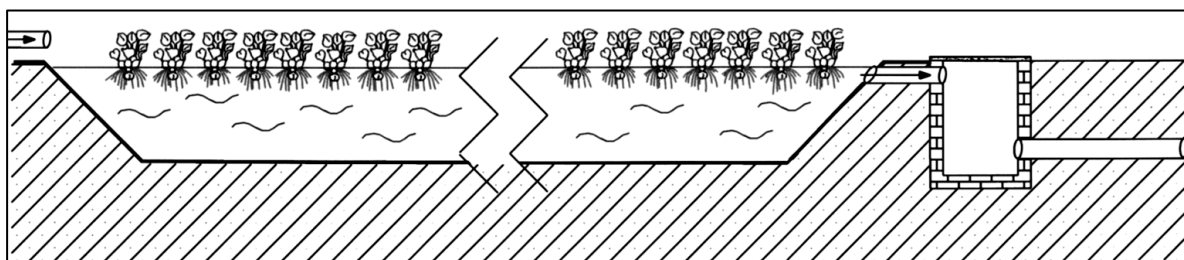
<sup>b</sup> Nitrógeno total

Nota. Adaptado de Martelo & Lara (2012).

### 2.2.7. Sistemas de tratamientos de aguas residuales con plantas acuáticas flotantes.

Los sistemas con plantas acuáticas flotantes consisten en estanques, en algunos casos parecidos a las lagunas de estabilización, con profundidad variable (0,4 a 1,5 m), donde las macrófitas se desarrollan naturalmente. Entre las especies mayormente utilizadas en este tipo de sistemas, están el jacinto de agua y la lenteja de agua (Martelo & Lara, 2012).

**Figura 2.7. Esquema de un sistema de tratamiento de aguas residuales con macrófitas flotantes**



*Nota.* Tomado de Fernández et al. (2010).

#### 2.2.7.1. Emplazamiento de sistemas de tratamiento con plantas acuáticas flotantes.

Las principales características que se deben de tomar en cuenta a la hora de diseñar el emplazamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas flotantes son la topografía del terreno, las características del suelo y el clima (Metcalf & Eddy, 1995).

En cuanto a la topografía del terreno para un sistema de plantas acuáticas, se considera idóneo cuando es uniforme horizontal o con una ligera pendiente. Los suelos sobre los cuales se instalarán estos tipos de sistemas, deben ser de permeabilidad lenta, de lo contrario deben ser revestidos con arcilla o láminas impermeabilizantes. Además, el clima para el caso de los jacintos de agua, debe ser cálido, de preferencia con una temperatura mayor a 10°C (Metcalf & Eddy, 1995).

### **2.2.7.2. Pretratamiento.**

En todo sistema con plantas acuáticas, debe existir un tratamiento previo que bien podría ser el tratamiento primario, a través de lagunas aireadas de corto tiempo de detención, u otra forma de tratamiento que equivalga a las mencionadas. Este tratamiento previo, debe evitar en lo posible la generación de grandes concentraciones de algas, ya que posteriormente en el tratamiento con plantas se hace complicado eliminarlas de forma regular (Metcalf & Eddy, 1995).

### **2.2.7.3. Parámetros de diseño.**

Los principales parámetros de diseño de los sistemas de plantas acuáticas flotantes son los siguientes:

#### **A. Carga hidráulica**

Las cargas hidráulicas que se aplican a sistema de jacintos para el tratamiento de aguas residuales están en el rango entre 240 y 3600 m<sup>3</sup>/ha.d. En los sistemas donde el objetivo es realizar un tratamiento secundario, la carga hidráulica varía entre 200 y 600 m<sup>3</sup>/ha.d. En los sistemas de tratamiento secundario con aireación, se han conseguido buenos resultados con cargas de hasta 1000 m<sup>3</sup>/ha.d. Sin embargo, normalmente, las cargas orgánicas limitarán el valor de las cargas hidráulicas (Metcalf & Eddy, 1995).

#### **B. Carga orgánica**

Las cargas orgánicas aplicadas a sistemas con jacintos de agua, expresadas en términos de DBO<sub>5</sub>, varían entre 10 y 300 kg/ha.d. En el caso de aplicar cargas superiores a 150 kg/ha.d sin un mecanismo de aireación adicional, es probable que se produzcan olores. Para sistemas en la que no se tenga aireación suplementaria las cargas no deben exceder los 100-110 kg/ha.d (Metcalf & Eddy, 1995).

### **C. *Tiempo de detención hidráulica***

El tiempo de detención hidráulica depende de la carga orgánica aplicada, así como también de la carga hidráulica, y de la profundidad de agua del sistema. Casi siempre, el factor limitante es la carga orgánica (Metcalf & Eddy, 1995).

### **D. *Profundidad de agua***

Se debe elegir la profundidad de agua adecuada, de modo que haya un mezclado vertical adecuado, es decir, que la mayor parte del agua residual contenida en la laguna entre en contacto con las raíces de las plantas, ya que es en esta parte, donde se hallan las bacterias que realizan el tratamiento (Metcalf & Eddy, 1995).

## **2.2.8. Sistemas de tratamiento de aguas residuales con Jacintos de agua.**

Puesto que el jacinto de agua es la macrófita flotante más utilizada en los sistemas de tratamiento de aguas, la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos clasificó y describió los sistemas con jacintos de agua de acuerdo a la cantidad de oxígeno disuelto y al método de aireación empleado, los cuales se detallan a continuación (US Environmental Protection Agency, 1988):

### **2.2.8.1. Sistemas aerobios con jacintos sin aireación suplementaria.**

Los cuales producirán un tratamiento secundario o una remoción de nutrientes (nitrógeno) dependiendo de la carga orgánica aplicada. Este tipo de sistemas es más común en los sistemas con jacintos ya construídos. Una de sus ventajas incluye la poca presencia de mosquitos y olores (EPA, 1988).

### **2.2.8.2. Sistemas aerobios con jacintos con aireación suplementaria.**

Los cuales son apropiados y requeridos en localidades o comunidades donde no son tolerados mosquitos y olores. Una ventaja adicional de estos sistemas con aeración, es que se puede trabajar con mayores cargas orgánicas y los requerimientos de áreas son menores (EPA, 1988).

### 2.2.8.3. Sistemas anaerobios/facultativos.

Los cuales operan bajo altas cargas orgánicas. El propósito de estos sistemas es alcanzar un tratamiento secundario, y que ha demostrado ser capaz de producir un adecuado tratamiento, aun trabajo sin aireación adicional. Sin embargo, las desventajas que tienen estos tipos de sistemas es el incremento de la presencia de mosquitos y olores (EPA, 1988).

**Tabla 2.8.** *Tipos de sistemas de tratamiento con jacintos de agua*

Sistema	Objetivo	Carga		Ventajas	Desventajas
		DBO <sub>5</sub> ,	kg/ha-d		
<b>Aerobio sin aeración suplementaria</b>	Tratamiento secundario	40-80		Presencia limitada de mosquitos y olores.	Mayor área requerida; de cosecha podría ser más y dificultosa (dependiendo de la configuración de la laguna).
<b>Aerobio sin aeración suplementaria</b>	Remoción de nutrientes	10-40		Presencia limitada de mosquitos y olores. Remoción de nutrientes.	Mayor área requerida; de cosecha podría ser más y dificultosa (dependiendo de la configuración de la laguna).
<b>Aerobio con aeración suplementaria</b>	Tratamiento secundario	150-300		No ha presencia de mosquitos y olores. Trabajo bajo altas cargas orgánicas. Menor área requerida.	Cosecha adicional requerida. Energía suplementaria requerida.
<b>Facultativo/ Anareobio<sup>a</sup></b>	Tratamiento secundario	220-400		Trabajo bajo altas cargas orgánicas. Menor área requerida.	Incremento en la presencia de mosquitos y olores.

<sup>a</sup> Solamente apropiado en lugares donde olores y mosquitos no serían un problema.

*Nota.* Adaptado de *Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*, EPA (1988).

Los criterios de diseño, propuestos por la US EPA para los sistemas de tratamiento con jacintos de agua, están resumidos en la tabla 2.9:

**Tabla 2.9.** *Criterios de diseño para sistemas de tratamiento con jacintos de agua*

Criterio	Tipo de Sistema con jacinto de agua		
	Aerobio sin aireación	Aerobio sin aireación	Aerobio con aireación
Tipo de afluente	Filtrado o sedimentado	Secundario	Filtrado o sedimentado
<b>DBO<sub>5</sub> afluente, mg/L</b>	130-180	30	130-180
<b>Carga orgánica DBO<sub>5</sub>, kg/ha-d</b>	40-80	10-40	150-300
<b>Profundidad de agua, m</b>	0.5- 0.8	0.6-0.9	0.9-1.4
<b>Tiempo de detención, días</b>	10-36	6-18	4-8
<b>Carga hidráulica, m<sup>3</sup>/ha-d</b>	>200	<800	550-1,000
<b>Período de cosecha</b>	Anual	Dos veces al mes	Mensual
<b>Efluente esperado, mg/L</b>			
<b>DBO<sub>5</sub></b>	<30	<10	<15
<b>SS</b>	<30	<10	<15
<b>NT</b>	<15	<5	<15

*Nota.* Adaptado de *Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*, EPA (1988).

Otros valores de diseño son indicados por Romero, de acuerdo con estudios hechos en la India:

**Tabla 2.10.** *Criterios de diseño y calidad esperada de sistemas de tratamiento de aguas residuales crudas con Jacintos de agua (India)*

<b>Criterio</b>	<b>Valor de diseño</b>	<b>Calidad esperada</b>
<b>Carga orgánica (kg DBO/ha-d)</b>	$\leq 220$	DBO < 30 mg/L
<b>Tiempo de retención (día)</b>	10	SST < 30 mg/L
<b>Carga hidráulica (m<sup>3</sup>/ha-d)</b>	1000	
<b>Área de lagunas individuales (ha)</b>	0.4	
<b>Profundidad</b>	$\leq 1.5$	
<b>Relación longitud/ancho</b>	> 3:1	
<b>Temperatura del agua (°C)</b>	> 10	

*Nota.* Adaptado de Romero (2004).

#### **2.2.8.4. Control de mosquitos.**

El objetivo del control de mosquitos es reducir la población de estos a valores menores de los necesarios para la transmisión de enfermedades o debajo del nivel de tolerancia a condiciones desagradables (Metcalf & Eddy, 1995). Las estrategias que se pueden emplear para controlar la presencia de mosquitos incluyen:

- Lagunas de acumulación con peces
- Tratamiento previo más efectivo para reducir la carga orgánica sobre el sistema acuático para mantener condiciones aerobias.
- Alimentación escalonada del curso de agua afluente con recirculación.

- Mayor frecuencia de cosecha de las plantas.
- Rociado con agua a últimas horas de la tarde.
- Aplicación de agentes químicos de control (larvicidas).
- Difusión de oxígeno (mediante equipos de aireación).
- Agentes biológicos de control.

#### **2.2.8.5. Cosechado y procesado de las plantas.**

El cosechado y procesado de las plantas acuáticas se debe realizar de manera periódica, no sólo para eliminar los nutrientes que las plantas captan sino también, porque cuando la densidad de plantas cubre totalmente la superficie de agua, ocurre el descenso del oxígeno disuelto en el agua, se interrumpe el paso de la luz y el input de materia orgánica en el agua aumenta rápidamente por la pudrición de la biomasa vegetal (Curt, 2010).

Se recomienda que en climas cálidos la cosecha parcial de las plantas debe realizarse cada 3 o 4 semanas, ello para favorecer la eliminación de nutrientes. La cosecha de las plantas acuáticas es necesaria y de suma importancia, ya que de esta manera se mantendrá una población con elevada asimilación metabólica de los nutrientes. (Curt, 2010) (Metcalf & Eddy, 1995).

Además, se ha comprobado que el cosechado de estas plantas puede traer algunos beneficios adicionales, dependiendo del procesado que se le dé posterior a la cosecha. En el caso del Jacinto de agua, se puede producir metano, sometiéndolo a una digestión anaerobia, también puede regarse y ararse para el mejoramiento del suelo, y además se puede destinar para compostaje (Martelo & Lara, 2012).

### 2.3. Marco conceptual

- **Agua residual séptica:** “El agua residual séptica es agua residual en proceso de descomposición anaeróbica, es decir, sin presencia de oxígeno” (Lopez, P., Calderón, y Huertas, M., 2015, p. 170-171).
- **Biomasa:** materia orgánica proveniente de organismos vivos, tales como plantas o animales, que puede ser aprovechado en otros procesos posteriores (Curt, 2010).
- **Carga hidráulica:** es el volumen de agua residual que se aplica diariamente dividido por la superficie del sistema de tratamiento acuático (Metcalf & Eddy, 1995).
- **Carga orgánica:** Cantidad de materia orgánica (generalmente expresada en términos de DBO<sub>5</sub>), aplicada diariamente a una determinada área de un sistema de tratamiento de aguas (Metcalf & Eddy, 1995).
- **Conductividad:** medida de la habilidad de una solución acuosa para poder transportar corriente eléctrica (American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation, 2012).
- **Cosecha:** actividad que consiste en la recolección de plantas acuáticas a intervalos de tiempo determinado, con el fin de favorecer la eliminación de nutrientes en sistemas de tratamientos de aguas que emplean dichos cultivos (Metcalf & Eddy, 1995).
- **Densidad de plantas:** relación entre el peso de plantas acuáticas y la superficie de agua sobre la que están dispuestas. En unidades se expresa en kg/m<sup>2</sup> (Metcalf & Eddy, 1995).
- **Depuración:** purificación o remoción de sustancias indeseables presentes en las aguas residuales, a través de procesos de tratamiento de líquidos (MVCS, 2006).
- **Digestión anaerobia:** descomposición biológica de la materia orgánica del lodo procedente del tratamiento de aguas, en ausencia de oxígeno (MVCS, 2006).

- **Diseño:** Es una etapa del proceso de desarrollo o modificación de una planta de procesos químicos o bioquímicos. Contiene etapas precedentes la investigación en laboratorio y la investigación de desarrollo del proceso en miniplanta, planta piloto y planta semicomercial, cuando el proyecto involucra un producto o un proceso nuevo. (Palacios, S., Tapia, G. y Saldarriaga, M., 2005)
- **Emplazamiento:** ubicación o colocación de un determinado sistema de tratamiento de aguas (Metcalf & Eddy, 1995).
- **Fitorremediación:** “Tecnología que forma parte de la biorremediación basada en la utilización de plantas para el tratamiento de una zona contaminada” (Castillo, R., Roldan, R., Blasco, P., Huertas, R., Caballero, D., Moreno, V. y Luque, R., 2005).
- **Humedal:** zona caracterizada por la proliferación de una determinada vegetación acuática, la cual se encuentra muy bien adaptada a tener todos o parte de sus órganos sumergidos en el medio acuoso (Fernández, Beascochea, Muñoz & Curt, 2010).
- **Macrófitas:** plantas acuáticas caracterizadas por su destacada habilidad para la asimilación de nutrientes y demás constituyentes del agua considerados como contaminantes (Martelo & Lara, 2012).
- **ORP:** llamado también “Potencial Redox”, es la medida que describe la actividad de especies químicas disueltas en una solución, y que permite, junto con el pH, el desarrollo de un entendimiento más completo de la química del agua (American Public Health Association et al., 2012).
- **Oxígeno disuelto:** concentración de oxígeno solubilizado en un líquido (MVCS, 2006).
- **Parámetro:** Se entiende como aquella variable que durante la resolución, para una condición dada, permanece constante (Costa, L., Cervera, M., Cunill, G., Esplugas, V., Mans, T. y Mata, A., 2004).

- **Proceso Aeróbico:** Esta consiste en una transformación química en la cual está involucrada el oxígeno (Mario Díaz, 2018).
- **Salinidad:** medida de la masa de sales disueltas en una determinada solución (American Public Health Association et al., 2012).
- **Sistema radicular:** zona inferior de la planta que hace referencia al conjunto de raíces que posee (Valero, 2006).
- **Sustrato:** medio sobre el cual se asienta una comunidad microbiana (Nuñez et al., 2004).
- **Tiempo de retención:** Se define, como el mismo tiempo en que cada partícula de fluido tarda en atravesar el reactor (Glynn y Heinke, 1999).
- **Tratamiento biológico:** “Es la reducción de la materia orgánica presente en el agua residual, y en determinados casos, la eliminación de nutrientes como son el nitrógeno y el fósforo” (Osorio, R., Torres, R. y Sánchez, B., 2010, p. 14).
- **Tratamiento secundario:** nivel de tratamiento que permite obtener la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión (MVCS, 2006).
- **Tratamientos aerobios:** Son aquellos en que la biomasa está constituida por microorganismos aerobios o facultativos, consumidores de oxígeno. El carbono de la materia orgánica disuelta en el agua se convierte parcialmente en CO<sub>2</sub>, con producción de energía, y en parte es anabolizada para sintetizar materia celular. (Rigola, L., 1990, p. 143)

## CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

### 3.1. Tipo y nivel de la investigación

#### 3.1.1. Tipo de investigación.

Debido a que la finalidad de la investigación consiste en el diseño del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua); en consecuencia, se trata de una investigación aplicada.

#### 3.1.2. Nivel de investigación.

Debido a que los objetivos específicos de la investigación son determinar las dimensiones, parámetros de operación y la eficiencia de remoción del DBO<sub>5</sub>, para determinar el diseño del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), entonces la investigación comprende al nivel investigación y desarrollo.

### 3.2. Población y muestra de investigación

#### 3.2.1. Población.

La población de estudio está compuesta por el afluente de las lagunas de Oxidación de Cachiche Ica.

#### 3.2.2. Muestra.

La muestra de investigación se ha establecido con un volumen de 1.539 m<sup>3</sup> para el tratamiento secundario, proveniente de la laguna primaria del sistema de tratamiento propuesto.

### 3.3. Variables e indicadores

VARIABLES	INDICADORES
<b>Variable independiente:</b>	- Densidad de plantas (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Tratamiento Secundario por medio de la Eichhornia Crassipes</b>	- Tiempo de detención hidráulica (día) - Profundidad del agua (m) - Dimensión de la laguna (m) - DBO <sub>5</sub> afluente (mg/L)
<b>Variable dependiente:</b>	- DBO <sub>5</sub> (mg/L)
<b>Efluente del Tratamiento Secundario</b>	- SST (mg/L) - STD (ppm) - pH - Conductividad (uS/cm) - Salinidad (ppm)

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de investigación

#### 3.4.1. Para la variable independiente: Tratamiento Secundario con Eichhornia Crassipes.

Técnica	Instrumento
<b>Investigación bibliográfica</b>	Fichas bibliográficas, normas, libros, artículos científicos, manuales y tesis. Con la finalidad de analizar y determinar las dimensiones óptimas de las lagunas, así como también los parámetros de operación que llevan a obtener eficientes resultados.

<b>Entrevista</b>	Guía de entrevista. Con la finalidad de consultar, evaluar y determinar aspectos específicos relacionados al proceso de tratamiento secundario.
<b>Experimento</b>	Análisis químico. Con la finalidad de determinar la concentración de DBO5, SST y demás indicadores propuestos.
<b>Observación</b>	Ficha de observación. Con la finalidad de anotar los cambios físicos relevantes durante el proceso de tratamiento.

#### 3.4.2. Para la variable dependiente: Efluente del Tratamiento Secundario.

<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
<b>Investigación bibliográfica</b>	Manuales, libros e informes. Con el fin de conocer los métodos establecidos para la determinación de los parámetros propuestos.
<b>Experimento</b>	Análisis químico. Con el fin de determinar los valores cuantitativos de los indicadores propuestos.
<b>Observación</b>	Ficha de observación. Con el fin de analizar las características físicas del efluente.

### 3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de resultados

Para el procesamiento y análisis de los resultados obtenidos en la investigación, se aplicaron las siguientes técnicas:

<b>Técnicas</b>	<b>Objetivos</b>
<b>Software estadístico Microsoft Excel</b>	Cálculos de estadística descriptiva.
<b>Diagramas bidimensionales.</b>	Graficar la relación entre las variables. Obtención de curvas de tendencias.
<b>Matrices de clasificación</b>	Clasificación y ordenamiento de datos y resultados.

### 3.6. Método de investigación

#### 3.6.1. Diseño del método de investigación.

El método aplicado para el proceso de investigación es de tipo cuasiexperimental, puesto que presenta manipulación de la variable independiente para observar su efecto en relación con la variable dependiente, por la modalidad de series cronológicas, por el cual se concluye la siguiente forma:

M <sub>1</sub> :	O <sub>1</sub>	X	O <sub>11</sub>	O <sub>12</sub>	O <sub>13</sub>	O <sub>14</sub>	O <sub>15</sub>
M <sub>2</sub> :	O <sub>2</sub>	X	O <sub>21</sub>	O <sub>22</sub>	O <sub>23</sub>	O <sub>24</sub>	O <sub>25</sub>
M <sub>3</sub> :	O <sub>3</sub>	X	O <sub>31</sub>	O <sub>32</sub>	O <sub>33</sub>	O <sub>34</sub>	O <sub>35</sub>
			O <sub>11</sub> = O <sub>21</sub> = O <sub>31</sub>	O <sub>11</sub> ≠ O <sub>21</sub> ≠ O <sub>31</sub>			
			O <sub>12</sub> = O <sub>22</sub> = O <sub>32</sub>	O <sub>12</sub> ≠ O <sub>22</sub> ≠ O <sub>32</sub>			
			O <sub>13</sub> = O <sub>23</sub> = O <sub>33</sub>	O <sub>13</sub> ≠ O <sub>23</sub> ≠ O <sub>33</sub>			
			O <sub>14</sub> = O <sub>24</sub> = O <sub>34</sub>	O <sub>14</sub> ≠ O <sub>24</sub> ≠ O <sub>34</sub>			
			O <sub>15</sub> = O <sub>25</sub> = O <sub>35</sub>	O <sub>15</sub> ≠ O <sub>25</sub> ≠ O <sub>35</sub>			

En donde:

$M_i$ : Muestra de estudio de la laguna secundaria número  $i$  (efluente de la laguna primaria).

$O_i$ : Análisis de los parámetros indicados iniciales de  $M_i$ .

$X$ : Tratamiento secundario de  $M_i$  mediante *Eichhornia crassipes*.

$O_{ij}$ : Análisis “ $j$ ” de los parámetros indicados finales en la laguna secundaria número “ $i$ ”.

El efluente proveniente del tratamiento primario se muestrea y analiza para determinar la concentración y los valores iniciales de los parámetros indicados, luego se inicia el proceso de tratamiento secundario de dicho efluente durante un periodo determinado. Luego de finalizado éste, se procede a realizar el muestreo y análisis del efluente secundario, para determinar las concentraciones y valores finales de los parámetros establecidos. Finalmente, se evalúan las concentraciones iniciales y finales, y se determina la eficiencia del sistema de tratamiento, así como también, el valor óptimo de la variable evaluada (tiempo de detención hidráulica).

### **3.6.2. Métodos y procedimientos.**

#### **3.6.2.1. Investigación bibliográfica y dimensionamiento del Sistema de Tratamiento (ST).**

##### **3.6.2.1.1. Dimensionamiento del Tratamiento Primario.**

El tratamiento primario del agua residual se llevó a cabo en una laguna anaerobia, la cual se dimensionó tomando en cuenta las recomendaciones expuestas, para este tipo de lagunas, en la Norma OS.090 para Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Entre otras consideraciones de diseño, dicha norma recomienda que la profundidad de la laguna debe ser entre 2.5 y 5m, la forma cuadrada o ligeramente rectangular y la inclinación del talúd entre 1:1.5 y 1:3 (vertical:horizontal).

Por lo cual, se optó por dimensionar la laguna anaerobia con las siguientes especificaciones:

- Profundidad: 3m
- Forma: cuadrada
- Inclinação del talúd de 3:1 (vertical:horizontal)
- Base interior: 1m x 1m (largo x ancho)

Se optó por operar la laguna anaerobia con una profundidad de agua de 2.70m. Ello para dejar un borde libre de 0.30m aproximadamente. Asimismo, para la seguridad en el tránsito alrededor de la laguna y el acceso a los posteriores muestreos, se consideró realizar un piso de cemento en la superficie de 0.5m de ancho alrededor de la laguna en todos sus bordes.

En la figura 3.1 se grafican dichas especificaciones.

#### **3.6.2.1.2. Dimensionamiento del Tratamiento Secundario.**

El tratamiento secundario mediante la utilización de la planta acuática flotante, *Eichhornia crassipes*, se realizó en tres lagunas secundarias (idénticas en dimensiones y forma) que operaron en paralelo.

Para la dimensión de estas lagunas, se tomó como referencia los criterios de diseño propuestos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA por sus siglas en inglés), en el manual: *Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment* (1988), los cuales están expuestos en la Tabla 2.9

Considerando la disponibilidad del terreno y la investigación bibliográfica hecha, se optó por dimensionar las lagunas secundarias con las siguientes especificaciones:

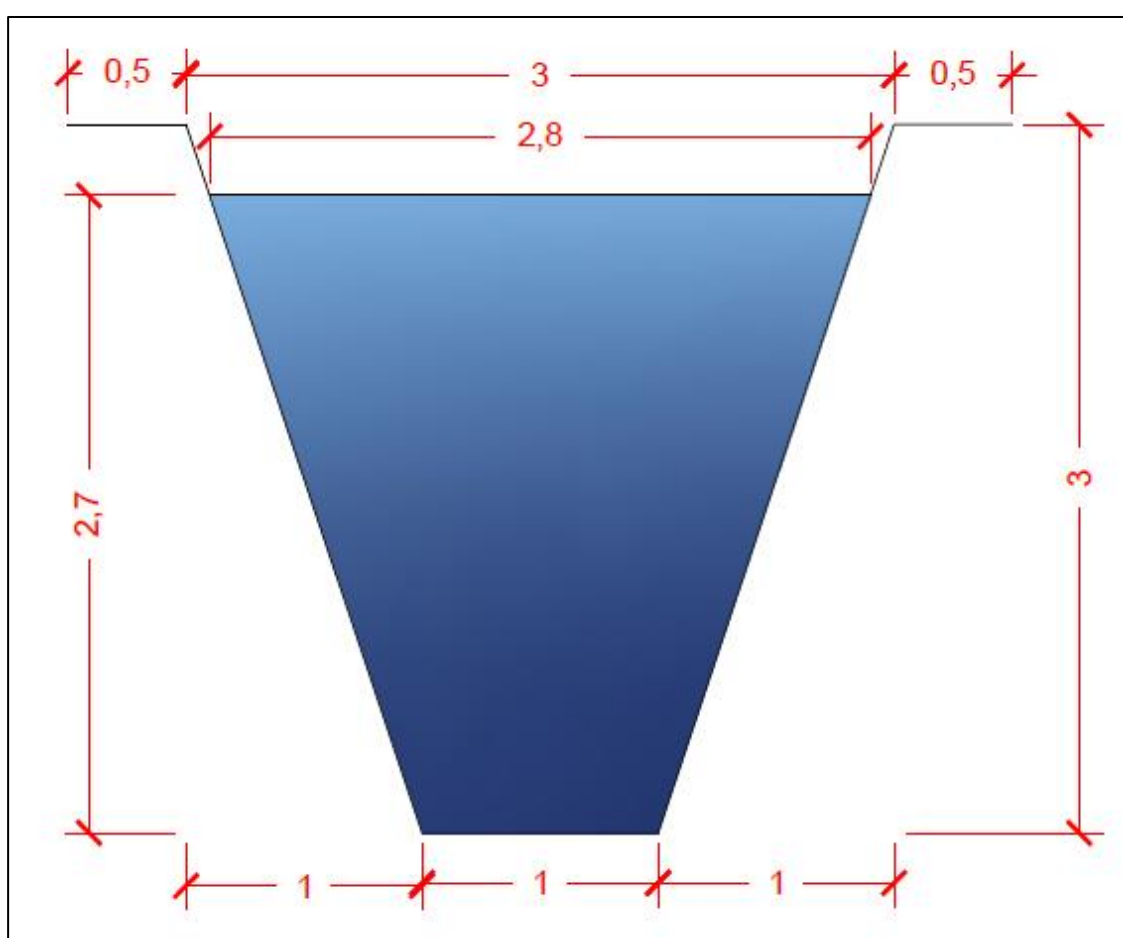
- Profundidad: 1.20m.
- Ancho: 1.5m (dato propuesto).
- Largo: 1.5m (dato propuesto).
- Inclinação de talúd de 4:1 – vertical: horizontal (dato propuesto).

- Base interior: 0.90m x 0.90m (largo x ancho)

Se optó por operar cada laguna secundaria con una profundidad de agua de 0.90m. Ello para dejar un borde libre de 0.30m aproximadamente. Además, para la seguridad en el tránsito alrededor de la laguna y el acceso al muestreo posterior, se consideró realizar un piso en la superficie de 0.2m de ancho alrededor de la laguna en todos sus bordes.

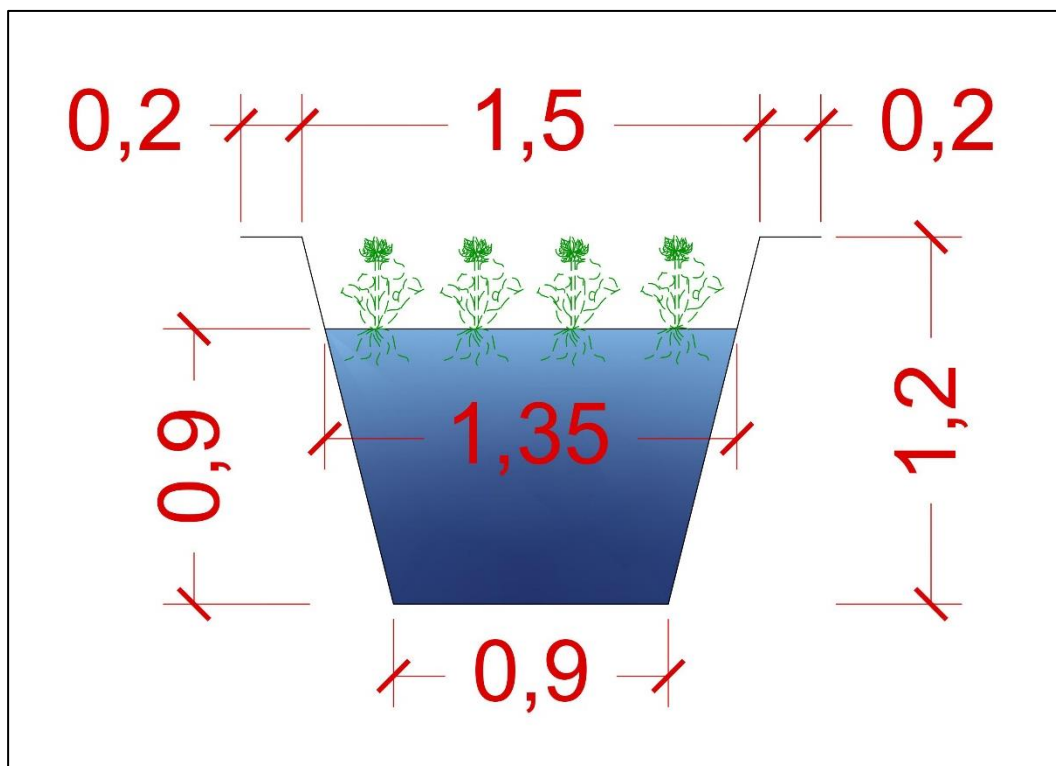
En la figura 3.2 se muestran dichas especificaciones.

**Figura 3.1.** Dimensiones de la laguna anaerobia



*Nota.* Dimensiones en metros. Elaboración propia. Realizado con Software Autocad 2019.

**Figura 3.2.** Dimensiones de las lagunas secundarias



*Nota.* Dimensiones en metros. Elaboración propia. Realizado con Software Autocad 2019.

### 3.6.2.2. Construcción y Puesta en Operación del ST.

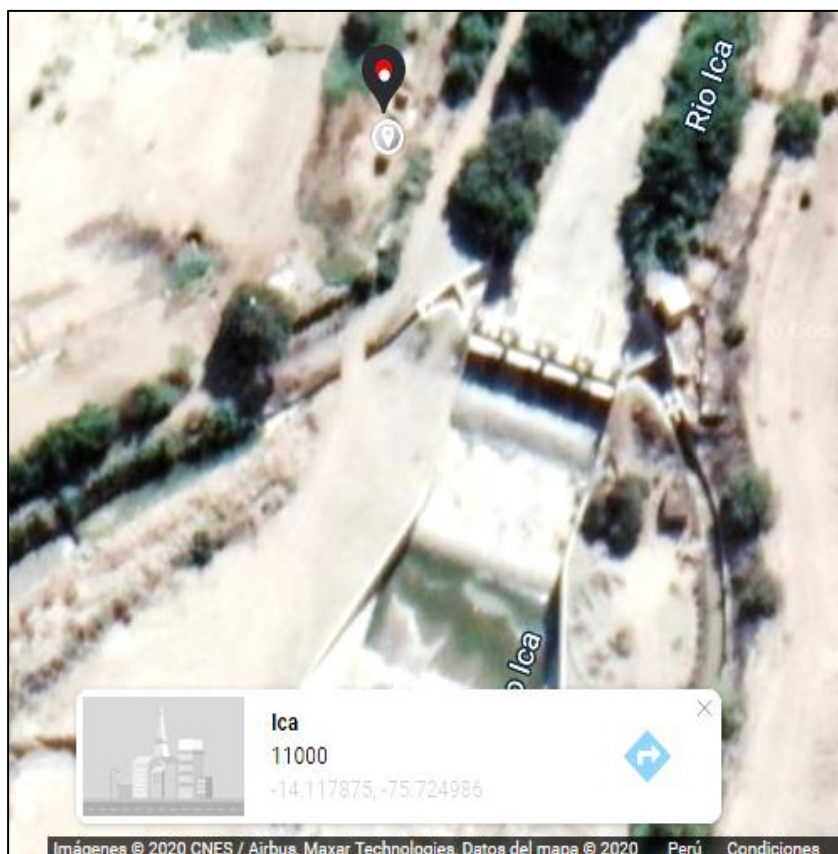
#### 3.6.2.2.1. Ubicación del ST.

El sistema de tratamiento propuesto del presente proyecto se ubicó al interior de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales- Lagunas de Oxidación Cachiche Ica, administrada por la EPS EMAPICA S.A. Para ello, se tuvo que pedir el permiso correspondiente a las autoridades y responsables encargados. La ubicación se estableció cerca de la colectora para poder captar el afluente de las lagunas y así realizar el proceso de tratamiento. En la figura 3.3, se muestra la ubicación exacta satelital en grados decimales del sistema de tratamiento, la cual indica:

Latitud: -14.117875

Longitud: -75.724986

**Figura 3.3.** Ubicación con coordenadas geográficas del ST

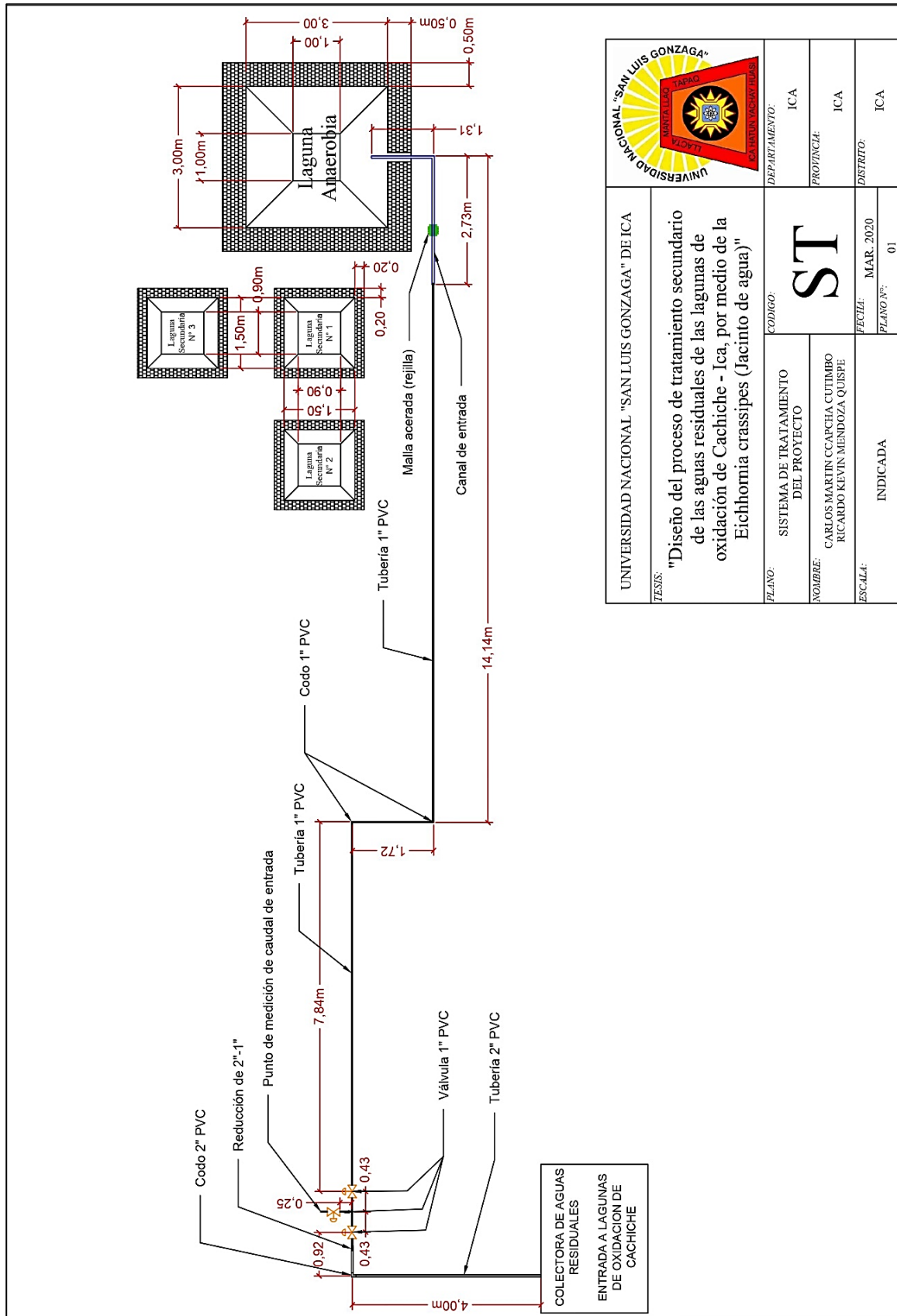


*Nota.* La imagen muestra las coordenadas en latitud y longitud de la ubicación del proyecto. Obtenido de Google Maps.

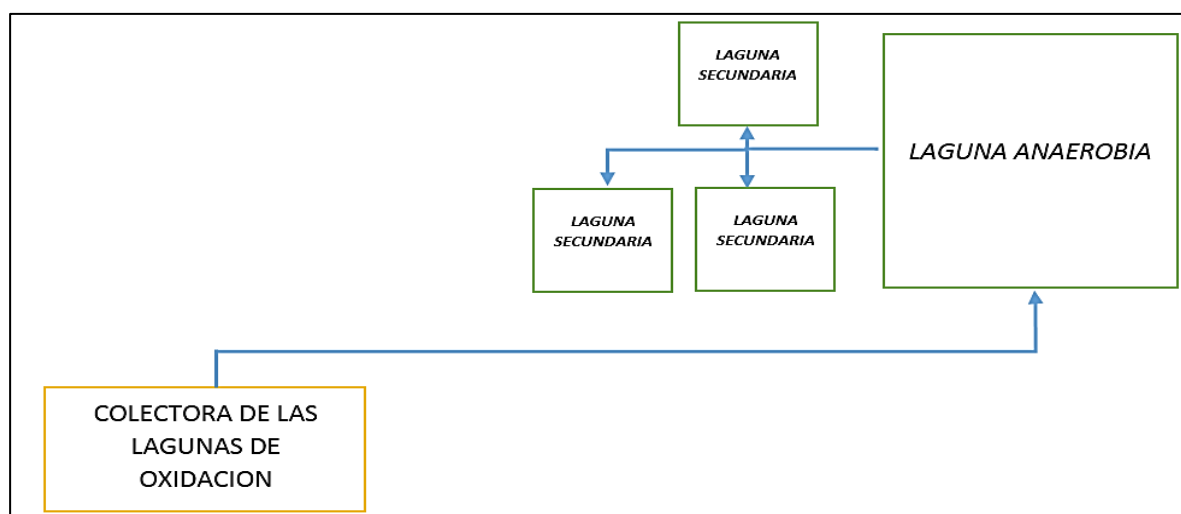
#### **3.6.2.2.2. Plano del ST.**

La vista de planta del ST se muestra en la figura 3.4, donde se muestra la distribución de las lagunas en el interior de la Planta de Tratamiento - Lagunas de Oxidación Cachiche, de acuerdo al espacio y terreno brindado con el permiso de la EPS EMAPICA S.A. La captación del agua residual a tratar fue, como muestra la imagen, en la colectora de las lagunas de oxidación, donde aprovechando la caída de nivel y a través de un sistema de tuberías de PVC poder llevar el agua residual hacia la laguna anaerobia, y luego del tratamiento primario, llevar a cabo el tratamiento por fitodepuración en las tres lagunas secundarias. Asimismo, en las figuras 3.5 y 3.6, se muestran las ubicaciones interior y exterior del sistema de tratamiento, respectivamente.

Figura 3.4. Plano del Sistema de Tratamiento



**Figura 3.5.** *Ubicación interior del ST*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 3.6.** *Ubicación exterior del ST*



*Nota.* Ubicación del ST cercano a las lagunas de oxidación operativas en Cachiche. Obtenido de Google Maps.

### 3.6.2.2.3. Materiales y accesorios para la construcción del ST.

Los materiales que se utilizaron fueron los más accesibles de conseguir y que según las necesidades el proyecto requería, siendo los más importantes los siguientes:

- **Tubería de captación:** tubería de PVC de 2 pulg de 4m de longitud, utilizada para captar el agua residual de la colectora.
- **Tuberías de transporte:** tuberías de PVC de 1 pulg unidas para transportar el agua residual hacia el canal de entrada de la laguna anaerobia. Con una longitud de 3m cada una.
- **Codos:** dos codos de PVC de 2 pulg. Uno para la tubería de captación, y otro para el canal de entrada hacia la laguna anaerobia.
- **Te simple:** de PVC de 1 pulg, utilizada para medir el caudal de ingreso al sistema de tratamiento, en el llenado de la laguna anaerobia.
- **Válvulas simples:** tres válvulas de PVC de 2 pulg, utilizadas para controlar y medir el caudal de ingreso.
- **Canal de entrada:** elaborada a partir del corte transversal de una tubería de PVC de 4 pulg, la cual recibe el agua proveniente de las tuberías de transporte y la vierte en la laguna anaerobia.
- **Malla acerada:** malla filtro de color verde con aberturas de 1cm, puesta en el canal de entrada para separar los sólidos mayores a 1cm durante el llenado de la laguna anaerobia.
- **Plástico reforzado:** plancha de plástico impermeable de 4m x 4m (ancho x largo), para cubrir las superficies de las lagunas secundarias.
- **Plástico impermeable:** dos planchas de plástico unidas de 5m x 9m (ancho x largo) cada una, para cubrir las superficie de la laguna primaria.

- **Regla de aluminio:** regla de 3m de longitud utilizada en la construcción de las lagunas anaerobia y secundaria.
- **Material de concreto:** Cemento, arena y ripio, utilizados en la construcción de las lagunas anaerobia y secundaria.
- **Accesorios:** lampas, pico, cordel, reducciones, pegamento, estacas y otros.

#### 3.6.2.2.4. Instalación del sistema de pretratamiento del proyecto.

El dimensionamiento y construcción del sistema de pretratamiento, se hizo teniendo en cuenta las condiciones del terreno disponible, la cual implicaba analizar cuál debía ser el camino y la trayectoria más accesible para transportar el agua residual desde la colectora hacia la laguna anaerobia, para su tratamiento primario.

Para ello, se decidió captar el agua residual con una tubería de PVC de 2" conectada a la colectora, para que así, de todos los sólidos que llegaban allí, sólo los de diámetro menor o igual a 5.08cm (equivalente a 2") pasaran al sistema de tratamiento. De esta forma, la misma tubería actuaría como un primer filtro.

La pendiente  $S$  de un canal se expresa de modos diferentes. Para pendientes pequeñas, es más práctico utilizar  $h/L$ , donde  $h$  es la caída vertical y  $L$  es la longitud del canal. Lo normal es que la magnitud de la pendiente de los cauces naturales y estructuras de drenaje sea muy pequeña, con un valor común de  $0.001=0.1\%$  (Mott R., 2013).

La longitud de la tubería de 2" para este tramo fue de 4m y la altura de 0.32m. Por lo tanto, la pendiente utilizada, que corresponde a la altura con relación a la longitud ( $h/L$ ) fue de 8%, en este tramo. En la figura 3.7, se muestra el trabajo realizado en la puesta de la tubería de 2".

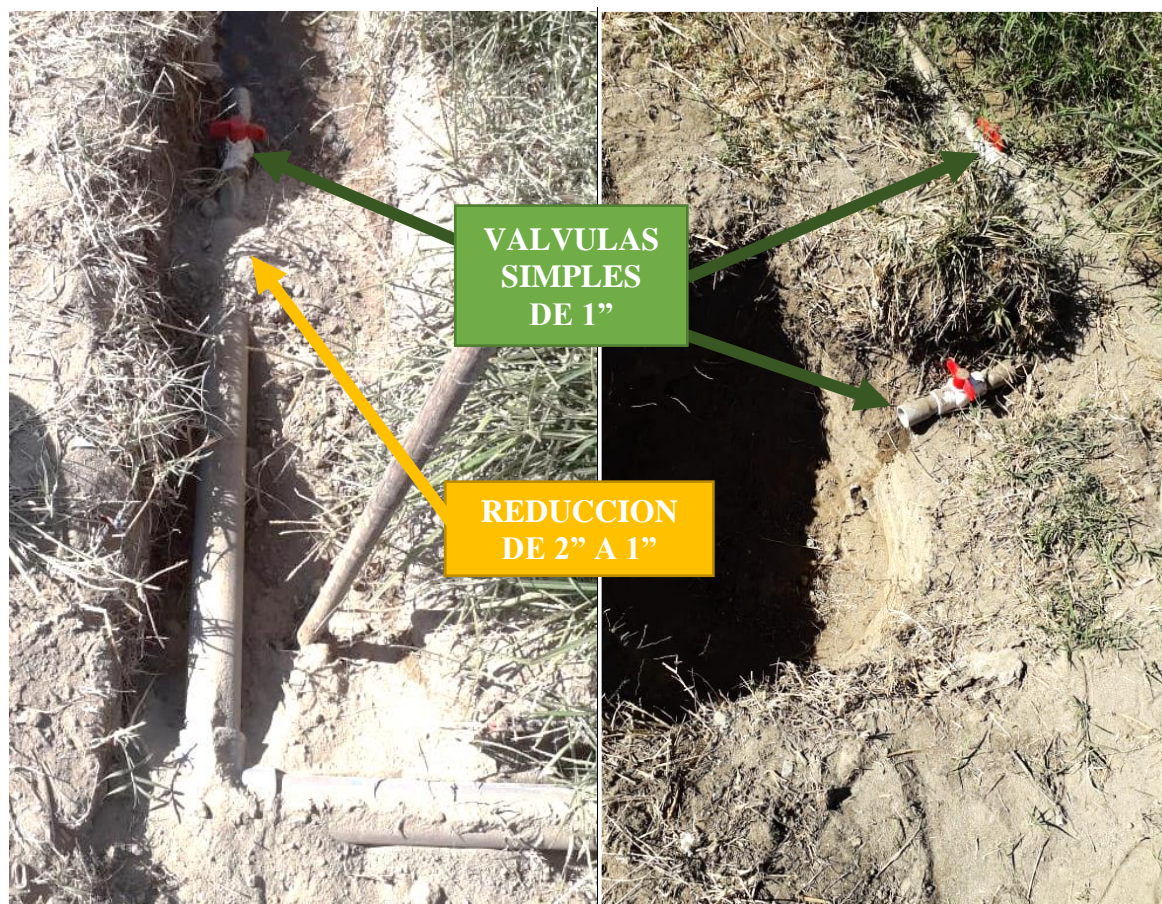
**Figura 3.7.** Colocación de la tubería de captación



*Nota.* A la izquierda, realización de una zanja cerca a la colectora de las lagunas de oxidación. A la derecha, colocación de la tubería de captación de 2", desde la colectora.

Luego de puesta la tubería de 2" se procedió a continuar el transporte del agua reduciendo el diámetro de la tubería a 1", para lo cual se colocó una reducción simple de 2 a 1, y luego de un tramo, una válvula simple de 1". Luego, con la ayuda de una Te simple de 1" y otras dos válvulas simples de 1" se procedió a colocar una ramificación, que posteriormente funcionó como un punto de control para la medición del caudal de entrada. Las válvulas aquí puestas ayudaron en la toma de dicha medición. Lo que sigue en este sistema de pretratamiento, es una serie de tuberías unidas de 1", hasta el canal de entrada a la laguna anaerobia. La figura 3.8 muestra la colocación de este punto de control.

**Figura 3.8.** Colocación de reducción simple y válvulas de control



*Nota.* A la izquierda, colocación de la reducción simple de 2 a 1", seguido después por una válvula simple de 1" justo antes de la colocación del punto de control para la medición del caudal. A la derecha, punto de control del caudal de entrada, donde se colocaron dos válvulas simples de 1".

Fueron 7 tuberías de 1" (3m cada una) las que se unieron, junto a 2 codos simples de 1". La pendiente utilizada, que corresponde a la altura con relación a la longitud de la trayectoria de dicha serie de tuberías ( $h/L$ ) fue de 1%. Ello corresponde en todo este tramo hasta llegar al canal de entrada. La longitud total de esta serie de tuberías, desde la colectora hasta el canal de entrada a la laguna primaria (anaerobia) es de 21 m.

**Figura 3.9.** Colocación de tuberías de transporte de 1 pulgada



*Nota.* Línea azul que describe la trayectoria por donde se transportó el agua residual a través de la serie de tuberías unidas de 1\", hasta llegar al canal de entrada a la laguna anaerobia.

Al llegar al canal de entrada a la laguna anaerobia, el agua discurrirá a través de ésta pasando por un último filtro, la malla acerada. Esta retendrá los sólidos mayores a 1cm. La posición diagonal, como se muestra en la figura 3.11, con un ángulo de  $45^\circ$  con respecto a la horizontal, es igual a la posición que se adopta con las rejillas de desbaste de sólidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales a gran escala. Luego de que el agua residual pase por la rejilla, finalmente ingresa a la laguna anaerobia. Cabe recalcar, que el canal de entrada a la laguna se realizó a partir del corte transversal de una tubería de PVC de 4”.

**Figura 3.10.** Colocación del canal de entrada



*Nota.* Colocación del canal de entrada a la laguna anaerobia, y la malla acerada en el medio del canal, que retendrá los sólidos. Línea azul describe la trayectoria de la serie de tuberías unidas de 1”.

**Figura 3.11.** *Colocación de la malla acerada*



*Nota.* La malla acerada mostrada en la figura puesta en el intermedio del canal de entrada con una inclinación de 45°, que funcionará como una rejilla de desbaste de sólidos mayores a 1cm.

#### **3.6.2.2.5. Construcción de laguna anaerobia y lagunas secundarias.**

##### *- Laguna anaerobia*

Para la construcción de la laguna anaerobia, nos basamos en el diseño ya mencionado en el punto 3.6.2.1.1.

Para llevar a cabo la construcción de esta, se contrató a un Ingeniero Civil; quien junto a un grupo de colaboradores, hicieron posible la estructura.

En primer lugar, ubicamos el área (espacio) más apropiada. Así, no afectando la estructura de la planta de tratamiento de las lagunas de oxidación de Cachiche.

En segundo lugar, se delimita el área de terreno a trabajar. En tercer lugar, se excava a ciertas profundidades; luego, se humedece y se espera hasta el día siguiente.

**Figura 3.12.** *Pozo excavado a cierta profundidad, humedecido todo el contorno*



Una vez que ya no hubiese agua (un día después), se procede a excavar, nuevamente hasta ciertas profundidades, humedeciendo, todo el contorno; dando poco a poco forma a la estructura.

**Figura 3.13.** *Laguna anaerobia, con taludes y profundidad definidos*



Así, de esta manera se logró dar la forma con las medidas especificadas, realizando por último, una base de cemento, alrededor y en el fondo de esta.

**Figura 3.14.** *Base de cemento alrededor de esta*



Este proceso de excavar, humedecer, dar forma y realizar bases de cemento, se llevó cabo en un período de cinco días.

**Figura 3.15.** *Laguna anaerobia culminada*



- *Lagunas secundarias*

Se construyeron tres lagunas secundarias, de esta manera se describirá la construcción de una de ellas, siendo semejante la construcción de estas.

En primer lugar, ubicamos el área (espacio) más apropiado. Estas están distanciadas 1.20 metros entre ellas, con el fin de transitar libremente.

En segundo lugar, se delimita el área de terreno a trabajar. En tercer lugar, se excava; luego, se humedece y se espera hasta el día siguiente. Como estas lagunas son de dimensiones más pequeñas, en el primer día se alcanzó la mitad de la profundidad final.

**Figura 3.16.** *Empozando de agua a la laguna, para que los taludes tomen consistencia*



Una vez que ya no hubiese agua, se procede a excavar, nuevamente hasta la profundidad deseada, humedeciendo, todo el contorno; dando poco a poco forma a la estructura.

Entonces, de esta manera se logró dar la forma, con las medidas especificadas, realizando por último, una base de cemento, en el contorno y en el fondo de esta.

**Figura 3.17.** *Ligera base de cemento en el fondo*



Este proceso de excavar, humedecer, dar forma y realizar bases de cemento, se llevó a cabo en un período de dos días.

**Figura 3.18.** *Pozas de lagunas secundarias*



### 3.6.2.2.6. Operación del ST.

Anteriormente ya se mencionó la estructura del pretratamiento, en donde, se encuentra un sistema de tuberías, las cuales hacen posible, el traslado de agua desde la colectora hacia la laguna anaerobia.

Entonces, para la captación, se necesita que el nivel de agua, se encuentre por encima del nivel del sistema de tuberías (cabe acotar, que al momento de la operación, se realizaron los muestreos, de indicadores no e in situ).

**Figura 3.19.** *Nivel de agua residual acorde para la captación de esta*



**Figura 3.20.** *Tres válvulas, en el Sistema de tuberías*



**Figura 3.21.** *Agujero (espacio), para la medición del caudal*



Luego, el agua residual, pasa por un total de tres válvulas, desembocando y atravesando una rejilla (Que tiene como objeto, retener partículas de mayor tamaño al de la rejilla).

**Figura 3.22.** *Agua residual desembocando, para atravesar la rejilla*



**Figura 3.23.** *Retención de partículas, mediante rejillas*



Una vez atravesada la rejilla, el agua se dispone a llenar la laguna anaerobia, la cual posee un plástico, puesto encima, para evitar la percolación. Se deja, llenar hasta 2.70 m de altura efectiva y una altura libre de 30 cm y se cierra la válvula.

**Figura 3.24.** *Agua residual, desembocando en la laguna anaerobia*



El agua estuvo empozada por cinco días (tiempo de residencia). Para, obtener una menor concentración de la  $DBO_5$ , y así, tener una mayor eficiencia en el tratamiento secundario

**Figura 3.25.** *Laguna anaerobia, llenada hasta el nivel adecuado*



Después, de cinco días; se trasvasó, desde la laguna anaerobia hacia las lagunas secundarias (previamente cubiertas con un plástico de color gris, para evitar la percolación). Esto, fue posible con el uso de una motobomba. En esta etapa, se realizaron los muestreos, de indicadores no e in situ.

**Figura 3.26.** *Trasvase de agua residual de la laguna primaria, hacia las lagunas secundarias*



**Figura 3.27.** *Laguna secundaria, con nivel adecuado de agua residual*



**Figura 3.28.** *Lagunas secundarias con niveles adecuados de agua residual*



Se llenaron las lagunas secundarias, hasta el nivel propuesto de 0.90 m; luego, se colocaron las plantas (casi toda la laguna cubierta, siendo la relación de 3.44 Kg de plantas mojadas/m<sup>2</sup> de superficie de agua residual). Dejando 30 cm de altura libre. En esta, el agua se empizó por un período de dieciocho días. En este período, hubo pérdida de agua debido a la evapotranspiración y evaporación natural, esta pérdida fue reemplazada por agua potable y se realizaron muestreos de forma intermitente durante este período del tratamiento secundario. Luego, las plantas que se deterioraban por completo, se cambiaba; y las que no, se removían

las hojas, en mal estado; cuidando siempre que la relación se mantuviera constante, es decir, se reemplazaba por otra de similar masa.

**Figura 3.29.** *Laguna secundaria, cubierta con jacintos de agua*



**Figura 3.30.** *Lagunas secundarias, cubiertas con jacintos de agua*



### **3.6.2.3. Muestreo y monitoreo del afluente doméstico.**

#### **3.6.2.3.1. Monitoreo de indicadores in situ (pH, Temperatura, Conductividad, STD, Salinidad, ORP y Sólidos Sedimentables).**

Para realizar esta etapa del trabajo, primero: Elegimos el tipo de muestreo. Así, optamos por el muestreo compuesto, ya que da una mayor representatividad de la muestra.

El primer punto de muestreo es la colectora de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cachiche.

**Figura 3.31.** *Colectora de la planta de tratamiento de Cachiche*



En este, el punto de muestreo fue a unos 5 cm del tubo (a lo largo) con una profundidad de 5 cm.

**Figura 3.32.** *Captación de agua residual*



Y el segundo punto de muestreo son las lagunas secundarias – fitorremediación. Primero como afluente (en la cual no hay presencia de las plantas)

**Figura 3.33.** *Efluente de la laguna anaerobia*



Tercero como efluente (en la cual hay presencia de las plantas)

**Figura 3.34.** *Aguas residuales sometidas a la fitorremediación*



En estos, los puntos de muestreo fueron iguales. A 5 cm del borde (en medio) y 5 cm de profundidad desde ese punto. Este borde está junto a la laguna primaria.

*Nota.* Se extrae cada 5 minutos una porción de muestra, en sentido horario. Terminando con una vuelta completa.

Cada porción de muestra fue vertida a un recipiente grande. Luego, homogenizamos para tomar una muestra, de esta la dividimos en tres recipientes. Para la realización de estas mediciones, debemos haber verificado el equipo.

**Figura 3.35.** Multiparámetro, con el cual se realiza las mediciones



Teniendo los tres recipientes con muestras, procedemos a introducir el equipo limpio a cada uno, en esta se debe tener en cuenta que al término de análisis de un recipiente se debe limpiar el equipo para introducirla en la siguiente, luego esperamos que el equipo se estabilice para anotar este valor. Entonces, para medir el siguiente parámetro, presionamos la opción MODE y realizamos lo dicho hasta el último parámetro.

Cabe mencionar, que una vez introducido el equipo en un recipiente, se pueden medir todos los parámetros.

**Figura 3.36.** *Medición de parámetros in situ*



*Nota.* Para la limpieza del equipo se usó agua ultrapura (instrumental) y para secarla se usó papel tissue.

De esta manera, obtenemos por triplicado cada parámetro y una mayor confiabilidad en nuestros resultados. Hasta ahora, hemos analizado el pH (sin unidades), temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), TDS (ppm), salinidad (ppm) y ORP (mV).

Ahora, describiremos como determinar los sólidos sedimentables.

El tipo de muestreo, lugares de muestreo y tiempo son las mismas. Sin embargo, no usamos un equipo para determinar esta; ahora solo necesitamos un instrumento llamado cono Imhoff y un soporte universal.

**Figura 3.37.** *Medición de los sólidos sedimentables (SS), mediante un cono Imhoff*



*Nota.* En esta medición se aprecia pocos sólidos sedimentables

Una vez que se tiene el recipiente grande con muestra, se vierte al cono (enjuagando previamente con la muestra); luego, se lleva hasta un litro (marca del cono) y se deja reposar por una hora.

**Figura 3.38.** *Realización de muestreo*



**Figura 3.39.** *Apreciación notoria de sólidos sedimentables*



Una vez cumplido el tiempo, se observa sólidos; se observa el volumen de esta y con este parámetro tenemos una idea de cuánto sólido se forma en el fondo. Las unidades de esta, es: ml de sólidos/L de agua residual-h.

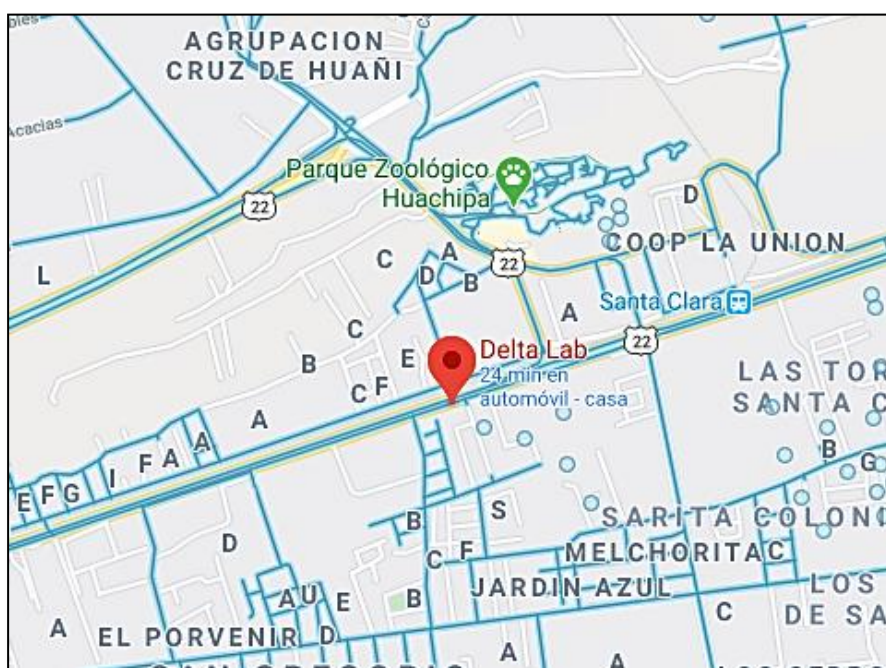
### 3.6.2.3.2. Monitoreo de parámetros evaluados en laboratorio (DBO<sub>5</sub> y SST).

En primer lugar, los puntos a monitorear son los siguientes: Colectora, efluente del tratamiento primario; y efluente del tratamiento secundario (ya mencionados en el punto anterior).

En segundo lugar, elegimos el tipo de muestreo. Así, optamos por el muestreo compuesto, ya que da una mayor representatividad de la muestra.

En esta etapa, las muestras recolectadas, se enviaron a un laboratorio acreditado: **Delta Lab S.A.C.**, además; de tener la acreditación en estas dos técnicas.

**Figura 3.40.** *Ubicación del Laboratorio acreditado*



Así, la empresa nos brindó los envases, condiciones de las muestras a enviar, etiquetas, ice-packs y cadenas de custodia.

**Figura 3.41.** Envases, con sus respectivas etiquetas y rotulados



Para el DBO<sub>5</sub>, el envase; de 1 L, debe estar totalmente lleno de agua residual (sin ninguna burbuja), rotulada con la información solicitada y refrigerada a la temperatura de 4 °C (esto se llevó a cabo usando un cooler, con hielo o ice – packs).

**Figura 3.42.** Cooler, en el cual se transportaron las muestras.



*Nota.* Cuando se llene el envase con agua residual, esta debe ser homogeneizada; antes de ser vertida.

Para los SST, el envase de 0.5 L, en este no es necesario llenar completamente de agua residual, luego, debe estar rotulada y refrigerada a la temperatura de 4 °C

**Figura 3.43.** *Muestra homogenizada, siendo trasvasada al envase, adecuado.*



**Nota.** Para un llenado práctico de los envases, se puede sumergir estas en las muestras recolectadas. Los coolers fueron debidamente rotulados y embalados para el transporte.

Además, para constatar, los valores del laboratorio; se analizaron en TECSUP. Usando así, los siguientes equipos y materiales para el DBO<sub>5</sub>: La incubadora, frascos ámbar, agitador magnético y pellets de hidróxido de potasio.

**Figura 3.44.** *Incubadora, con la cual se mide el valor del DBO<sub>5</sub>.*



**Figura 3.45.** *Compartimiento interno de la incubadora*



## CAPITULO IV: PRESENTACION, ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

### 4.1. Resultados

Los resultados obtenidos en las etapas del procedimiento experimental, se presentan a continuación:

#### 4.1.1. Resultados del muestreo in situ en la colectora.

El agua residual a tratar, fue tomada en la colectora de las Lagunas de Oxidación de Cachiche y transportada a través del sistema antes descrito hacia la laguna anaerobia, para su tratamiento primario. Los siguientes resultados, fueron del análisis de 3 muestras recogidas cada hora en la misma colectora durante el llenado de la laguna primaria.

**Tabla 4.1.** Resultados del muestreo in situ en la colectora de la Lagunas de Oxidación

<b>HORA</b>	<b>pH</b>	<b>CONDUCTIVIDAD (<math>\mu</math>S/cm)</b>	<b>STD (ppm)</b>	<b>SALINIDAD (ppm)</b>	<b>ORP (mV)</b>
<b>09:50 a. m.</b>	7.40	1742	1147	869	-13.90
	7.43	1715	1128	857	-13.80
	7.42	1714	1131	856	-13.50
<b>10:50 a.m.</b>	7.37	1846	1219	923	-10.00
	7.38	1848	1220	924	-11.60
	7.36	1843	1217	921	-10.10
<b>11:50 a.m.</b>	7.29	1837	1213	919	-7.10
	7.30	1839	1211	920	-7.90
	7.20	1906	1257	922	-7.50
<b>12:50 p.m.</b>	7.25	1595	1058	804	-3.20
	7.22	1613	1066	808	-1.20
	7.20	1610	1065	807	-0.90
<b>1:50 p.m.</b>	7.17	1648	1065	809	1.20
	7.17	1641	1085	823	0.90
	7.18	1653	1092	829	0.50
<b>2:35 p.m.</b>	7.20	1630	1091	828	-1.00
	7.10	1672	1107	840	2.00
	7.13	1669	1106	838	3.00

Asímismo, se tomaron muestras cada cierta hora (durante el llenado) para hacer un análisis de Sólidos Sedimentables (SS) y el caudal de entrada a la laguna primaria, las cuales se muestran a continuación.

**Tabla 4.2.** *Resultados del análisis de Sólidos Sedimentables en la colectora*

<b>HORA</b>	<b>SS (ml/L-h)</b>
<b>9:45 - 10:45</b>	4.0
<b>10:45 - 11:45</b>	7.0
<b>11:45 - 12:45</b>	7.0
<b>12:45 - 13:45</b>	5.0
<b>13:45 - 14:45</b>	4.5

*Nota.* El análisis de Sólidos Sedimentables según la metodología aplicada requiere de un tiempo de una hora.

**Tabla 4.3.** *Resultados de la medición del Caudal de entrada*

<b>HORA</b>	<b>CAUDAL (L/20seg)</b>
<b>10:35</b>	14.0
<b>11:35</b>	14.8
<b>12:35</b>	15.0
<b>13:35</b>	15.8

Los resultados de DBO<sub>5</sub> y SST obtenidos en la colectora se muestran a continuación.

**Tabla 4.4.** *Resultados del muestreo de DBO<sub>5</sub> y SST en la colectora*

<b>Parámetro</b>	<b>Hora de Muestreo</b>	<b>Lugar de Muestreo</b>	<b>Resultado (mg/L)</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	16:20	Colectora	496
<b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>	15:40	Colectora	300

#### 4.1.2. Resultados del muestreo insitu en las lagunas secundarias.

Luego del tratamiento primario realizado en la laguna anaerobia, se procedió al tratamiento secundario con *Eichhornia crassipes*. Se tomaron muestras de las tres lagunas secundarias operadas en paralelo de forma idéntica. Ello se llevó a cabo durante 18 días (tiempo en que se realizó el tratamiento secundario), dentro de los cuales se monitorearon 6 días para medir los parámetros tales como: pH, conductividad, salinidad, sólidos totales disueltos (STD), ORP, con la ayuda del equipo multiparámetro, y sólidos sedimentables (SS), con el cono Imhoff.

Los resultados de dichos muestreos se detallan a continuación en las siguientes tablas, considerando que para cada laguna se sacaron tres muestras para posteriormente evaluar su promedio.

**Tabla 4.5.** Resultados del muestreo en las lagunas secundarias el día 15/09/2019

HORA	LAGUNA SECUNDARIA	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	STD (ppm)	SALINIDAD (ppm)	ORP (mV)
<b>11:00 a.m.</b>	N° 1	7.59	1781	1177	892	-19.2
		7.54	1787	1180	894	-17.9
		7.54	1788	1178	893	-18.4
<b>11:15 a.m.</b>	N° 2	7.58	1794	1183	897	-18.3
		7.54	1794	1186	898	-18.4
		7.59	1794	1184	897	-20.0
<b>11:30 a.m.</b>	N° 3	7.59	1767	1169	887	-18.9
		7.55	1783	1179	893	-18.7
		7.63	1779	1174	889	-21.5

Los resultados de la tabla 4.5 se obtuvieron a una temperatura promedio de 24.9°C.

**Tabla 4.6.** Resultados del muestreo en las lagunas secundarias el día 19/09/2019

HORA	LAGUNA SECUNDARIA	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (ppm)	SALINIDAD (ppm)	ORP (mV)
<b>11:00 a.m.</b>	N° 1	7.84	1758	1165	884	-29.0
		7.78	1749	1156	876	-27.2
		7.78	1743	1152	874	-27.1
<b>11:15 a.m.</b>	N° 2	7.67	1737	1149	871	-25.9
		7.77	1741	1150	872	-27.0
		7.8	1744	1153	874	-26.8
<b>11:30 a.m.</b>	N° 3	7.83	1734	1147	870	-29.6
		7.83	1740	1149	872	-29.8
		7.81	1746	1155	875	-28.1

Los resultados de la tabla 4.6 se obtuvieron a una temperatura promedio de 20.9°C.

**Tabla 4.7.** Resultados del muestreo en las lagunas secundarias el día 22/09/2019

HORA	LAGUNA SECUNDARIA	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (ppm)	SALINIDAD (ppm)	ORP (mV)
<b>11:00 a.m.</b>	N° 1	7.95	1646	1089	825	-42.3
		7.91	1662	1097	832	-40.0
		7.91	1662	1096	831	-39.9
<b>11:15 a.m.</b>	N° 2	7.85	1626	1073	815	-37.9
		7.84	1621	1072	812	-37.3
		7.85	1620	1071	811	-37.5
<b>11:30 a.m.</b>	N° 3	7.96	1600	1058	803	-41.5
		7.9	1603	1059	801	-39.9
		7.89	1610	1061	805	-38.9

Los resultados de la tabla 4.7 se obtuvieron a una temperatura promedio de 26.4°C.

**Tabla 4.8.** Resultados del muestreo en las lagunas secundarias el día 26/09/2019

HORA	LAGUNA SECUNDARIA	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	STD (ppm)	SALINIDAD (ppm)	ORP (mV)
11:00 a.m.	N° 1	7.77	1727	1142	867	-25.1
		7.72	1739	1147	870	-22.9
		7.7	1737	1146	870	-21.5
11:15 a.m.	N° 2	7.74	1763	1168	885	-23.8
		7.65	1767	1166	885	-20.0
		7.69	1767	1166	885	-20.1
11:30 a.m.	N° 3	7.74	1725	1141	871	-24.1
		7.75	1745	1152	875	-24.8
		7.74	1742	1151	874	-23.8

Los resultados de la tabla 4.8 se obtuvieron a una temperatura promedio de 22.3°C.

**Tabla 4.9.** Resultados del muestreo en las lagunas secundarias el día 29/09/2019

HORA	LAGUNA SECUNDARIA	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	STD (ppm)	SALINIDAD (ppm)	ORP (mV)
11:00 a.m.	N° 1	7.65	1581	1044	792	-23.0
		7.67	1588	1048	794	-23.2
		7.64	1590	1049	795	-22.6
11:15 a.m.	N° 2	7.64	1548	1021	774	-23.0
		7.66	1549	1021	774	-23.4
		7.68	1550	1023	775	-24.3
11:30 a.m.	N° 3	7.58	1545	1020	773	-19.7
		7.52	1549	1022	774	-19.1
		7.62	1544	1021	773	-20.1

Los resultados de la tabla 4.9 se obtuvieron a una temperatura promedio de 25.0°C.

**Tabla 4.10.** Resultados del muestreo en las lagunas secundarias el día 03/10/2019

HORA	LAGUNA SECUNDARIA	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	STD (ppm)	SALINIDAD (ppm)	ORP (mV)
11:00 a.m.	N° 1	7.88	1553	1028	782	-19.4
		7.89	1558	1032	783	-20.3
		7.95	1548	1026	780	-24.8
11:15 a.m.	N° 2	7.88	1626	1077	817	-21.4
		8.02	1618	1073	814	-25.8
		7.91	1622	1071	812	-22.8
11:30 a.m.	N° 3	7.92	1593	1054	799	-23.2
		7.94	1597	1055	800	-23.6
		7.89	1591	1052	799	-20.4

Los resultados de la tabla 4.10 se obtuvieron a una temperatura promedio de 22.9°C.

Por otro lado, el análisis de sólidos sedimentables se realizó también en los días que se realizó el muestreo insitu con el equipo multiparámetro, en cada uno de los 6 días. Los resultados de dichos muestreos se detallan a continuación en las siguientes tablas, considerando que para cada laguna se extrajo una sola muestra y que el análisis se realiza dejando en reposo la muestra durante una hora.

**Tabla 4.11.** Resultados del muestreo de SS en las lagunas secundarias el día 15/09/2019

HORA	LAGUNA SECUNDARIA	SS (ml/L-h)
10:15 - 11:15	N° 1	0.02
11:20 - 12:20	N° 2	0.03
12:25 - 13:25	N° 3	0.02

**Tabla 4.12.** *Resultados del muestreo de SS en las lagunas secundarias el día 19/09/2019*

<b>HORA</b>	<b>LAGUNA SECUNDARIA</b>	<b>SS (ml/L-h)</b>
<b>10:40 - 11:40</b>	N° 1	0.30
<b>11:50 - 12:50</b>	N° 2	0.35
<b>13:15 - 14:15</b>	N° 3	0.40

**Tabla 4.13.** *Resultados del muestreo de SS en las lagunas secundarias el día 22/09/2019*

<b>HORA</b>	<b>LAGUNA SECUNDARIA</b>	<b>SS (ml/L-h)</b>
<b>09:10 - 10:10</b>	N° 1	0.00
<b>10:10 - 11:10</b>	N° 2	0.00
<b>11:10 - 12:10</b>	N° 3	0.00

**Tabla 4.14.** *Resultados del muestreo de SS en las lagunas secundarias el día 26/09/2019*

<b>HORA</b>	<b>LAGUNA SECUNDARIA</b>	<b>SS (ml/L-h)</b>
<b>10:45 - 11:45</b>	N° 1	0.00
<b>11:50 - 12:50</b>	N° 2	0.00
<b>13:00 - 14:00</b>	N° 3	0.00

**Tabla 4.15.** *Resultados del muestreo de SS en las lagunas secundarias el día 29/09/2019*

<b>HORA</b>	<b>LAGUNA SECUNDARIA</b>	<b>SS (ml/L-h)</b>
<b>09:36 - 10:36</b>	N° 1	0.00
<b>10:38 - 11:38</b>	N° 2	0.00
<b>11:40 - 12:40</b>	N° 3	0.00

**Tabla 4.16.** Resultados del muestreo de SS en las lagunas secundarias el día 03/10/2019

HORA	LAGUNA SECUNDARIA	SS (ml/L-h)
10:30 - 11:30	N° 1	0.00
11:30 -12:30	N° 2	0.00
12:45 - 13:45	N° 3	0.00

#### 4.1.3. Resultados del muestreo de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias.

Los análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), como ya se mencionó anteriormente, se realizaron en un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), los cuales dieron los siguientes resultados detallados en las siguientes tablas, para cada uno de los días en que se realizaron.

**Tabla 4.17.** Resultados del análisis de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias el día 15/09/2019

Parámetro	Hora de Muestreo	Lugar de Muestreo	Resultado
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	15:46	L.S. N° 1	293
<b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>	14:20	L.S. N° 1	14
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	14:46	L.S. N° 2	322
<b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>	14:22	L.S. N° 2	23
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	15:30	L.S. N° 3	252
<b>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</b>	15:12	L.S. N° 3	4

Nota. Las siglas L.S. significan: Laguna Secundaria

**Tabla 4.18.** Resultados del análisis de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias el día

19/09/2019

<b>Parámetro</b>	<b>Hora de Muestreo</b>	<b>Lugar de Muestreo</b>	<b>Resultado</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	13:03	L.S. N° 1	259
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	12:20	L.S. N° 1	60
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	13:18	L.S. N° 2	261
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	13:32	L.S. N° 2	32
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	13:56	L.S. N° 3	241
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	14:08	L.S. N° 3	28

Nota. Las siglas L.S. significan: Laguna Secundaria

**Tabla 4.19.** Resultados del análisis de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias el día

22/09/2019

<b>Parámetro</b>	<b>Hora de Muestreo</b>	<b>Lugar de Muestreo</b>	<b>Resultado</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	12:25	L.S. N° 1	171
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	12:00	L.S. N° 1	36
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	12:55	L.S. N° 2	177
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	12:40	L.S. N° 2	28
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	13:11	L.S. N° 3	160
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	13:30	L.S. N° 3	48

Nota. Las siglas L.S. significan: Laguna Secundaria

**Tabla 4.20.** Resultados del análisis de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias el día

26/09/2019

<b>Parámetro</b>	<b>Hora de Muestreo</b>	<b>Lugar de Muestreo</b>	<b>Resultado</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	15:00	L.S. N° 1	92
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	15:20	L.S. N° 1	18
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	13:55	L.S. N° 2	99
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	14:15	L.S. N° 2	12
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	14:25	L.S. N° 3	88
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	14:50	L.S. N° 3	16

Nota. Las siglas L.S. significan: Laguna Secundaria

**Tabla 4.21.** Resultados del análisis de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias el día

29/09/2019

<b>Parámetro</b>	<b>Hora de Muestreo</b>	<b>Lugar de Muestreo</b>	<b>Resultado</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	12:25	L.S. N° 1	30
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	12:45	L.S. N° 1	6
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	14:00	L.S. N° 2	27
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	13:10	L.S. N° 2	6
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	13:30	L.S. N° 3	28
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	13:53	L.S. N° 3	6

Nota. Las siglas L.S. significan: Laguna Secundaria

**Tabla 4.22.** Resultados del análisis de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias el día

03/10/2019

Parámetro	Hora de Muestreo	Lugar de Muestreo	Resultado
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	13:30	L.S. N° 1	43
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	14:24	L.S. N° 1	43
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	15:15	L.S. N° 2	44
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	15:30	L.S. N° 2	12
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	15:45	L.S. N° 3	46
<b>Sólidos Suspendedos Totales (SST)</b>	16:15	L.S. N° 3	10

Nota. Las siglas L.S. significan: Laguna Secundaria

## 4.2. Análisis de resultados

### 4.2.1. Análisis del muestreo in situ en la colectora.

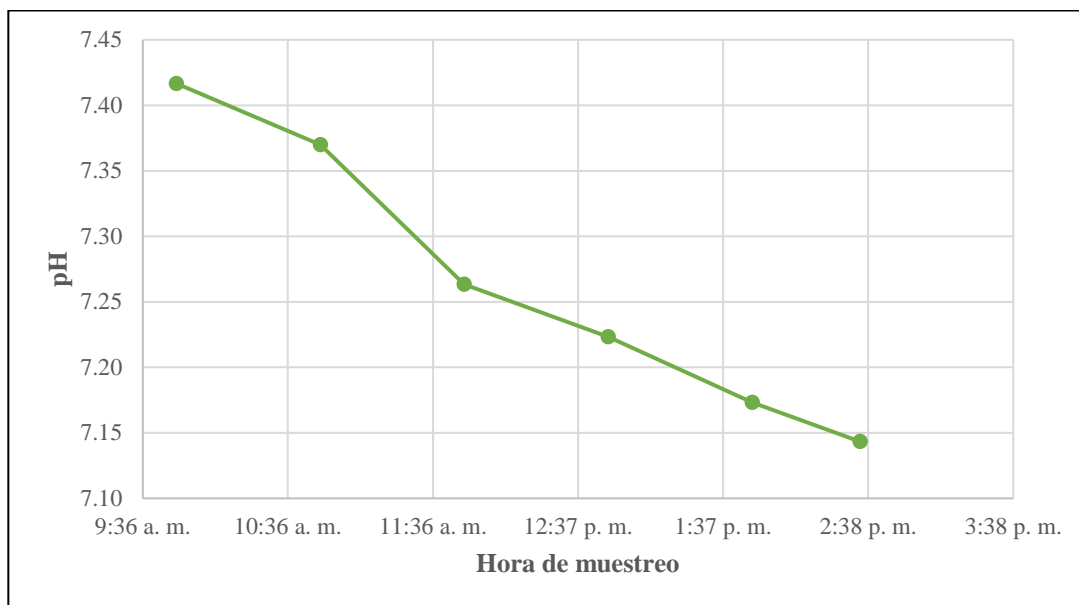
En primer lugar, se realiza el análisis de los resultados provenientes del muestreo in situ en la colectora, calculando el promedio de las 3 muestras analizadas cada hora.

**Tabla 4.23.** Promedios de los resultados del análisis del muestreo in situ en la colectora

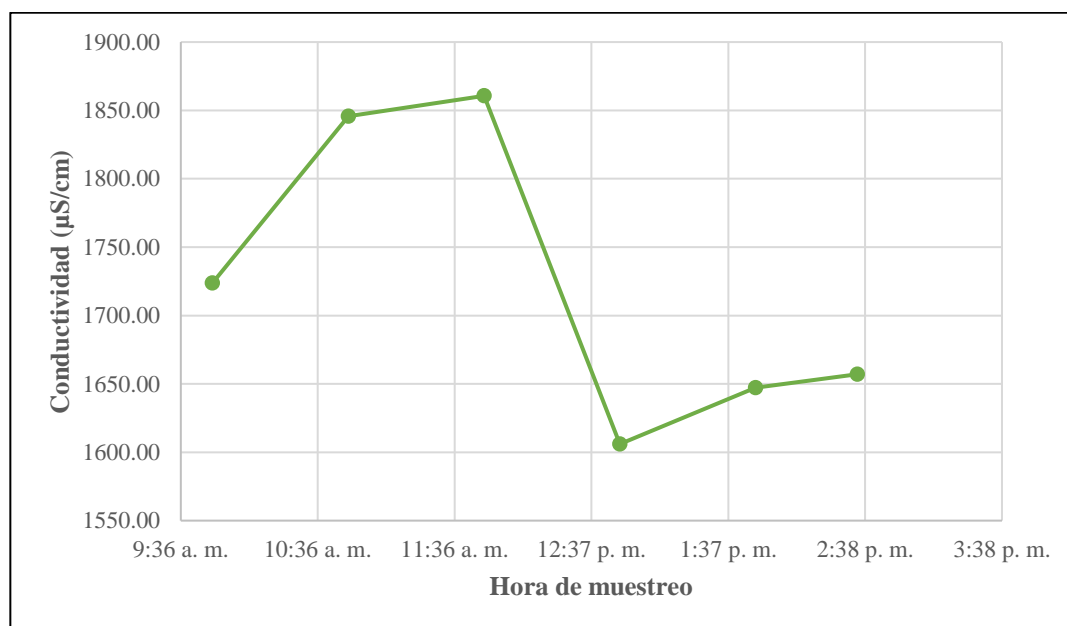
HORA	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	STD (ppm)	SALINIDAD (ppm)	ORP (mV)
<b>9:50 a. m.</b>	7.42	1723.67	1135.33	860.67	-13.73
<b>10:50 a.m.</b>	7.37	1845.67	1218.67	922.67	-10.57
<b>11:50 a.m.</b>	7.26	1860.67	1227.00	920.33	-7.50
<b>12:50 p.m.</b>	7.22	1606.00	1063.00	806.33	-1.77
<b>1:50 p.m.</b>	7.17	1647.33	1080.67	820.33	0.87
<b>2:35 p.m.</b>	7.14	1657.00	1101.33	835.33	1.33

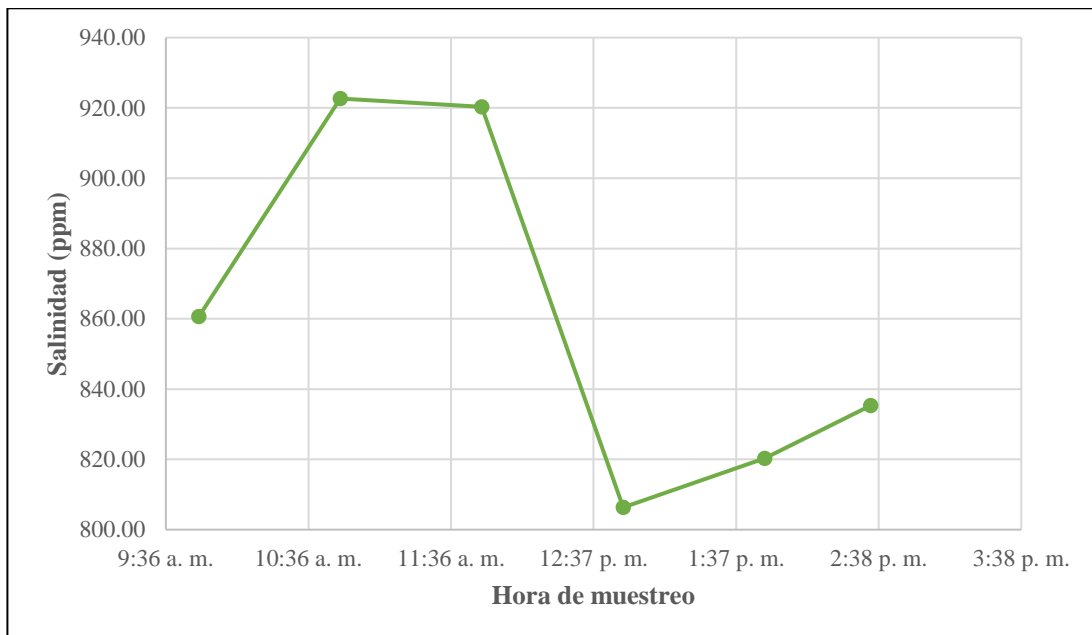
Asímismo, en las siguientes figuras se observa la variación de cada uno de los parámetros, considerando los promedios calculados en cada hora de muestreo.

**Figura 4.1.** Variación en el tiempo del pH en la colectora



**Figura 4.2.** Variación en el tiempo de la conductividad en la colectora



**Figura 4.3.** Variación en el tiempo de STD en la colectora**Figura 4.4.** Variación en el tiempo de la salinidad en la colectora

**Figura 4.5.** Variación en el tiempo de ORP en la colectora



En la figura 4.1 se observa la variación del pH, la cual en todo momento permaneció con valores que corresponden a un nivel ligeramente básico (casi neutro). Además, se muestra que dichos valores fueron disminuyendo (por consiguiente, volviéndose más ácido) desde el valor más alto (pH=7.42), que se verificó al empezar el llenado de la laguna, hasta el valor más bajo (pH=7.14), al término del llenado.

En las figuras 4.2, 4.3 y 4.4, se observa que la variación en el tiempo de la conductividad, el STD y la salinidad respectivamente, son casi idénticas. En el inicio de la ejecución del sistema de tratamiento, casualmente presentaron un valor promedio para cada parámetro, que luego fue aumentando hasta llegar a su valor máximo al promediar las 12 del mediodía. Luego, estos valores fueron disminuyendo una hora más tarde (aproximadamente a la 1p.m.), para que en el último tramo del llenado se incrementaran solo ligeramente. Es probable que estas variaciones puedan responder a cambios en las actividades humanas durante el día y sus consecuentes residuos vertidos al desagüe que provoca una variación en los parámetros.

En la figura 4.5 se muestra la variación de ORP, la cual, durante todo el tiempo de llenado de la laguna anaerobia, sus valores fueron creciendo constantemente. Al inicio, su valor fue en promedio -13.73, la cual indica que el agua residual presentaba condiciones con escaso oxígeno disuelto, y al término llegó a un valor promedio de 1.33, lo cual indica que el agua residual en ese momento (aproximadamente 2:30 pm) presentaba características aerobias.

Tomando los resultados promedios desde el inicio hasta el término de llenado de la laguna anaerobia, se calculan los promedios totales para cada parámetro medido.

**Tabla 4.24.** *Promedios totales de los parámetros evaluados en la colectora*

<b>Parámetro</b>	<b>Promedio Final</b>
<b>pH</b>	7.27
<b>CONDUCTIVIDAD (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>	1723.39
<b>STD (ppm)</b>	1137.67
<b>SALINIDAD (ppm)</b>	860.94
<b>ORP (mV)</b>	-5.23
<b>Sólidos Sedimentables (ml/L-h)</b>	5.50
<b>Caudal de entrada (L/s)</b>	14.90

En la tabla 4.24, se presentan los resultados promedios de los parámetros medidos con el equipo multiparámetro y, además, el promedio de la medición de sólidos sedimentables y el caudal de entrada a la laguna anaerobia.

#### **4.2.2. Análisis del muestreo insitu en las lagunas secundarias.**

Para el análisis de los resultados del muestreo en las lagunas secundarias, se procede a calcular el valor promedio de las tres muestras analizadas en cada laguna, en los seis días que se hizo el muestro. Las siguientes tablas muestran dichos promedios:

**Tabla 4.25.** Promedios de los parámetros evaluados el día 15/09/2019

<b>LAGUNA SECUNDARIA</b>	<b>pH</b>	<b>CONDUCTIVIDAD (μS/cm)</b>	<b>STD (ppm)</b>	<b>SALINIDAD (ppm)</b>	<b>ORP (mV)</b>
N° 1	7.56	1785.33	1178.33	893.00	-18.50
N° 2	7.57	1794.00	1184.33	897.33	-18.90
N° 3	7.59	1776.33	1174.00	889.67	-19.70

**Tabla 4.26.** Promedios de los parámetros evaluados el día 19/09/2019

<b>LAGUNA SECUNDARIA</b>	<b>pH</b>	<b>CONDUCTIVIDAD (μS/cm)</b>	<b>STD (ppm)</b>	<b>SALINIDAD (ppm)</b>	<b>ORP (mV)</b>
N° 1	7.80	1750.00	1157.67	878.00	-27.77
N° 2	7.75	1740.67	1150.67	872.33	-26.57
N° 3	7.82	1740.00	1150.33	872.33	-29.17

**Tabla 4.27.** Promedios de los parámetros evaluados el día 22/09/2019

<b>LAGUNA SECUNDARIA</b>	<b>pH</b>	<b>CONDUCTIVIDAD (μS/cm)</b>	<b>STD (ppm)</b>	<b>SALINIDAD (ppm)</b>	<b>ORP (mV)</b>
N° 1	7.92	1656.67	1094.00	829.33	-40.72
N° 2	7.85	1622.33	1072.00	812.67	-37.57
N° 3	7.92	1604.33	1059.33	803.00	-40.10

**Tabla 4.28.** Promedios de los parámetros evaluados el día 26/09/2019

<b>LAGUNA SECUNDARIA</b>	<b>pH</b>	<b>CONDUCTIVIDAD (μS/cm)</b>	<b>STD (ppm)</b>	<b>SALINIDAD (ppm)</b>	<b>ORP (mV)</b>
N° 1	7.73	1734.33	1145.00	869.00	-23.17
N° 2	7.69	1765.67	1166.67	885.00	-21.30
N° 3	7.74	1737.33	1148.00	873.33	-24.23

**Tabla 4.29.** Promedios de los parámetros evaluados el día 29/09/2019

LAGUNA SECUNDARIA	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (ppm)	SALINIDAD (ppm)	ORP (mV)
N° 1	7.65	1586.33	1047.00	793.67	-22.93
N° 2	7.66	1549.00	1021.67	774.33	-23.57
N° 3	7.57	1546.00	1021.00	773.33	-19.63

**Tabla 4.30.** Promedios de los parámetros evaluados el día 03/10/2019

LAGUNA SECUNDARIA	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (ppm)	SALINIDAD (ppm)	ORP (mV)
N° 1	7.91	1553.00	1028.67	781.67	-21.50
N° 2	7.94	1622.00	1073.67	814.33	-23.33
N° 3	7.92	1593.67	1053.67	799.33	-22.40

Luego de calculados los promedios para cada laguna secundaria, se procede a analizar la variación de cada uno de los parámetros (medidos con el equipo multiparámetro) en el tiempo para cada una de las lagunas, tomando los resultados mostrados desde la tabla 4.25 hasta la tabla 4.30.

Considerando que el día del llenado de la laguna anaerobia ( $t = 1$  día), fue la puesta en marcha del sistema de tratamiento, y que luego del tiempo de retención en dicha laguna (5 días), se procedió con el tratamiento secundario en las lagunas secundarias. Esto último comenzó en el día 6 (que corresponde en fecha al 15/09/2019) y terminó en el día 24 (correspondiente en fecha al 03/10/2019), fecha de culminación del sistema de tratamiento.

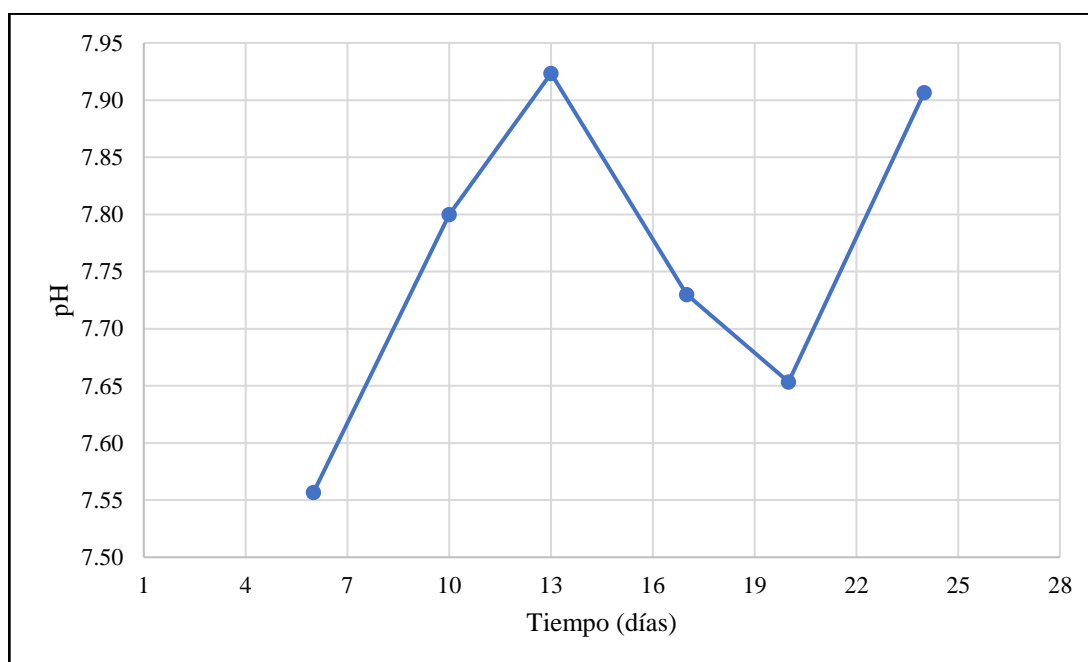
#### **4.2.2.1. Análisis de la variación de los parámetros en el tiempo de la laguna secundaria N° 1.**

En las siguientes tablas, se agrupan los resultados promedios calculados anteriormente desde  $t = 6$  días hasta  $t = 24$  días (período de 18 días que duró el tratamiento secundario), para la laguna secundaria N° 1.

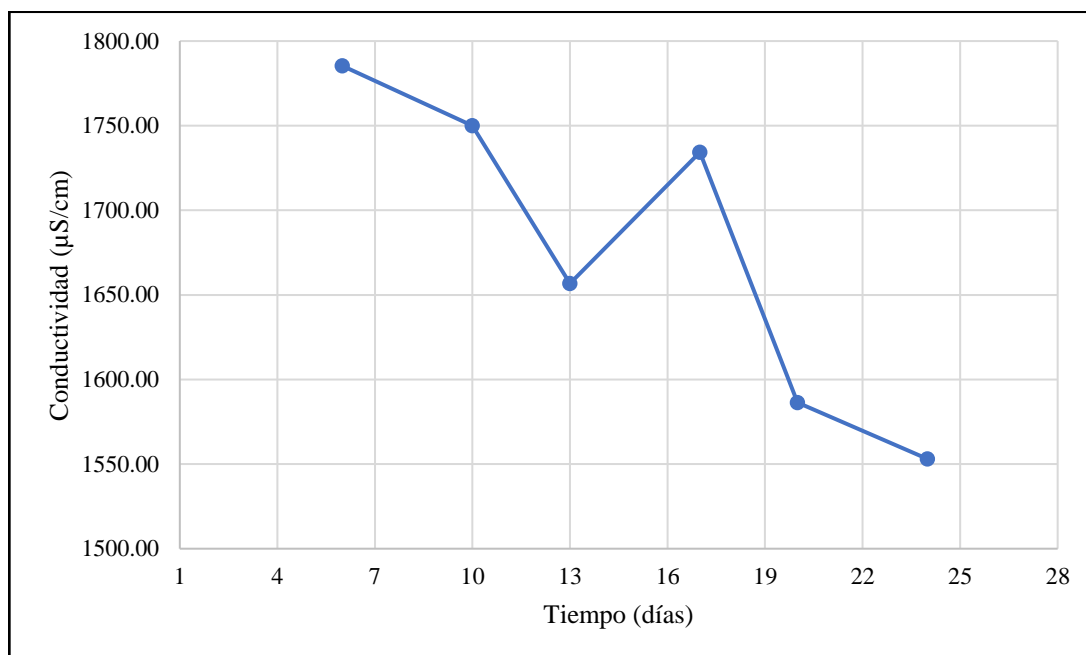
**Tabla 4.31.** Variación de los parámetros durante el tratamiento secundario en la L.S N° 1

Tiempo (días)	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S/cm}$ )	STD (ppm)	SALINIDAD (ppm)	ORP (mV)
6	7.56	1785.33	1178.33	893.00	-18.50
10	7.80	1750.00	1157.67	878.00	-27.77
13	7.92	1656.67	1094.00	829.33	-40.72
17	7.73	1734.33	1145.00	869.00	-23.17
20	7.65	1586.33	1047.00	793.67	-22.93
24	7.91	1553.00	1028.67	781.67	-21.50

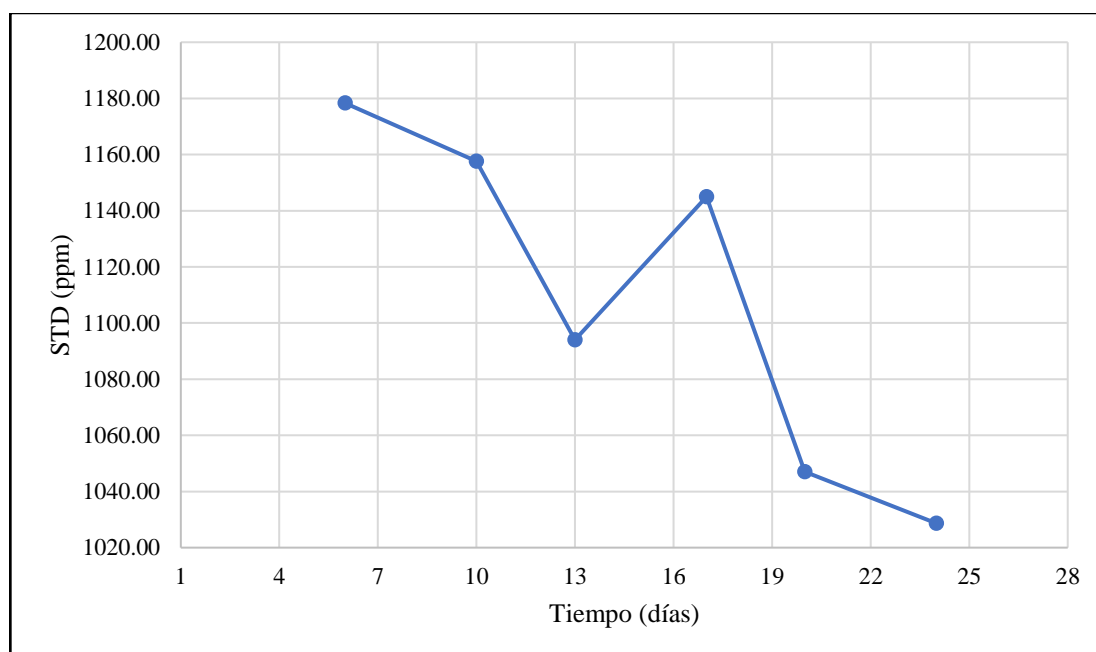
En las siguientes figuras se mostrarán la variación de cada uno de los parámetros en el tiempo durante el tratamiento secundario.

**Figura 4.6.** Variación de pH en la laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario

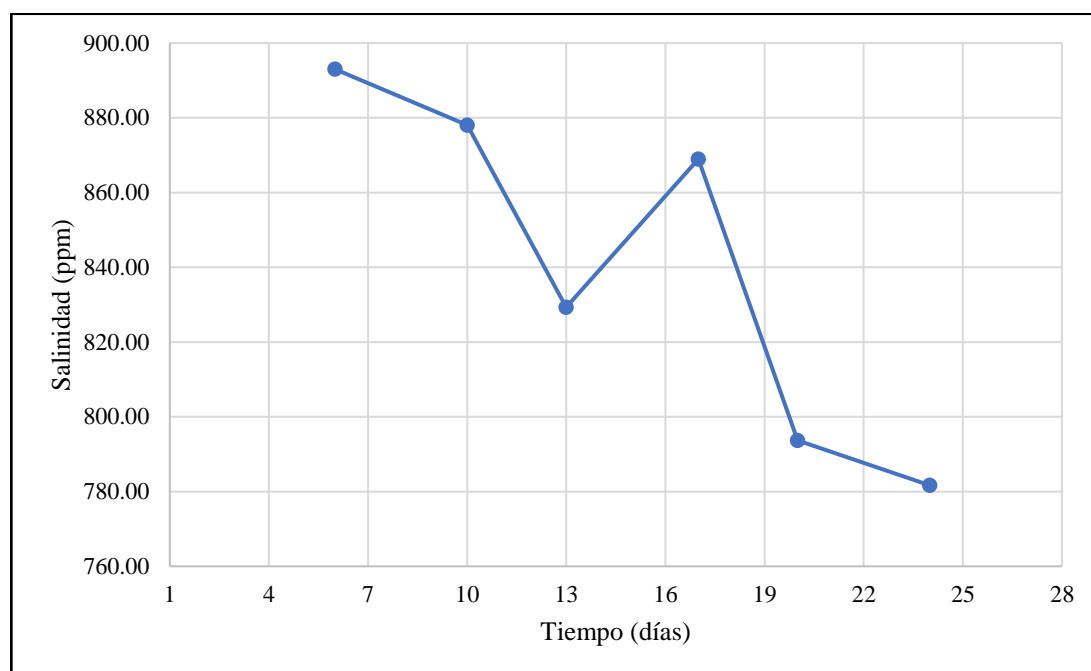
**Figura 4.7.** Variación de la conductividad en laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario



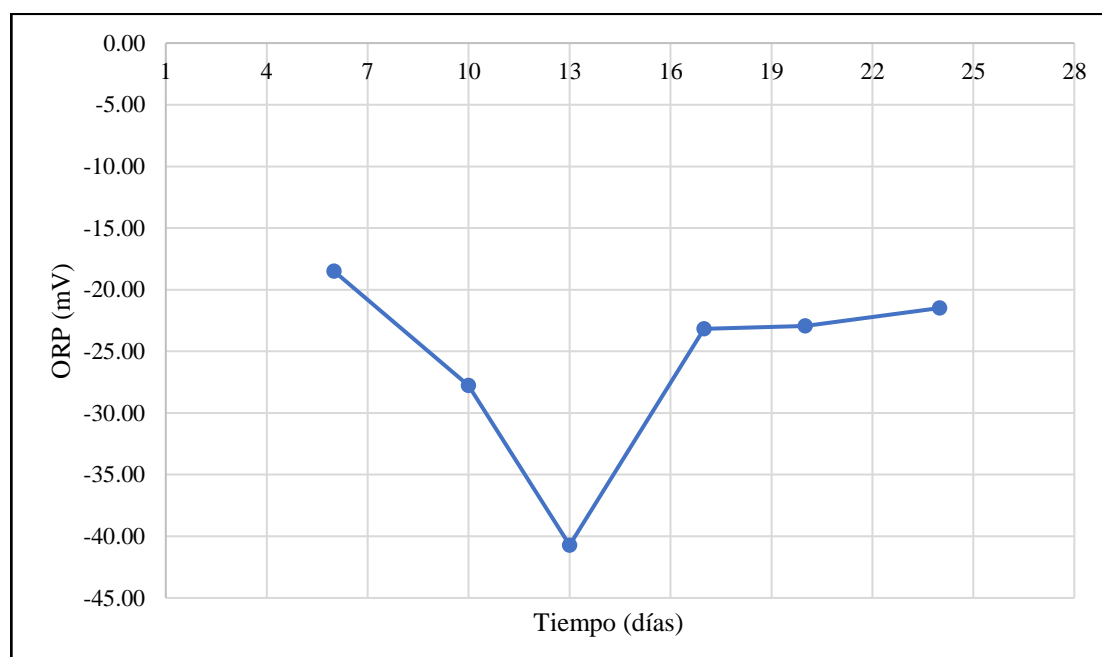
**Figura 4.8.** Variación de STD en la laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario



**Figura 4.9.** Variación de la salinidad en la laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario



**Figura 4.10.** Variación de ORP en la laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario



#### 4.2.2.2. Análisis de la variación de los parámetros en el tiempo de la laguna secundaria N° 2.

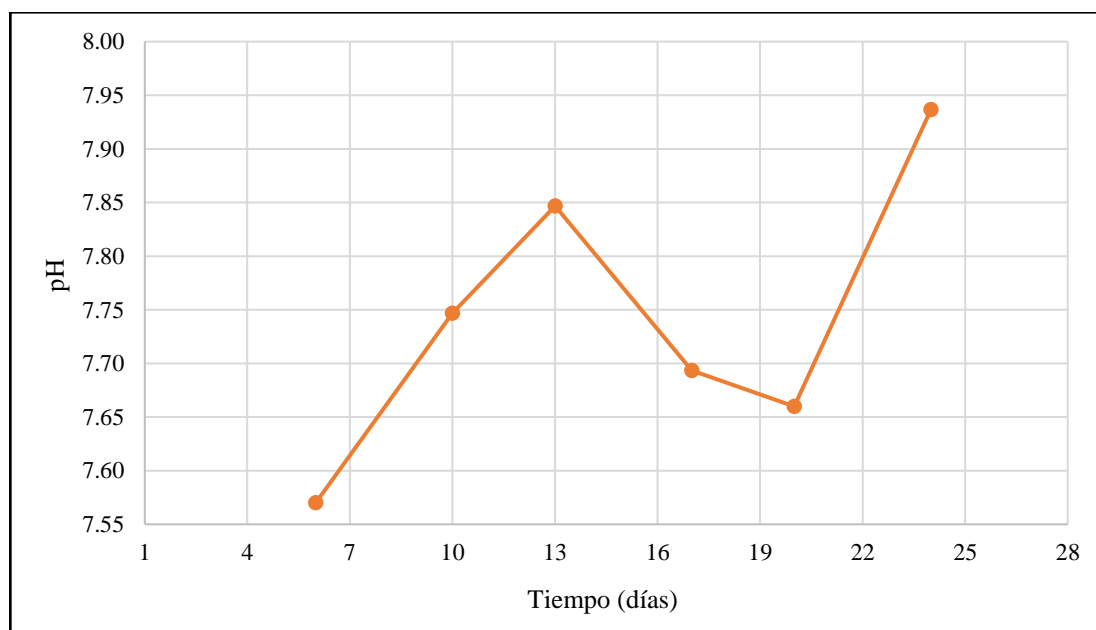
En las siguientes tablas, se agrupan los resultados promedios calculados anteriormente desde  $t = 6$  días hasta  $t = 24$  días (período de 18 días que duró el tratamiento secundario), para la laguna secundaria N° 2.

**Tabla 4.32.** Variación de los parámetros durante el tratamiento secundario en la L.S N° 2

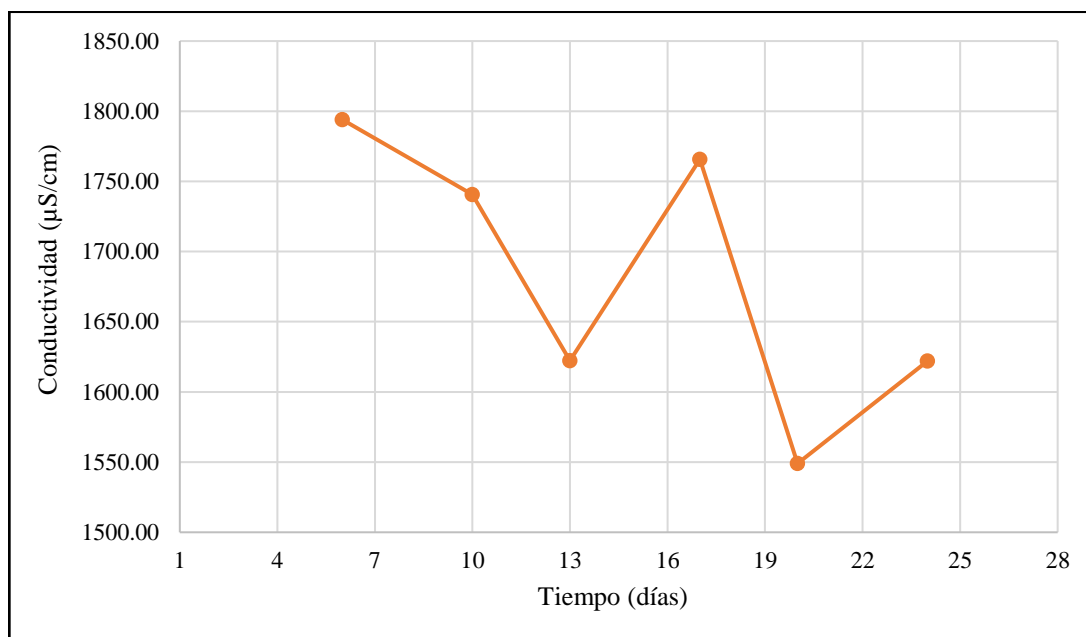
Tiempo (días)	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	STD (ppm)	SALINIDAD (ppm)	ORP (mV)
6	7.57	1794.00	1184.33	897.33	-18.90
10	7.75	1740.67	1150.67	872.33	-26.57
13	7.85	1622.33	1072.00	812.67	-37.57
17	7.69	1765.67	1166.67	885.00	-21.30
20	7.66	1549.00	1021.67	774.33	-23.57
24	7.94	1622.00	1073.67	814.33	-23.33

En las siguientes figuras se mostrarán la variación de cada uno de los parámetros en el tiempo durante el tratamiento secundario.

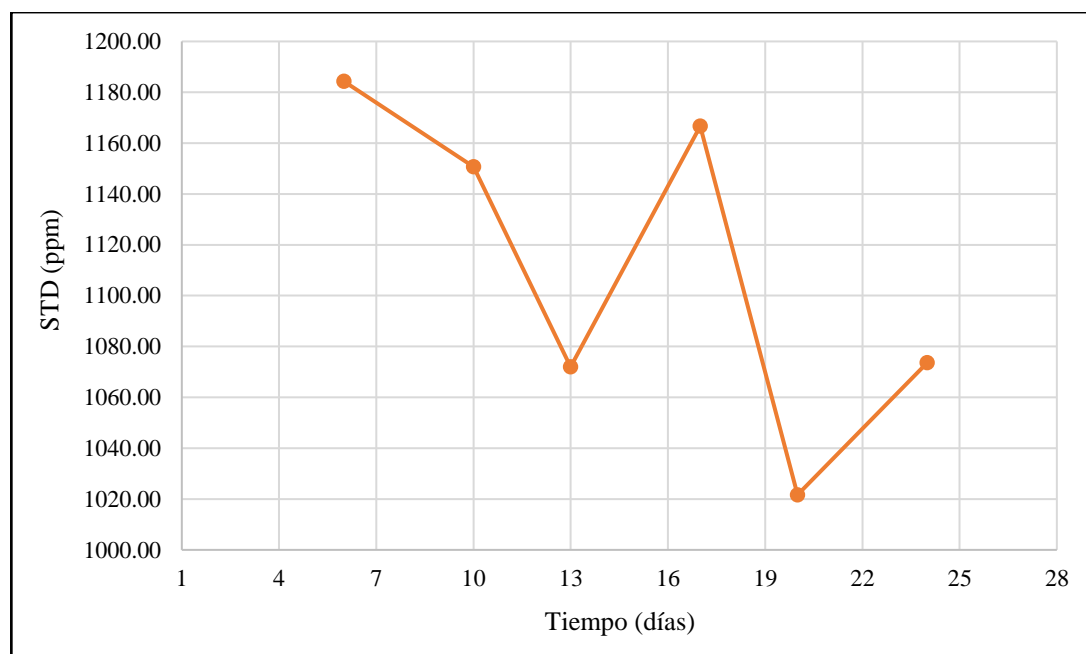
**Figura 4.11.** Variación de pH en la laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario



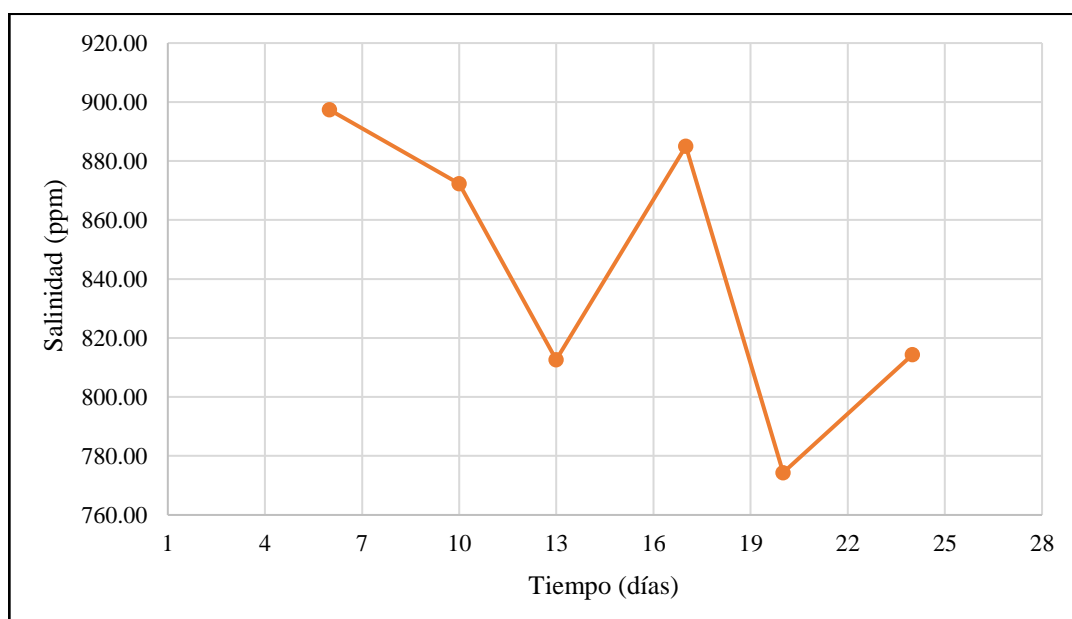
**Figura 4.12.** Variación de la conductividad en laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario



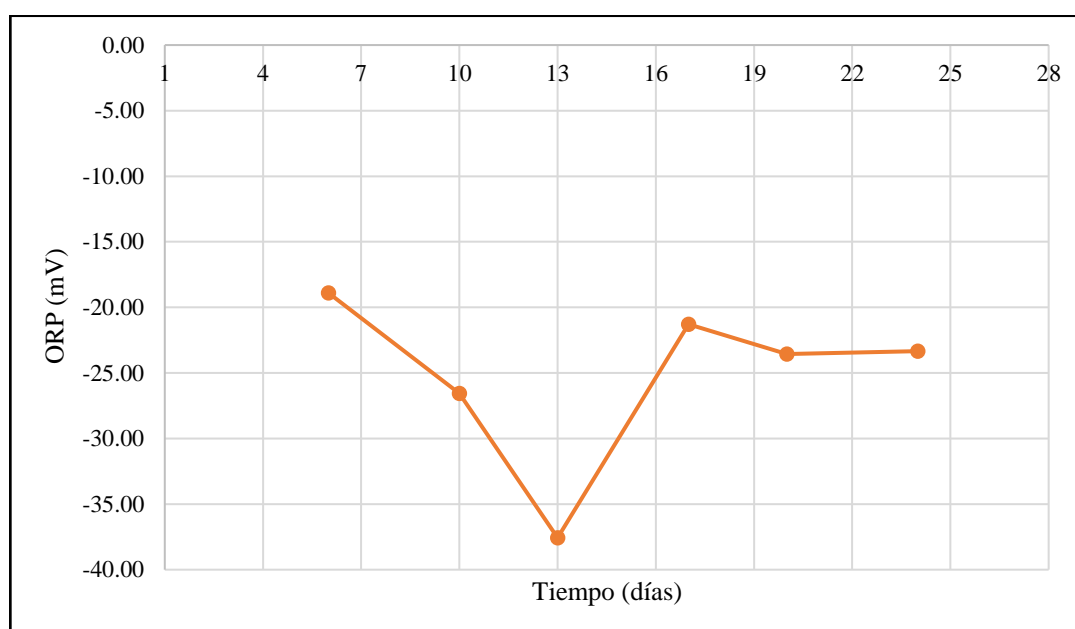
**Figura 4.13.** Variación de STD en la laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario



**Figura 4.14.** Variación de la salinidad en la laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario



**Figura 4.15.** Variación de ORP en la laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario



#### 4.2.2.3. Análisis de la variación de los parámetros en el tiempo de la laguna secundaria N° 3.

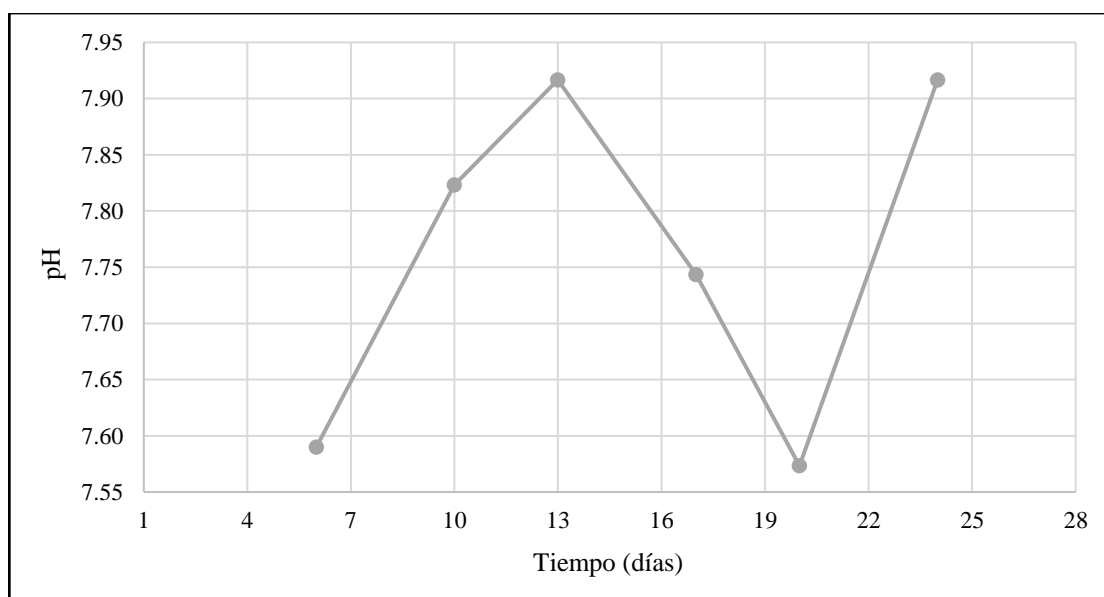
En las siguientes tablas, se agrupan los resultados promedios calculados anteriormente desde  $t = 6$  días hasta  $t = 24$  días (período de 18 días que duró el tratamiento secundario), para la laguna secundaria N° 3.

**Tabla 4.33.** Variación de los parámetros durante el tratamiento secundario en la L.S N° 3.

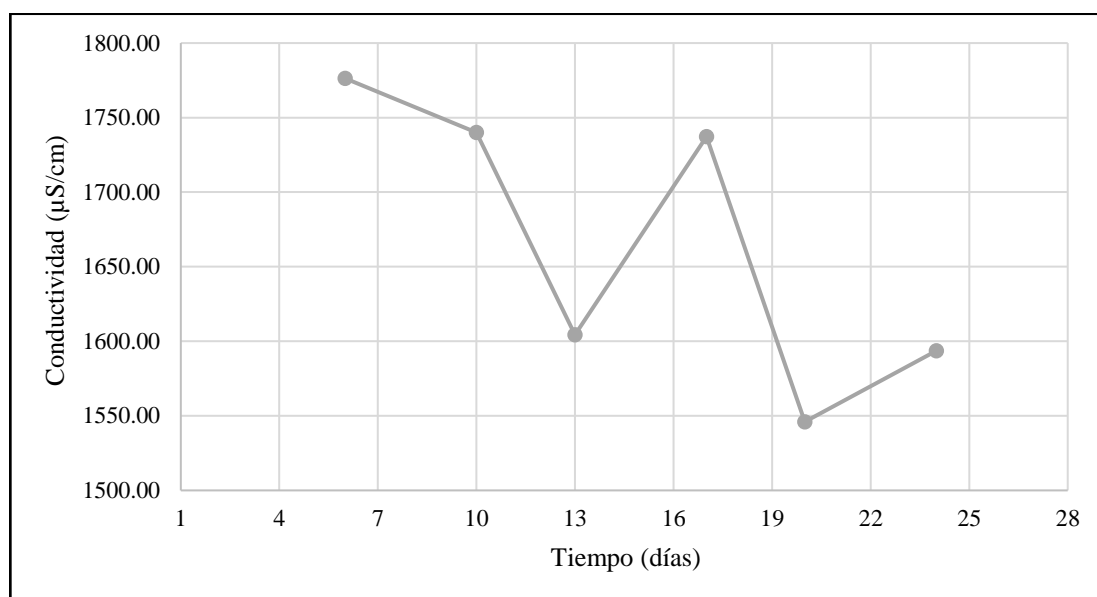
Tiempo (días)	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	STD (ppm)	SALINIDAD (ppm)	ORP (mV)
6	7.59	1776.33	1174.00	889.67	-19.70
10	7.82	1740.00	1150.33	872.33	-29.17
13	7.92	1604.33	1059.33	803.00	-40.10
17	7.74	1737.33	1148.00	873.33	-24.23
20	7.57	1546.00	1021.00	773.33	-19.63
24	7.92	1593.67	1053.67	799.33	-22.40

En las siguientes figuras se mostrarán la variación de cada uno de los parámetros en el tiempo durante el tratamiento secundario.

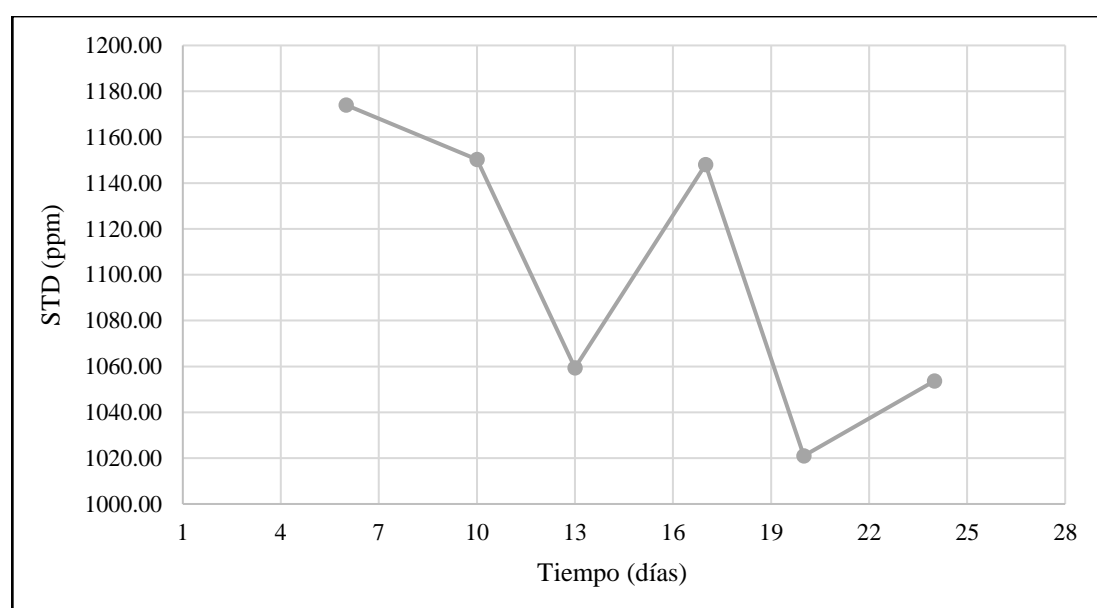
**Figura 4.16.** Variación de pH en la laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario



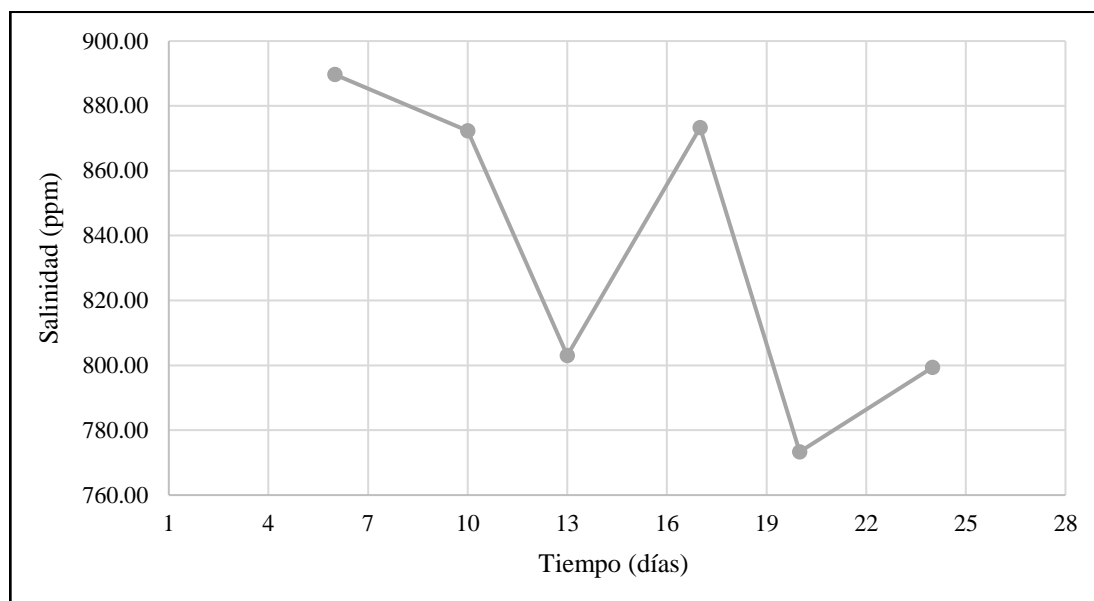
**Figura 4.17.** Variación de la conductividad en laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario



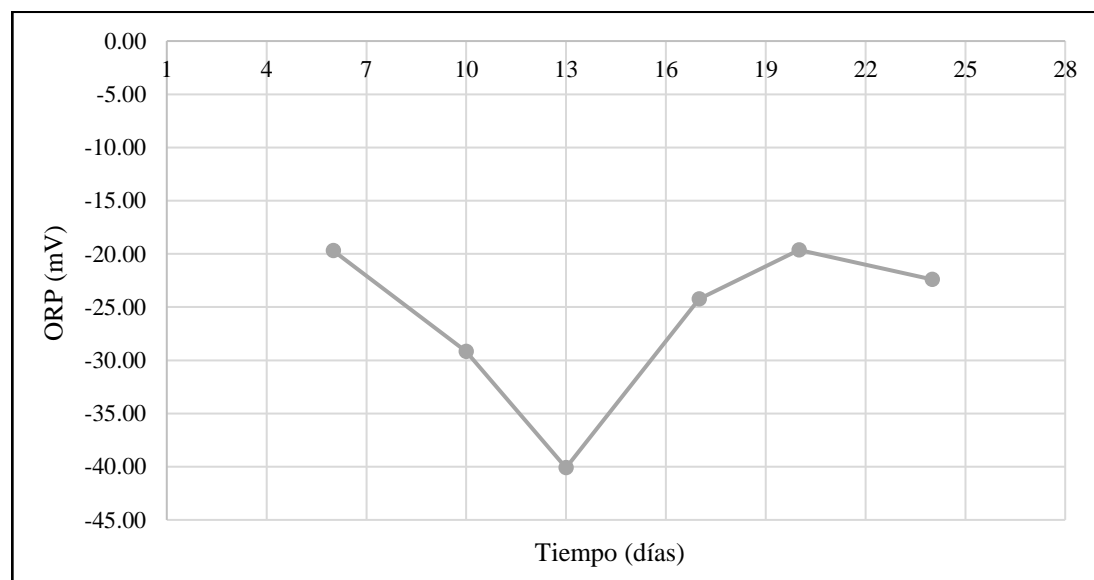
**Figura 4.18.** Variación de STD en la laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario



**Figura 4.19.** Variación de la salinidad en la laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario



**Figura 4.20.** Variación de ORP en la laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario



#### 4.2.3. Análisis del muestreo de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias.

Para realizar el análisis de los resultados de DBO<sub>5</sub> y SST en las lagunas secundarias, se procede a agrupar dichos resultados en los siguientes cuadros comparativos, de manera que se pueda visualizar el cambio en el tiempo de estos indicadores para cada laguna secundaria.

**Tabla 4.34.** Cuadro comparativo de la variación de DBO<sub>5</sub> en el tiempo para cada laguna secundaria

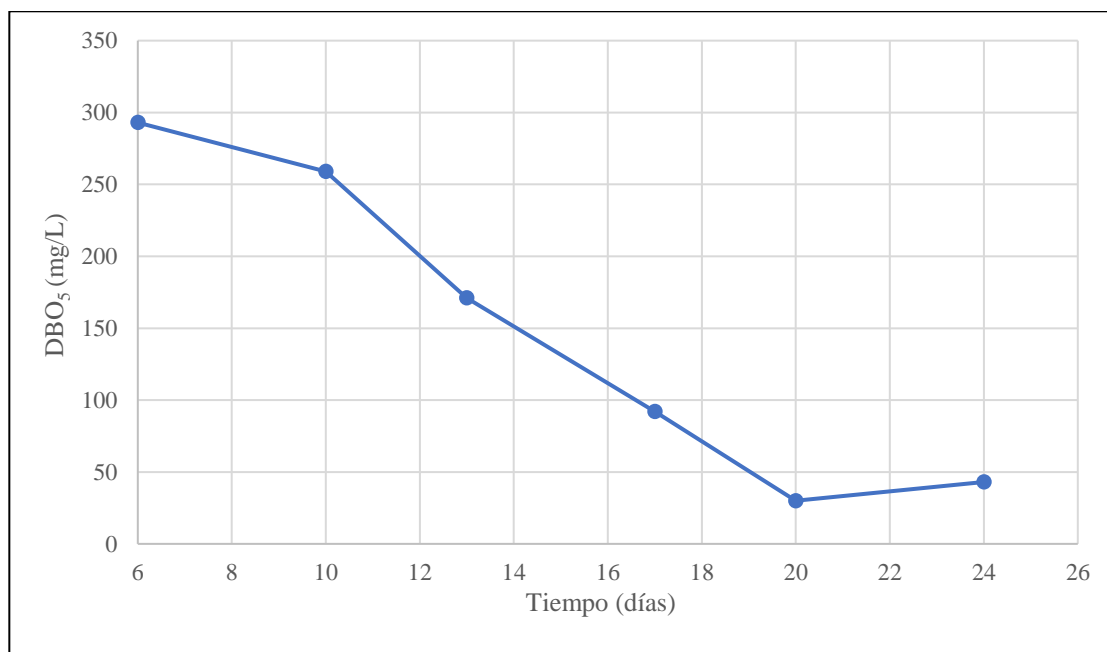
FECHA	Tiempo (días)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)		
		COLECTORA		
10/09/2019	1	496		
		LAG SEC N°1	LAG SEC N°2	LAG SEC N°3
15/09/2019	6	293	322	252
19/09/2019	10	259	261	241
22/09/2019	13	171	177	160
26/09/2019	17	92	99	88
29/09/2019	20	30	27	28
03/10/2019	24	43	44	46

**Tabla 4.35.** Cuadro comparativo de la variación de SST en el tiempo para cada laguna secundaria

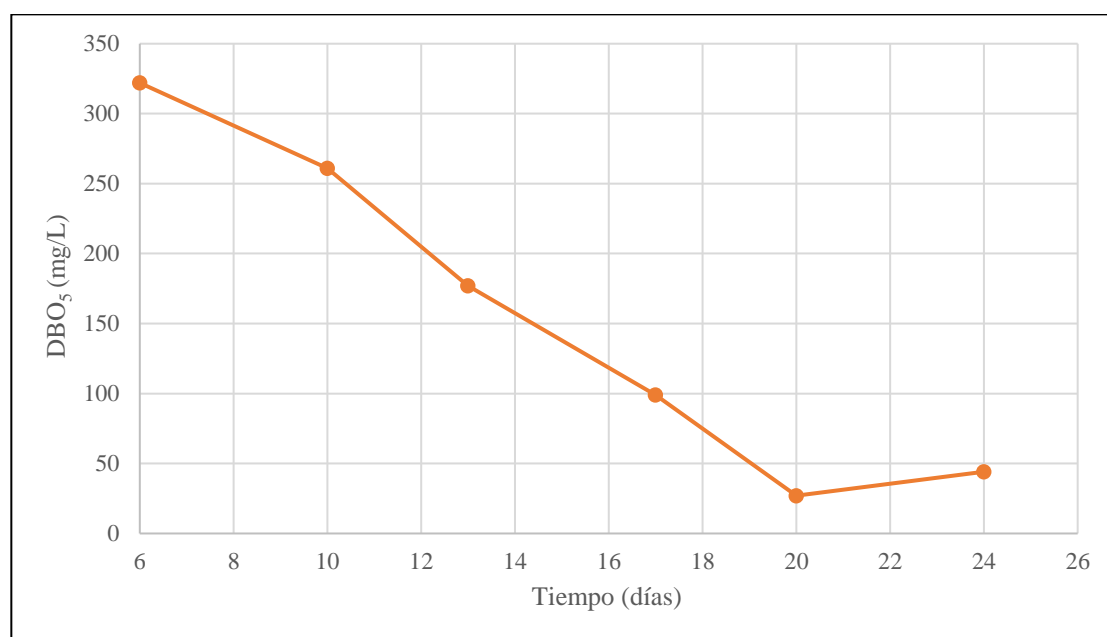
FECHA	Tiempo (días)	SST (mg/L)		
		COLECTORA		
10/09/2019	1	300		
		LAG SEC N°1	LAG SEC N°2	LAG SEC N°3
15/09/2019	6	14	23	4
19/09/2019	10	60	32	28
22/09/2019	13	36	28	48
26/09/2019	17	18	12	16
29/09/2019	20	6	6	6
03/10/2019	24	43	12	10

Seguido de estos cuadros comparativos, los diagramas bidimensionales siguientes muestran la variación de estos indicadores a través de sus respectivas trayectorias.

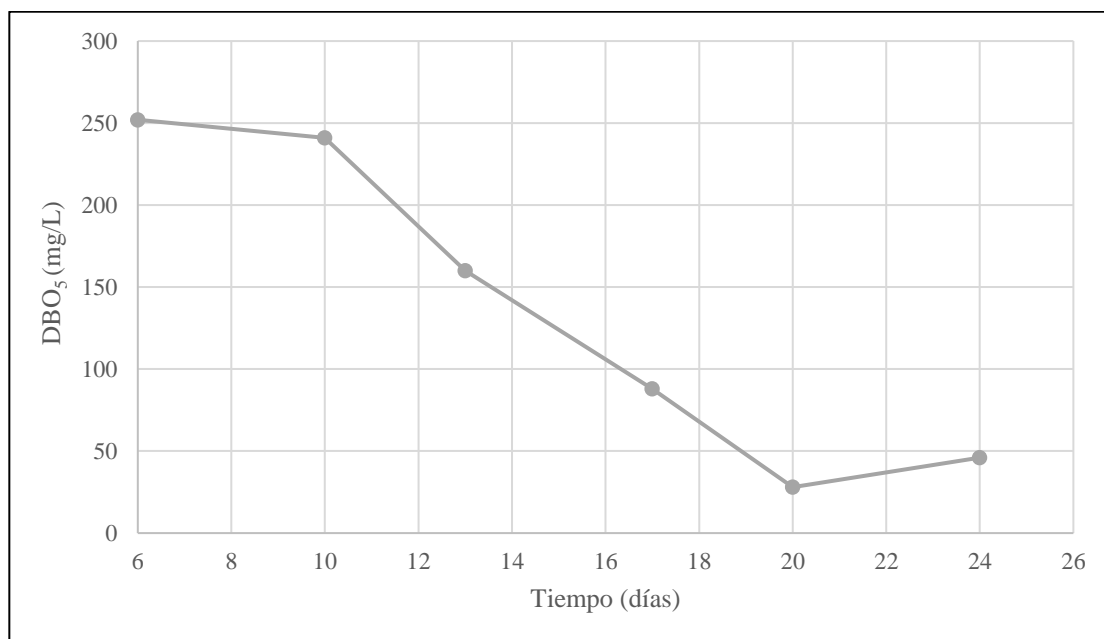
**Figura 4.21.** Variación de  $DBO_5$  en la laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario



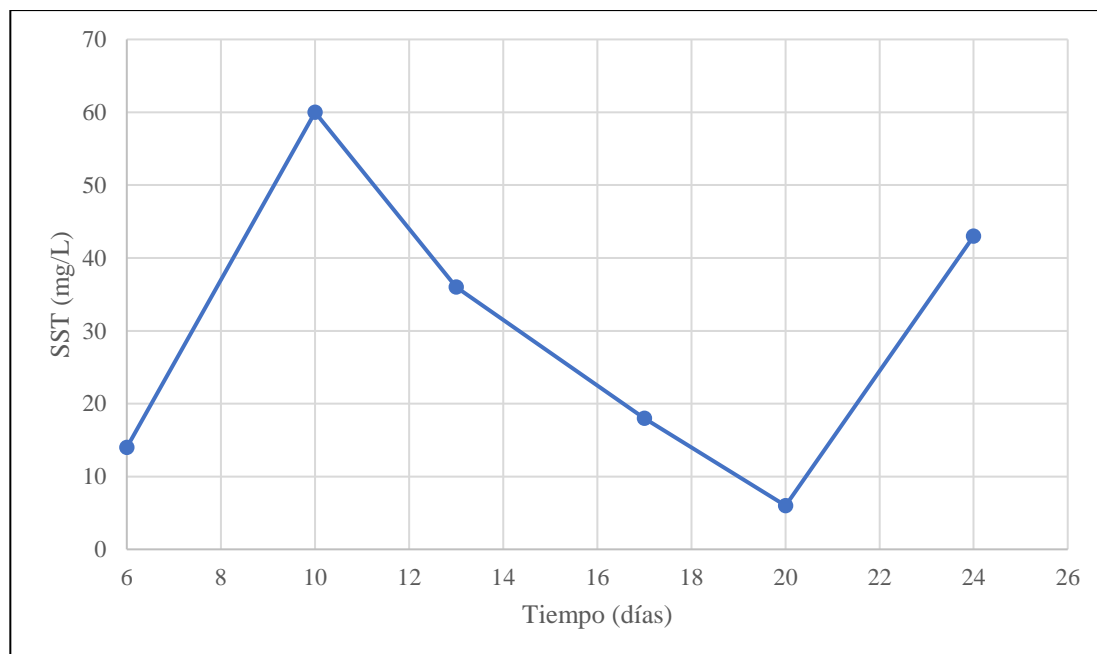
**Figura 4.22.** Variación de  $DBO_5$  en la laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario

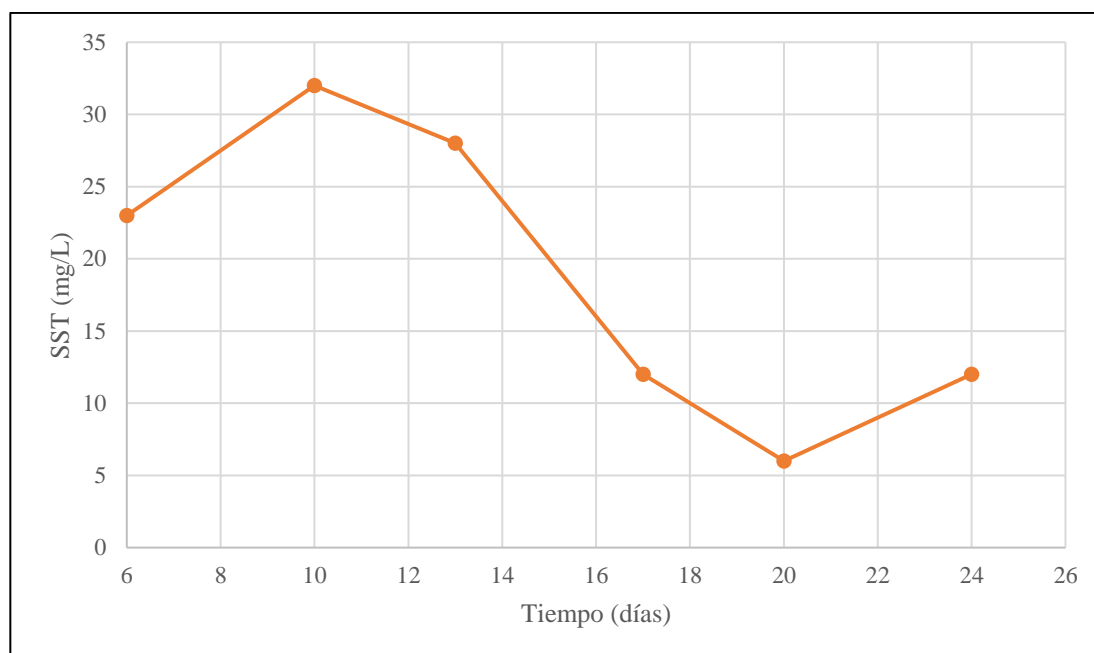
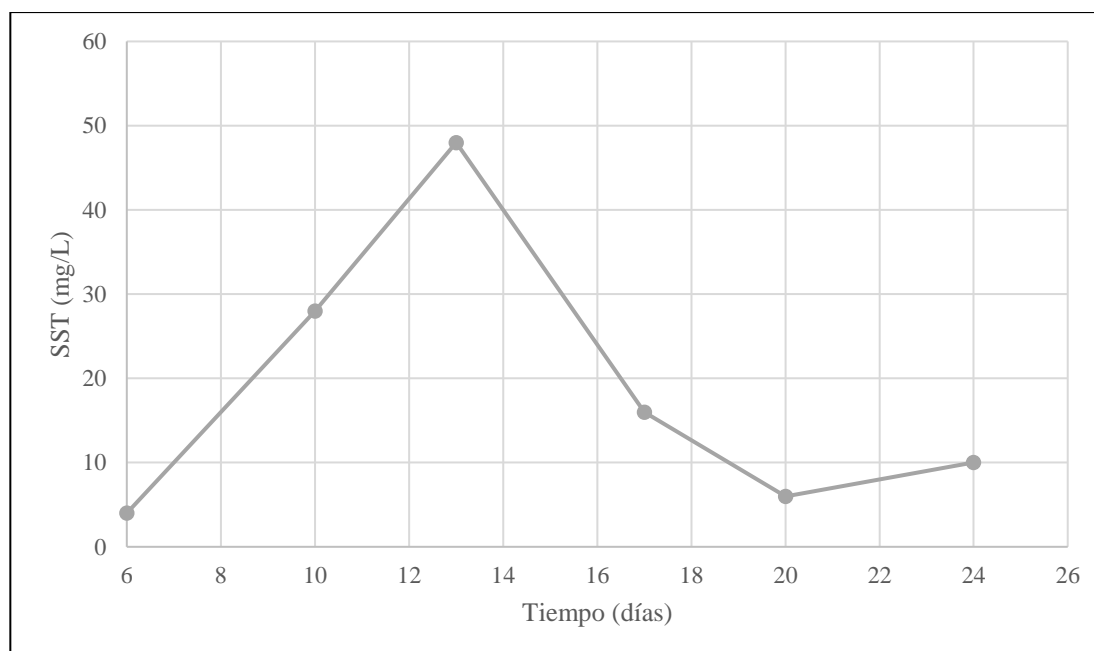


**Figura 4.23.** Variación de  $DBO_5$  en la laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario



**Figura 4.24.** Variación de SST en la laguna secundaria N° 1 durante el tratamiento secundario

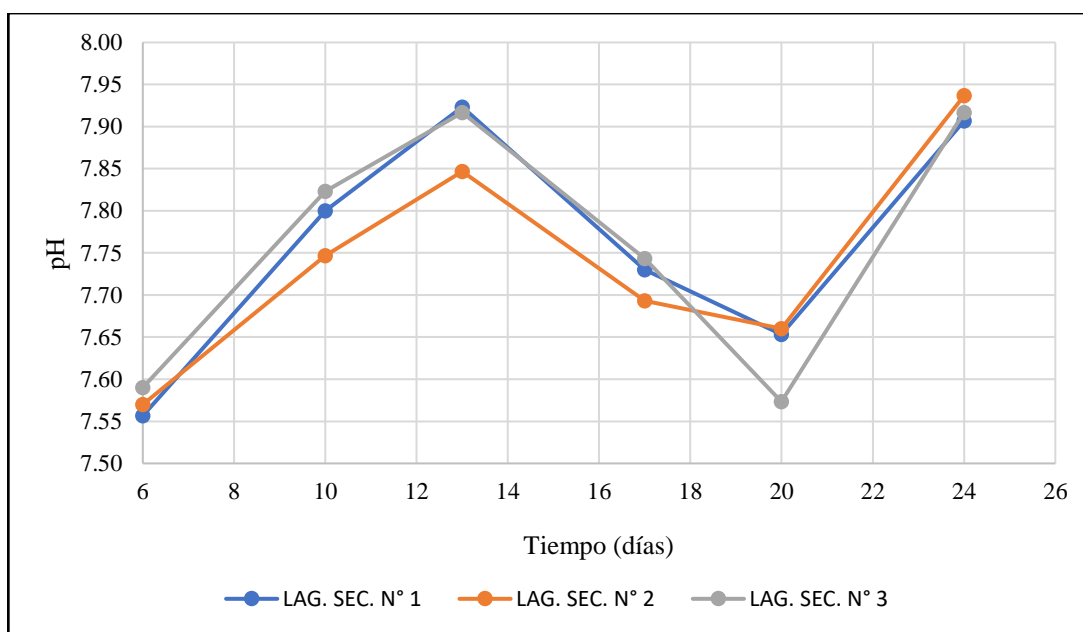


**Figura 4.25.** Variación de SST en la laguna secundaria N° 2 durante el tratamiento secundario**Figura 4.26.** Variación de SST en la laguna secundaria N° 3 durante el tratamiento secundario

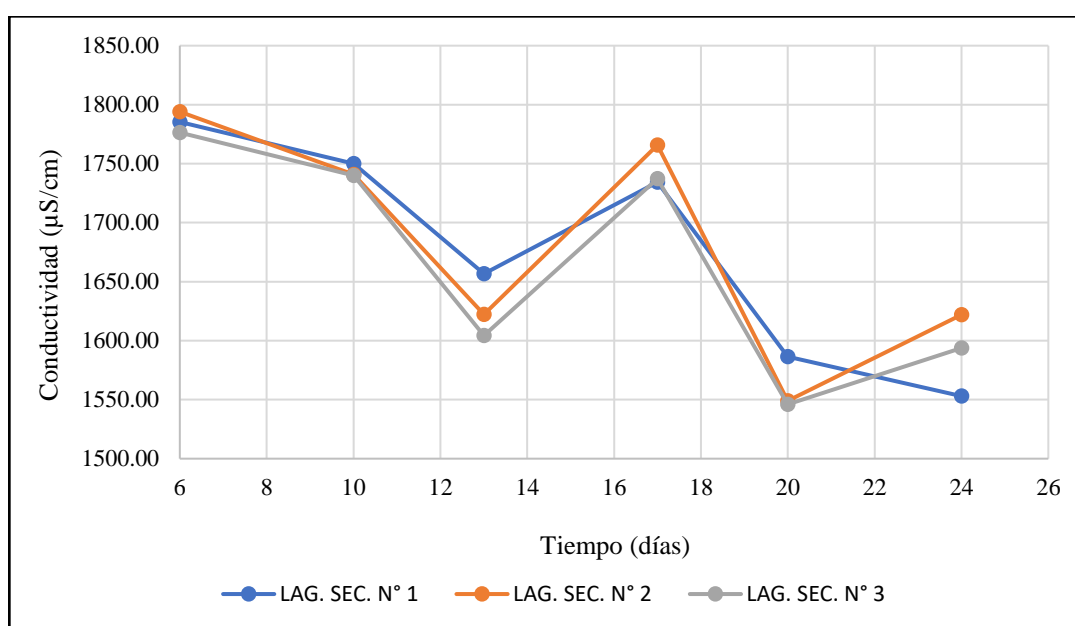
#### 4.2.4. Análisis comparativo de la variación de los parámetros medidos durante el tratamiento secundario en las tres lagunas secundarias.

En las siguientes figuras se observarán las variaciones de los parámetros medidos con el equipo multiparámetro, en cada una de las lagunas secundarias, mostrando la variación de un parámetro determinado en cada laguna en un mismo diagrama bidimensional.

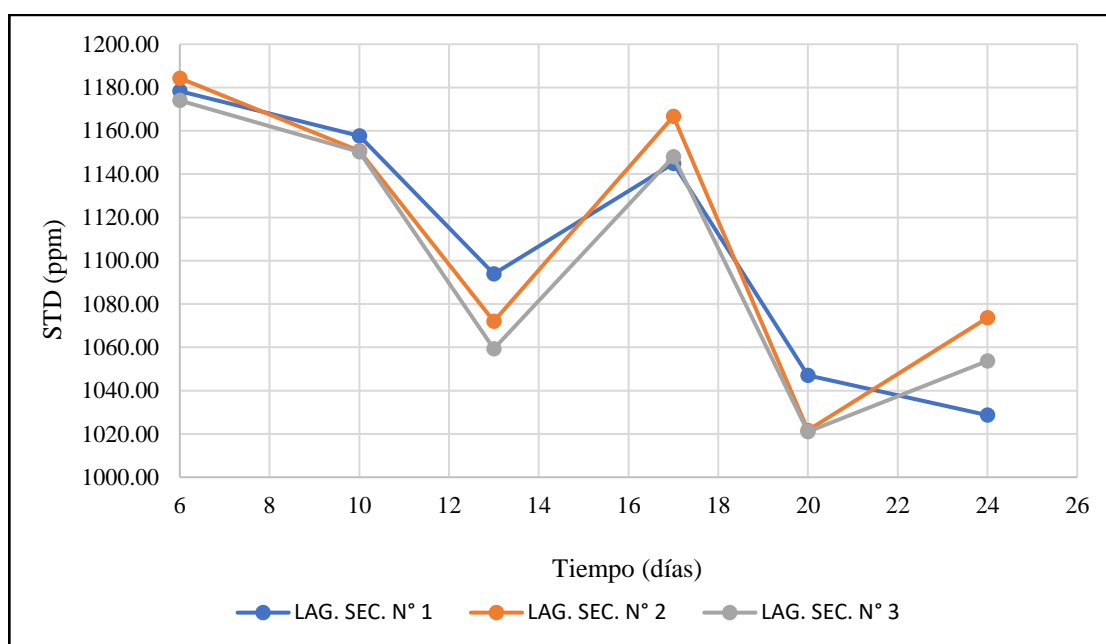
**Figura 4.27.** Comparación de la variación de pH en las tres lagunas secundarias



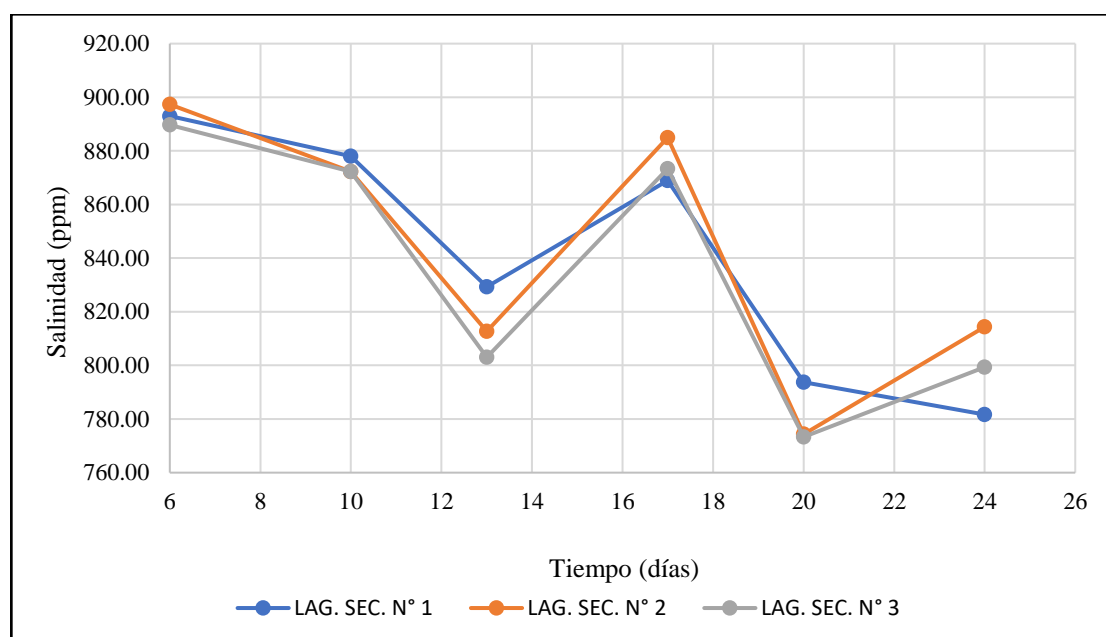
**Figura 4.28.** Comparación de la variación de la conductividad en las tres lagunas secundarias



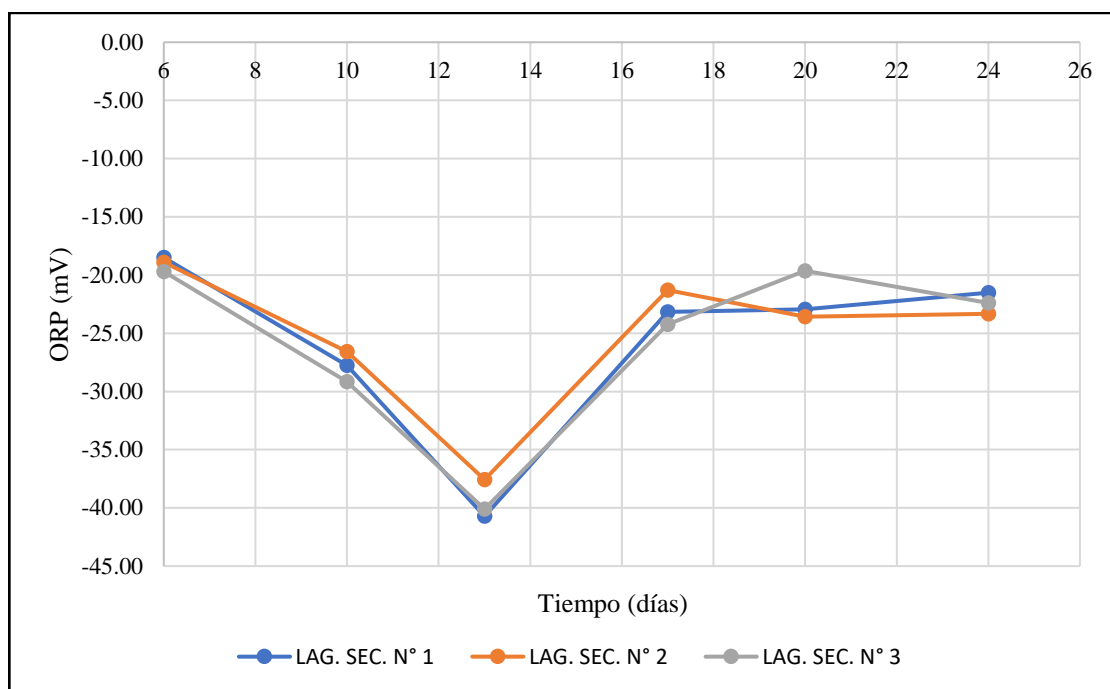
**Figura 4.29.** Comparación de la variación de STD en las tres lagunas secundarias



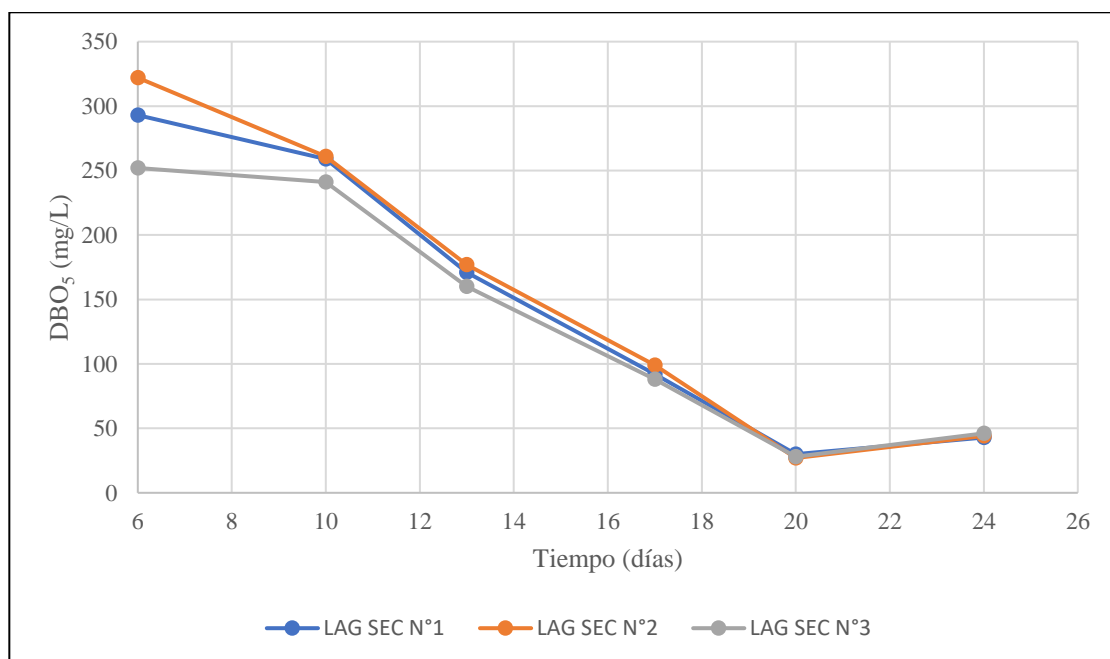
**Figura 4.30.** Comparación de la variación de la salinidad en las tres lagunas secundarias



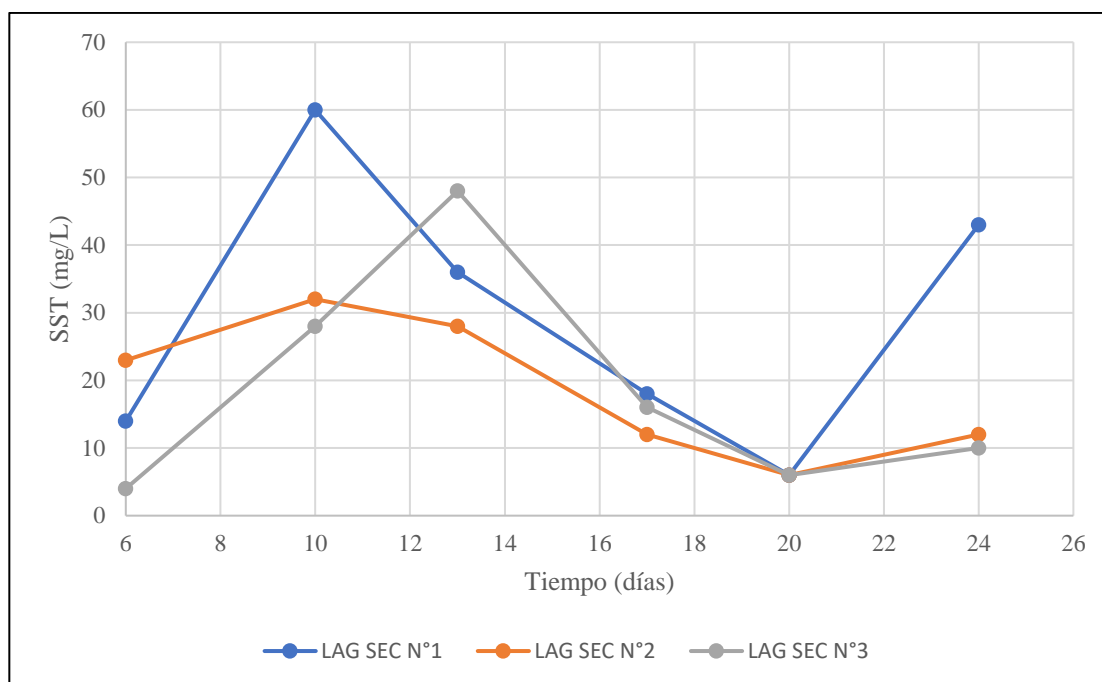
**Figura 4.31.** Comparación de la variación de ORP en las tres lagunas secundarias



**Figura 4.32.** Comparación de la variación de DBO<sub>5</sub> en las tres lagunas secundarias



**Figura 4.33.** Comparación de la variación de SST en las tres lagunas secundarias



#### 4.2.5. Análisis de los promedios finales totales para cada parámetro medido.

Finalmente, se calculan los promedios finales totales, promediando los resultados de las tres lagunas secundarias en cada día de muestreo. Asimismo, se toman en cuenta los resultados promedios de los parámetros medidos en el primer día que inició el sistema de tratamiento ( $t = 1$  día), así como también los resultados de  $DBO_5$  y SST para este primer día.

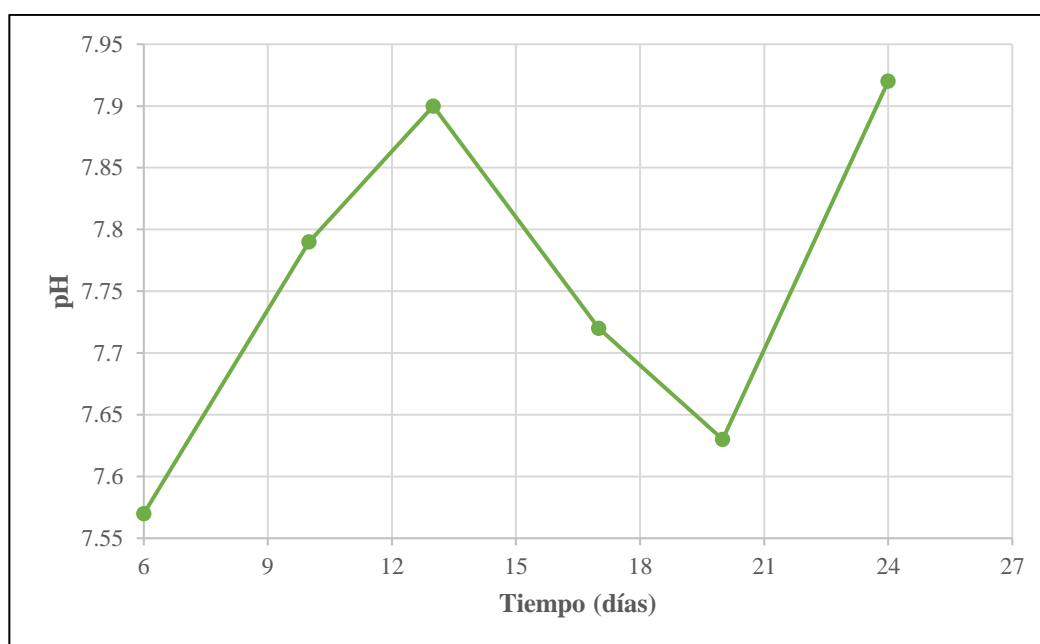
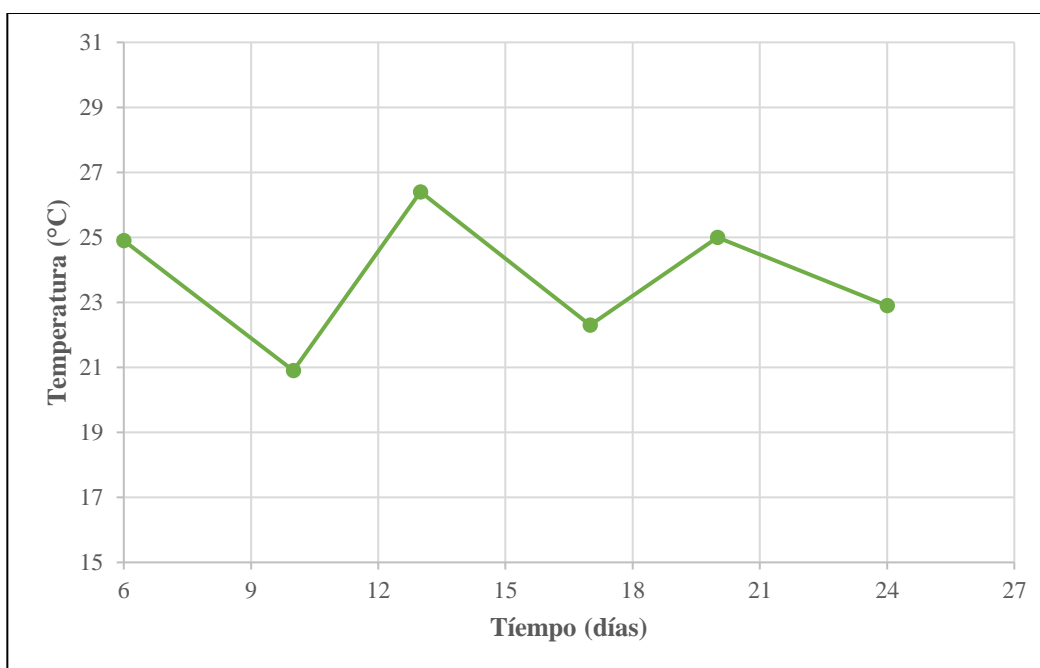
Asimismo, más adelante se realizan los cálculos de eficiencia para:  $DBO_5$ , SST, conductividad, STD y salinidad. Ello, tanto para la determinar la eficiencia global, como también para determinar la eficiencia del tratamiento primario, y del tratamiento secundario.

**Tabla 4.36.** Promedios totales de cada parámetro evaluado durante el sistema de tratamiento

<b>Tiempo (días)</b>	<b>pH</b>	<b>CONDUCT. (μS/cm)</b>	<b>STD (ppm)</b>	<b>SALINIDAD (ppm)</b>	<b>ORP (mV)</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	<b>SST (mg/L)</b>	<b>TEMP. (°C)</b>
<b>1</b>	7.27	1723.39	1137.67	860.94	-5.23	496.00	300.00	-
<b>6</b>	7.57	1785.22	1178.89	893.33	-19.03	289.00	13.67	24.9
<b>10</b>	7.79	1743.56	1152.89	874.22	-27.83	253.67	40.00	20.9
<b>13</b>	7.90	1627.78	1075.11	815.00	-39.46	169.33	37.33	26.4
<b>17</b>	7.72	1745.78	1153.22	875.78	-22.90	93.00	15.33	22.3
<b>20</b>	7.63	1560.44	1029.89	780.44	-22.04	28.33	6.00	25.0
<b>24</b>	7.92	1589.56	1052.00	798.44	-22.41	44.33	21.67	22.9

Como se puede apreciar en la tabla 4.36, los parámetros tales como: conductividad, STD, salinidad, DBO<sub>5</sub> y SST, presentaron sus valores más bajos en el día veinte. Ello indica que fue este día, donde el sistema alcanzó su máxima eficiencia, luego en el día veinticuatro los valores tienden a aumentar.

En cuanto a los valores de pH y ORP, ambos tienen una correlación teórica y que aquí se demuestra. Cuando el valor de pH aumenta (por ejemplo, de 7.57 a 7.79), el valor de ORP disminuye (por ejemplo, de -19.03 a -27.83). Durante todo el tratamiento, todos los valores de ORP se presentaron como negativos, lo que indica una característica ligeramente reductora del agua, así como también, ligeramente básica, ya que los valores de pH, variaron desde 7.27 hasta 7.92. Además, la variación de temperatura se mantuvo en el rango de 20.9-26.4 °C, lo que indica que fue óptima para el buen desempeño y desarrollo de las macrófitas.

**Figura 4.34.** Variación del pH durante el tratamiento secundario**Figura 4.35.** Variación de la temperatura durante en el tratamiento secundario

#### 4.2.6. Cálculo y análisis de la eficiencia del tratamiento secundario.

El cálculo de las eficiencias de remoción se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ eficiencia de remoción} = \frac{C_a - C_e}{C_a} \times 100\%$$

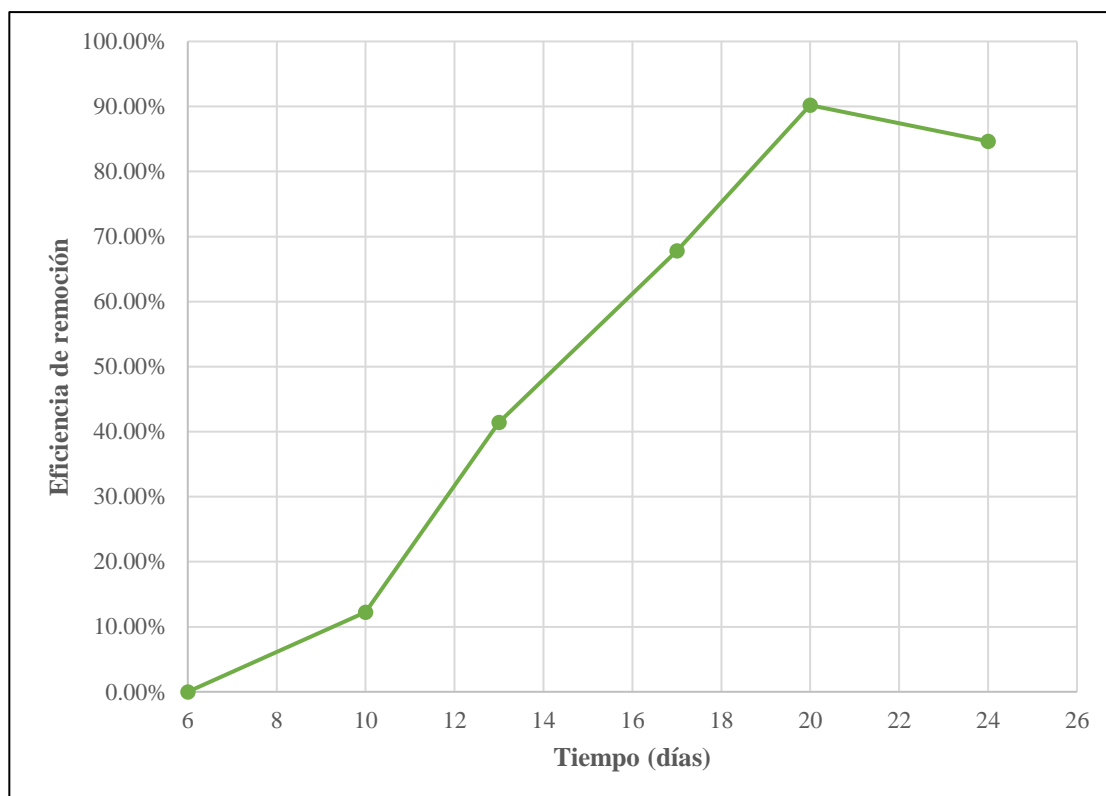
Donde:  $C_a$  = concentración del afluente

$C_e$  = concentración del efluente

##### 4.2.6.1. Análisis de la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>.

Tomando los valores promedios de DBO<sub>5</sub> del afluente y efluentes del tratamiento secundario, se calculan sus eficiencias, que se muestran en la siguiente figura:

**Figura 4.36.** Variación de la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> en el tratamiento secundario



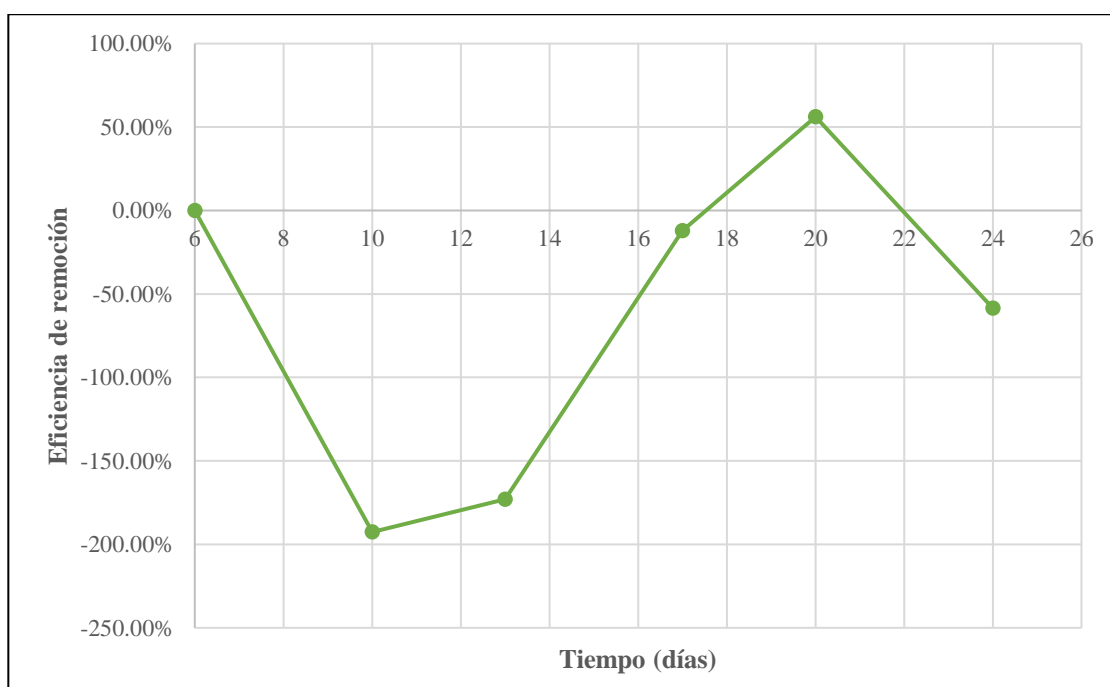
Como se observa en la figura 4.36, la eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> en el tratamiento secundario con *Eichhornia Crassipes*, aumenta en el tiempo, hasta llegar a su punto máximo en

el día veinte con un 90% de eficiencia, luego del cual, empieza a decaer hasta un 85% en el día veinticuatro.

#### 4.2.6.2. Análisis de la eficiencia de remoción de SST.

Tomando los valores promedios de SST del afluente y efluentes del tratamiento secundario, se calculan sus eficiencias, que se muestran en la siguiente figura:

**Figura 4.37.** Variación de la eficiencia de remoción de SST en el tratamiento secundario

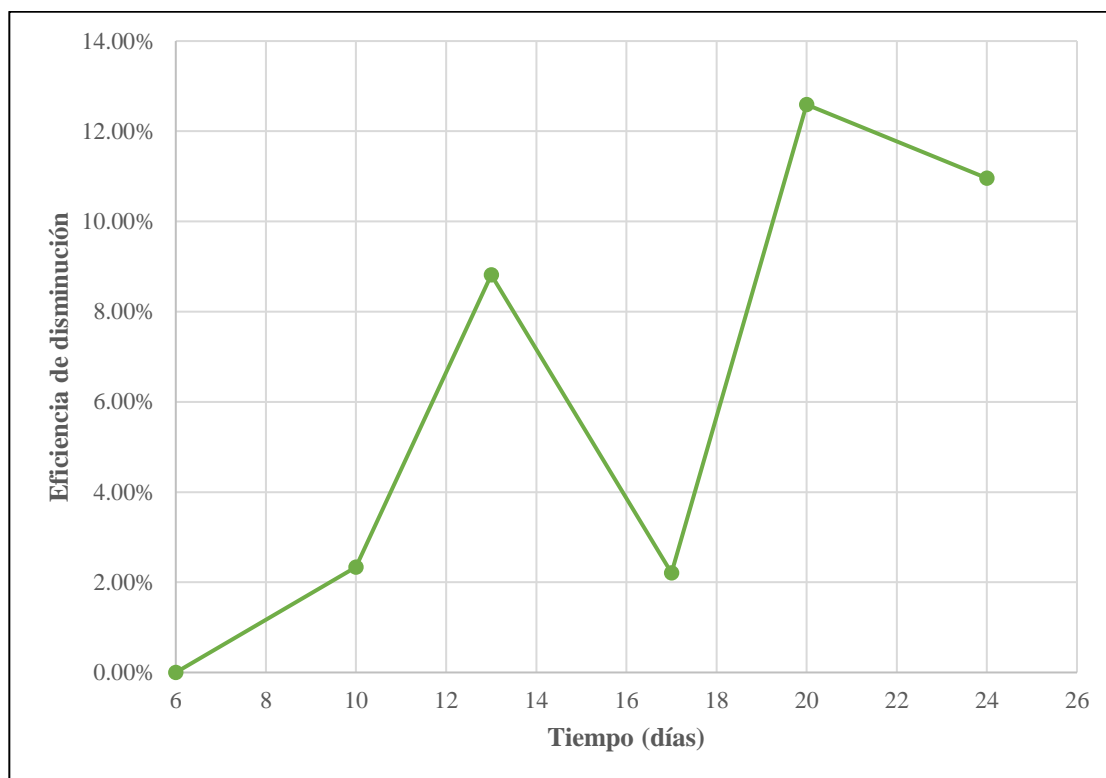


Como se aprecia en la figura 4.37, el porcentaje de remoción es negativo durante los primeros diecisiete días, ello se debe a que hubo un marcado aumento en este parámetro en el día diez, al registrarse 40 mg/L de SST, a partir de ahí la eficiencia fue en aumento llegando a tener 6 mg/L en el día veinte, el cual fue el día donde llegó a tener la concentración más mínima de SST.

#### 4.2.6.3. Análisis de la eficiencia de disminución de la conductividad.

Tomando los valores promedios de conductividad del afluente y efluentes del tratamiento secundario, se calculan sus eficiencias, que se muestran en la siguiente figura:

**Figura 4.38.** Variación de la eficiencia de disminución de conductividad en el tratamiento secundario

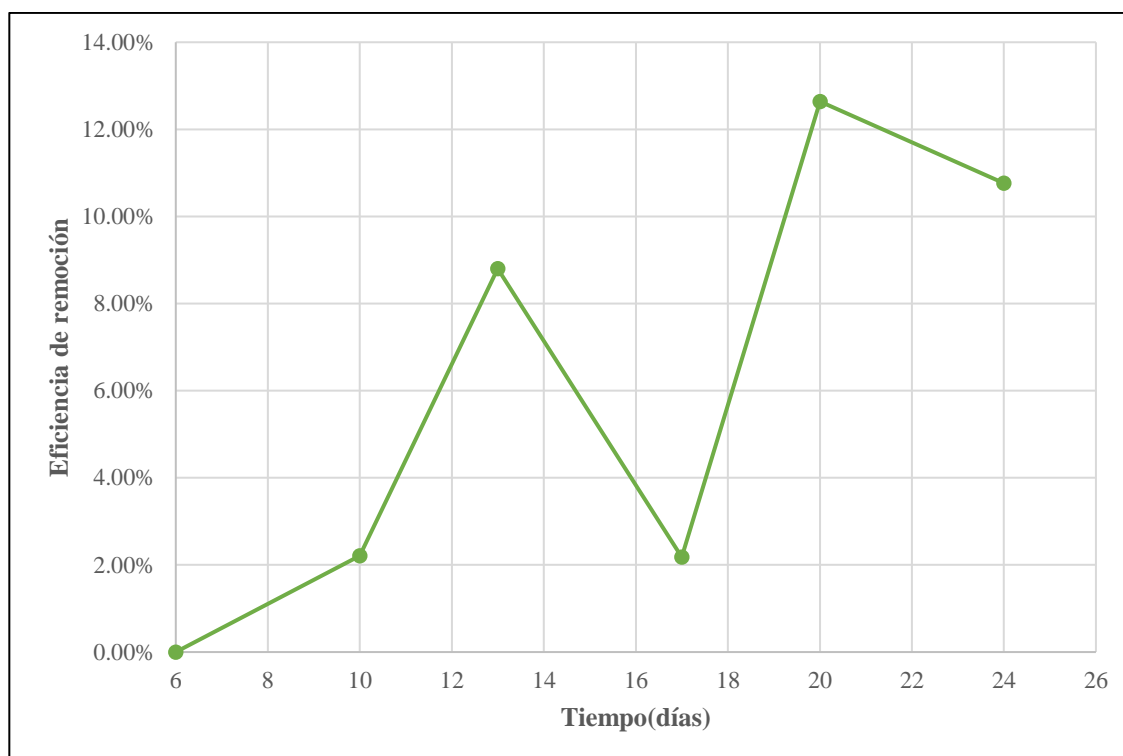


Como se muestra en la figura 4.36, existe un aumento de hasta un 9% en la eficiencia de remoción de la conductividad del agua, luego decrece en el día diecisiete hasta un 2%, para después tener su máximo pico de eficiencia en el día veinte con un 13%.

#### **4.2.6.4. Análisis de la eficiencia de remoción de STD.**

Tomando los valores promedios de STD del afluente y efluentes del tratamiento secundario, se calculan sus eficiencias, que se muestran en la siguiente figura:

**Figura 4.39.** Variación de la eficiencia de remoción de STD en el tratamiento secundario



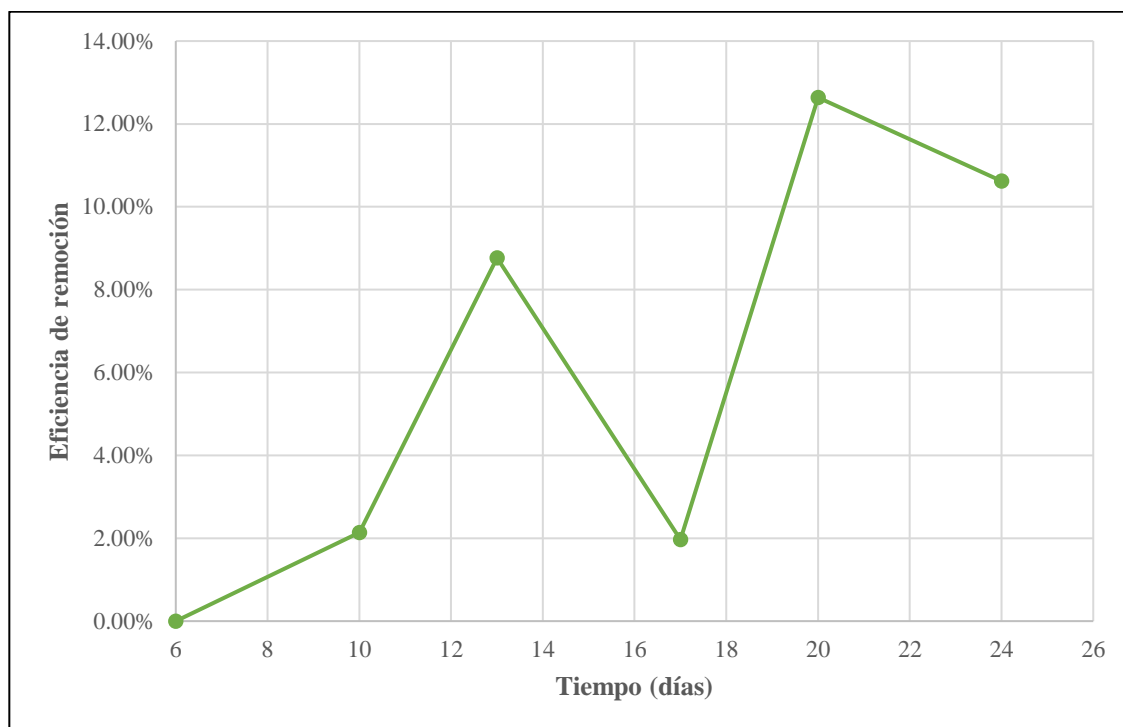
Como se observa en la figura 4.37, existe un pequeño aumento de la eficiencia de remoción de STD en los primeros trece días del tratamiento secundario, la cual llegó hasta un 9%, luego este porcentaje disminuyó al día diecisiete hasta un 2%, para después alcanzar la máxima eficiencia en el día veinte con un 13%.

La variación de la eficiencia de remoción de STD, es muy parecida a la que presenta el parámetro de conductividad, ello se debe a que existe una correlación directa entre estos parámetros, la cual hace que al aumentar uno el otro también aumente.

#### **4.2.6.5. Análisis de la eficiencia de remoción de la salinidad.**

Tomando los valores promedios de la salinidad del afluente y efluentes del tratamiento secundario, se calculan sus eficiencias, que se muestran en la siguiente figura:

**Figura 4.40.** Variación de la eficiencia de remoción de la salinidad en el tratamiento secundario



Como se aprecia en la figura 4.38, la variación de la eficiencia de remoción de la salinidad es idéntica a las variaciones de eficiencia de la conductividad y STD. En los primeros trece días, la eficiencia llega hasta un 9%, luego decrece hasta un 2% en el día diecisiete, y nuevamente aumenta hasta un 13% en el día veinte.

Durante todo el tratamiento secundario, se aprecia un muy bajo nivel de eficiencia en la remoción de la conductividad, STD y la salinidad, la cual puede deberse a factores climáticos como el viento que arrastra sólidos, los cuales pudieron haberse depositado en las lagunas secundarias, al estar éstas a la intemperie.

### 4.3. Discusión de resultados

De la evaluación de los parámetros medidos durante el tratamiento secundario se demuestra que la medida del pH, como indicador del nivel de acidez o alcalinidad de una solución, se mantuvo en todo momento cercano a la neutralidad, fluctuando entre valores que van desde 7.57 hasta 7.92. En el estudio realizado por Rizzo et al. (2012), se evaluó la medida del pH durante todo el tratamiento, el cual permaneció entre valores desde 7.5 a 7.7. Shah et al. (2014), afirma que el comportamiento óptimo de este tipo de macrófitas, para el tratamiento de aguas residuales, se lleva a cabo cuando se opera a un pH entre 6 y 9. Así, valores cercanos obtuvo Vargas et al. (2017). afirmando buenos resultados en un rango de pH que va de 6.2 a 7.3, en esta compararon la eficiencia entre la *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*. Luego, Perales et al. (2018) registró un pH que va desde 6.1 a 7.02, encontrando este parámetro admisible para el desarrollo de cualquier vida acuática.

En cuanto a los parámetros físicos, el tiempo de retención hidráulica es uno de los más importantes, al aumentar esta la eficiencia aumenta, pero lo interesante es determinar el tiempo en la cual se da, el punto de quiebre, es decir, entre la máxima capacidad de descontaminación y el retardo de esta; considerando 3.44 Kg de plantas mojadas/m<sup>2</sup> de superficie de agua residual. Así, se dieron 18 días de tratamiento secundario, obteniendo el máximo rendimiento en el día 14. Perales et al. (2018), propuso un tiempo de 46 días, tener presente que la carga orgánica, en el afluente, era elevada (sin tratamiento primario, aparentemente y además, no especifica cantidad de plantas). Por otro lado, Rizzo et al. (2012), trabajó un sistema de tratamiento con *Eichhornia crassipes* durante 30 días, en la cual la máxima eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> se obtuvo al día 17, similar al reportado en la presente investigación. Shah et al. (2014), en su sistema de tratamiento propuesto, logró una importante disminución de DBO<sub>5</sub> en los primeros 10 días, luego del cual se mantuvo constante este parámetro. Luego, Vargas et al. (2017) tomó

un tiempo de 90 días, teniendo una remoción casi constante, durante los tiempos muestreados, cada 15 días, (tratamiento en serie. Además, no especifica una relación de plantas)

Otro parámetro es: Los sólidos suspendidos totales (SST), como indicador de la turbiedad del agua, se obtuvo como resultado un 56.11% de remoción de este parámetro, siendo inferior al encontrado por Vizcaíno y Fuentes (2016), quienes reportaron un porcentaje de remoción de SST del 100%, y en el caso de Rizzo et al. (2012) logró obtener una eficiencia del 87%, para un tiempo de retención de 10 días. Cabe indicar que en nuestra investigación desde el día 10 al día 20, hubo una disminución de 40mg/L a 6 mg/L de los SST, que correspondería a un porcentaje de 85% de remoción durante estos 10 días. Por otro lado, Vargas et al. (2017) afirma una remoción del 30%, en 90 días de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Otro parámetro importante es la temperatura, en esta investigación se tomó la temperatura del agua residual de cada laguna secundaria en la evaluación de los parámetros durante el tratamiento secundario, obteniendo un promedio de 23.73 °C. Siendo este parámetro importante para el desarrollo biológico. Castillo et al. (2017) obtiene resultados interesantes, usando *Eichhornia crassipes* para la remoción de nutrientes con una temperatura promedio de 18.63 °C. Por otro lado, Perales et al. (2018) obtuvo un promedio de 28.6 °C, consiguiendo una eficiencia considerable. Asimismo, Shah et al. (2014) comprueba que el rango de temperatura más favorable para el tratamiento de aguas con macrófitas es de 15-38°C, y Mendoza et al. (2018) en su sistema de tratamiento semicontinuo, trabajó a una temperatura de  $26.5^{\circ}\text{C} \pm 2.65$ , para una celda experimental cubierta totalmente de *Eichhornia crassipes*.

La eficiencia de remoción obtenida de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), como indicador importante de la calidad del agua tratada y de la eficiencia del sistema, brindó como resultado un 90% de remoción de DBO<sub>5</sub> en el tratamiento secundario con *Eichhornia crassipes*. Resultado que supera a los obtenidos por Mendoza et al. (2018) que obtuvo un

79.1%, y Shah et al. (2014), con un 50.61%. Todos ellos evaluando la eficiencia de *Eichhornia crassipes* como agente fitorremediador. Por otro lado, Perales et al. (2018). Obtuvo una remoción similar del 94.71% (promedio) de DBO<sub>5</sub>, con un tiempo de retención de 46 días. Sin embargo, Vargas et al. (2017) obtuvo una remoción de tan solo el 62.56% en un período de 90 días (tratamiento en serie).

Otra condición muy importante es “la altura efectiva”, referida a la profundidad del agua, la cual puede perjudicar o favorecer el rendimiento del proceso; en esta investigación; se estableció una altura de 0.9 m de agua residual (eficiencia de remoción del 90.20% en DBO<sub>5</sub>). Perales et al. (2018). diseña el tratamiento secundario con 0.50 de profundidad (94.71% de remoción DBO<sub>5</sub>); sin embargo no especifica una altura efectiva (que debe ser algo menor). Por otro lado, Shah et al. (2014), trabajó con estanques de 0.91m de profundidad, mas no especificó la altura de agua efectiva (obteniendo un 50.61% de remoción de DBO<sub>5</sub>).

## CAPITULO V: PRUEBA DE HIPOTESIS

Hipótesis	Resultados	Decisión
<p>H.G.: El diseño óptimo del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la <i>Eichhornia crassipes</i>, tiene un rendimiento significativo.</p>	<p>El diseño del proceso de tratamiento secundario tiene un rendimiento significativo comparado con los resultados obtenidos por Shah et al. (2014), quien propuso un sistema de tratamiento similar.</p>	<p>Se acepta la hipótesis general.</p>
<p>H.E. 1: Las dimensiones del sistema de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua) están relacionadas con el largo, ancho y altura de la laguna.</p>	<p>Las dimensiones de la laguna secundario son: 1.5 m (largo), 1.5 m (ancho), 1.2 m (altura), la base posee forma cuadrada de 0.9 m de lado. Estas dimensiones son similares a las establecidas por Shah et al. (2014) las cuales fueron 1.52 m (largo), 1.83 m (ancho) y 0.91m (altura).</p>	<p>Se acepta la hipótesis específica 1.</p>

---

Los parámetros de operación de la laguna secundaria fueron: El tamaño y densidad de las plantas (3.44 Kg de plantas mojadas/m<sup>2</sup> de superficie de H.E. 2: Los parámetros de agua residual), altura operación del proceso de efectiva de la laguna (0.90 tratamiento secundario de m), DBO<sub>5</sub>, pH (7.57 a 7.92), las aguas residuales de las temperatura (23.73 °C) y el lagunas de oxidación de tiempo de retención Se acepta la hipótesis Cachiche – Ica, por medio hidráulica (18 días). Siendo específica 2. de la *Eichhornia crassipes* estas similares a las tomadas (jacinto de agua) son: la por Shah et al. (2014) las DBO<sub>5</sub>, el pH y el tiempo de cuales fueron: DBO<sub>5</sub>, DQO, retención hidráulica. Nitrógeno, Fósforo, pH y temperatura. Además, Vargas (2017) consideró: sólidos suspendidos totales, pH, DBO<sub>5</sub>, temperatura, turbiedad y coliformes termotolerantes.

---

---

La eficiencia del sistema del tratamiento secundario

H.E. 3: Es alta la eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub>, en el proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua).

demonstró una eficiencia de 90%, siendo superiores a las encontradas por Mendoza et al. (2018), Shah et al. (2014), Vizcaíno y Fuentes (2016) y Rodríguez et al. (2010), quienes obtuvieron 79.1%, 50.61%, 83.7% y 86% de remoción de DBO<sub>5</sub> respectivamente.

Se acepta la hipótesis específica 3.

---

## CONCLUSIONES

### Conclusión general

El diseño óptimo del tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes*. Se cumple siguiendo las conclusiones específicas, en el primer ítem se dan las dimensiones, en el segundo, se considera los parámetros de operación y en el tercer, se menciona la eficiencia que se obtiene, siguiendo los anteriores.

### Conclusiones específicas

- Las dimensiones del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* son las siguientes: En la parte superior, tiene forma cuadrada de 1.5 m x 1.5 m, con una altura total de 1.2 m, el fondo posee forma cuadrada de 0.9 m x 0.9 m, el talud posee una relación de 4:1 (vertical: horizontal) y el uso efectivo de altura de la laguna fue de 0.9 m, con una altura libre de 30 cm (seguridad).

- El tamaño y densidad de las plantas (grandes, y casi toda la superficie de agua cubierta de estas (preferible); usando así; 3.44 Kg de plantas mojadas/m<sup>2</sup> de superficie de agua residual), altura efectiva de la laguna (0.90 m), la DBO<sub>5</sub> (menor a 180 mg/L, para el afluente, de preferencia), pH (7.57 a 7.92, trabaja de manera óptima en el rango mencionado), temperatura (23.73°C, en promedio) y el tiempo de retención hidráulica (18 días de tratamiento, pero en el día 14; se obtuvieron los mejores resultados, con respecto al tratamiento secundario) son los parámetros de operación del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes*.

- La eficiencia de remoción de la  $DBO_5$  en las lagunas secundarias 1, 2 y 3 fueron de 89.76%, 91.61% y 88.89%; respectivamente, teniendo un 90.20% de rendimiento promedio; en el tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche – Ica, por medio de la *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua).

## RECOMENDACIONES

En primer lugar, se debe contar con un adecuado pretratamiento, es decir, uso de rejillas, desarenador y trampa de grasas. Esto es importante, ya que las siguientes etapas (laguna anaerobia y secundaria) se desarrollarán con mayor eficiencia. Por ejemplo, en esta investigación se percibió alta carga de grasas debido a matanzas de animales, sin embargo, la planta de tratamiento de Cachiche; no cuenta con una trampa de grasas. Además, existe investigaciones en donde se ha demostrado que la *Eichornia Crassipes* disminuye la cantidad de grasas, lo cual se demostró indirectamente.

En segundo lugar, el tratamiento primario (laguna anaerobia), debe ser efectivo, tal que, el efluente posea una concentración de  $\text{DBO}_5$  menor a 180 mg/L. En vez, de usar lo mencionado, se puede usar un reactor UASB, la cual reduce el tiempo de retención y espacio u otros métodos convenientes. En este sentido, en la investigación se trabajó con efluente mayor al mencionado (ligeramente); sin embargo, funcionó.

En tercer lugar, contando con el afluente de la laguna secundaria (fitorremediación), se recomienda, tener plantas grandes (mayor capacidad de adaptación y remoción de contaminantes, raíces largas; y la relación usada fue de 3.44 Kg de plantas mojadas/m<sup>2</sup> de superficie de agua residual) y cubrir la superficie casi en su totalidad de la laguna. Si usas plantas medianas soportan (algunas), pero, las pequeñas empiezan a deteriorarse gravemente con los días.

En cuarto lugar, estas plantas deben ser monitoreadas, es decir, estas no deben estar marchitas (se debe retirar las hojas en mal estado), y si la planta se encuentra totalmente deteriorada, se debe cambiar por otra (en buen estado).

Además, del  $\text{DBO}_5$  se debe tener en cuenta el “pH”, a altas valores de este; las plantas se marchitarán, por lo general; el agua residual está en un pH; en la cual pueden vivir de manera adecuada, sin embargo, cuando permanecen un tiempo prolongado en el agua, el pH aumenta; en esta investigación llegamos hasta 7.92 (durante los 18 días de tratamiento) y las plantas se encontraron muy espléndidas.

En quinto lugar, en esta investigación, se realizó un tratamiento en batch; luego, se evaporó cierta cantidad de agua (pequeña comparada con la cantidad inicial). Así, que se recomienda usar agua potable para reemplazar lo evaporado; ya que al realizar pruebas de dilución, las características, cambian ligeramente; en comparación de usar agua destilada. Además, se sugiere realizar pruebas en continuo, a este tipo de escala.

En sexto lugar, sería conveniente que la planta de tratamiento contase con un vivero y alguien que conozca de crianza de plantas, para el mantenimiento del tratamiento secundario.

En séptimo lugar, el tiempo de retención en esta etapa se podría disminuir, con el uso de agitadores y el uso de un reactor de tipo pistón (tipo laberinto). Además, un parámetro que se debería considerar es el Oxígeno disuelto; ya que, este indica niveles de contaminación.

Finalmente, al tratamiento, se puede aplicar un proceso de desinfección, como tratamiento terciario y de esa manera cumplir con los límites máximos permisibles, (D.S. N°003-2010-MINAM, vertimiento a ríos), luego, estas aguas tratadas se pueden disponer para regadío, siempre y cuando, cumplan con el D.S. 004-2017-MINAM (categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales), así que, se tendría que realizar una evaluación de parámetros.

## FUENTES DE INFORMACION

### Bibliografía

- Aguilar, M., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., y Ortuño, J. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Coagulación-Floculación*. Murcia, España: F.G. Graf S.L.
- American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation. (2012). *Standard Methods. For the Examination of Water and Wastewater 22<sup>nd</sup> Edition*. Washington, DC.
- Aráuz, D. (2015). *Diseño preliminar de una embarcación recolectora de lechugines* (tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Castillo, E. (2017). *Eficiencia de Lemna sp y Eichhornia crassipes, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Castillo, E. (2017). *Eficiencia de Lenma sp y Eichhornia crassipes, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín* (tesis de grado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Castillo, R. (2013). *Valores agregados de la biodigestión anaerobia del Jacinto de agua* (tesis de maestría). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Castillo, R., Roldan, R., Blasco, P., Huertas, R., Caballero, D., Moreno, V. y Luque, R. (2005). *Biotecnología Ambiental*. Madrid, España: Editorial Tébar.
- Coronel, E. (2016). *Eficiencia del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y lenteja de agua (Lemna minor) en el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas - Chachapoyas, 2015* (tesis de grado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Amazonas, Perú.
- Costa, L., Cervera, M., Cunill, G., Esplugas, V., Mans, T. y Mata, A. (2004). *Curso de Ingeniería Química*. España: Editorial Reverté S.A.

- Cupe, E., y Portocarrero, C. (2009). *Evaluación de la eficiencia de plantas acuáticas flotantes Lemna minor (Lenteja de agua), Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) y Pistia stratioides (Lechuga de agua). Para el tratamiento de aguas residuales domésticas* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Curt, M. (2010). Macrofitas de interés en fitodepuración. En: J. Fernández, E. de Miguel Beascoechea, J. de Miguel Muñoz & M. Curt (editores), *Manual de Fitodepuracion. Filtro de macrofitas en flotación* (págs. 103-104). Grupo de Agroenergética, Departamento de Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Donoso, D. (2015). *Manejo del material vegetal lechugín (Eichhornia crassipes) y Lenteja de agua (Lemna sp) generados en la planta de tratamiento de aguas residuales en la parroquia de Chaltura* (tesis de grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Febrero, I., Romero, O., Ruiz, L., y Gonzáles, R. (2005). Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) una alternativa para la alimentación de cerdos en ceba. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*, 6(5), 1-11.
- Fernández, J., Beascoechea, E., Muñoz J., y Curt M. (2010). *Manual de Fitodepuracion. Filtro de macrofitas en flotación*. Grupo de Agroenergética, Departamento de Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- García, Z. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas* (tesis de grado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Glynn y Heinke. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Editorial Prentice Hall.
- Guevara, M., y Ramírez, L. (2015). *Eichhornia crassipes, su invasividad y potencial fitorremediador. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 22(2), 5-11.
- Guijarro, R., Cantero, B., Muñoz, M. y Cantero, F. (2004). *Ayudantes técnicos de medio ambiente de la junta de Andalucía*. Sevilla, España: MAD.

- Isla, R. (2005). *Proyectos de plantas de Tratamiento de Aguas. Aguas de proceso, residuales y de refrigeración*. España: BELLISCO.
- Jaramillo, M., y Flores, E. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemma minor* (Lenteja de agua), y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera* (tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Juárez, G. (2011). *Cambios en la composición del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) debidos a su grado de madurez y a su transformación biotecnológica* (tesis de grado). Instituto Politécnico Nacional, Mexico, D.F.
- López, D. (2012). *Aprovechamiento del lechugón ("*Eichhornia crassipes*") para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores* (tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Lopez, P., Calderón, y Huertas, M. (2015). *Análisis de agua potable y residual*. España: Editorial Elearning S.L.
- Mario Díaz (2018). *Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Martelo, J., y Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221-243.
- Mendoza, Y., Castro, F., Marín, J., y Behling, E. (2016). Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad de Zulia*, 39(2), 71-79.
- Mendoza, Y., Pérez, J., y Galindo, A. (2018). Evaluación del Aporte de las Plantas Acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. *Información Tecnológica*, 29(2), 205-214.

- Metcalf & Eddy, Inc. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera Edición*. España: Mc Graw Hill.
- Moret, I. (2014). *Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrofitas* (tesis de pregrado). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Mott, R. (2013). *Mecánica de Fluidos. Sexta Edición*. México: Pearson Educación.
- Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R., y Olguín, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*, 69-82.
- Osorio, R., Torres, R. y Sánchez, B. (2010). Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes. España: Ediciones Diaz de Santos.
- Palacios, S., Tapia, G. y Saldarriaga, M. (2005). Métodos y algoritmos de diseño en ingeniería química. Medellín, Colombia: Editorial universidad de Antioquia.
- Párraga, C., Barre, Z., Dueñas, Á., Muñoz, J., y Zambrano, M. (2018). Elaboración de harina a partir de *Eichhornia crassipes* utilizando diferentes métodos de deshidratación. *Pro sciences*, 2(7), 3-6.
- Perales, K. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domésticas por fitorremediación con Eichhornia Crassipes en la zona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, San Martín, Perú.
- Poveda, L. (2017). *Análisis del uso alternativo del buchón de agua para la descomposición de la materia orgánica*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10654/17255>.
- Quispe, J. (2017). *Tratamiento secundario de los efluentes domésticos empleando el sistema de humedal artificial en el Cercado de Ica – Angostura Limón* (tesis de pregrado). Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Ica, Perú.
- Reutelshöfer, T. (2015). *Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Bolivia, La Paz: Editorial PERIAGUA.

- Reyes, J., Luna, R., Murillo, B., Nieto, A., Hernández, L., Rueda, E., & Preciado, P. (2017). Uso de vermicompost y compost de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el crecimiento de col morada (*Brassica oleracea*). *Interciencia*, 42(7), 610-615.
- Ricardo, I. (2005). *Proyecto de plantas de tratamiento de aguas*. Madrid: Editorial Bellisco.
- Rigola, L. (1990). *Tratamiento de aguas industriales*. Barcelona, España: Editorial Marcombo S.A.
- Rizzo, P., Arreghini, S., Serafini, R., Bres, P., Crespo, D., y Fabrizio, A. (2012). Remediation of feedlot effluents using aquatic plants. *Rev. FCA UNCUYO*, 42(2), 47-64.
- Rodríguez, J., Gómez, E., Garavito, L. y López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas de agua y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 1(1), 59-68.
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Colombia, Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sanz, M., Dana, E., y Sobrino, E. (2004). *Atlas de las Plantas Alóctonas Invasoras en España*. Madrid: Grupo Tragsa.
- Shah, M., Nisar, H., Ali, A., y Razzaq, A. (2014). Evaluación del desempeño de macrófitas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 12(106), 1-12.
- United States Environmental Protection Agency. (1988). *Design Manual. Constructed Wetlands and Aquatic Systems for Municipal Wastewater Treatment*. Office of Research and Development, Cincinnati, OH.
- Valero, M. (2006). *Aplicación tecnológica de las macrofitas a la depuración de aguas residuales con la ayuda de microorganismos* (monografía). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Vargas, K. (2017). *Evaluación de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la remoción de parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba, 2015* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, San Martín, Perú.

Vizcaíno, L., y Fuentes, N. (2016). Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. *Rev. U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 189-198.

### **Fuentes electrónicas**

Invasive, org. Center for Invasive Species and Ecosystem Health. (24 de Febrero de 2020).

Common water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). USDA Agricultural Research Service.

<https://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=0002102>

Las Provincias. (25 de Marzo de 2018). *La planta que se bebe el río*.

<https://www.lasprovincias.es/sociedad/planta-bebe-20180222175328-nt.html>

Martínez, M. (2004). Progresos en el manejo del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). En R.

Labrada (Ed.), *Manejo de malezas para países en desarrollo PPP-120. Addendum I*.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

<http://www.fao.org/3/y5031s/y5031s00.htm#Contents>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). *Norma OS.090. Plantas de*

*tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de

[https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.090.pdf](https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf)

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014). *Fiscalización ambiental en*

*aguas residuales (Primera edición)*. Recuperado de

[https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. Recuperado de <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

Wikipedia, La Enciclopedia Libre. (7 de Noviembre de 2019). *Eichhornia crassipes*. [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Eichhornia\\_crassipes&oldid=121142047](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Eichhornia_crassipes&oldid=121142047)

Wikipedia, La Enciclopedia Libre. (4 de Febrero de 2020). *Eichhornia*. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Eichhornia&oldid=123290665>

## ANEXOS

### Anexo A.1

*Multiparámetro - Marca: ISOLAB, Modelo: pH/Cond/TDS/°C, Serie: 0003393*



### Anexo A.2

*Buffers de 4.01, 7.00 y soaking solution*



*Nota.* Los buffers lo usamos para la calibración del equipo, para un resultado óptimo y el soaking solution es una solución para el mantenimiento del electrodo.

### Anexo A.3

*Buffers de calibración para la conductividad de 1413  $\mu\text{S/cm}$  y 12880  $\mu\text{S/cm}$*



**Nota.** Cuando realizas la calibración para la conductividad, también quedan calibrados los siguientes parámetros: Sólidos disueltos totales y salinidad.

### Anexo A.4

*Calibración para la conductividad*



**Nota.** En la realización de la calibración se debe esperar hasta que se estabilice la lectura.

**Anexo A.5***Certificado de calibración del multiparámetro*

<b>Calibration Certificate</b>	
<i>This certificate guarantee that the product has been inspected and tested in accordance with the published specifications.</i>	
<i>The instrument has been calibrated by using equipment which already calibrated to standards traceable to international standards.</i>	
Model:	pH/Cond/TDS/°C
Serial no.:	0003393
Date	6/8/2017

## Anexo A.6

Informe de ensayo N° 1909038 del 2019/09/10

**DELTA LAB S.A.C.**

**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado  
Registro N° 125 - 077

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077**

Pág. 1/1

**INFORME DE ENSAYO N° 1909038**

Cliente : CCAPCHA CUTIMBO CARLOS  
 Domicilio legal : Jr. Tahuantinsuyo Mz. 18 Lt. 19, Pisco - Ica.  
 Producto : Agua Residual  
 Referencia del cliente : Proyecto: "Diseño del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche - Ica por medio de la *Eschhornia Crassipes* (Jacinto de agua)"

Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Lagunas de Oxidación Cachiche ICA.

Referencia del plan de muestreo : No Aplica  
 Procedimiento de muestreo : No Aplica  
 Fecha de recepción de las muestras : 2019/09/12  
 Fecha de inicio del ensayo : 2019/09/12  
 Fecha de término del ensayo : 2019/09/18

---

Código de Laboratorio: 1909038-1      Estación de Muestreo: COLECTORA DE LAS LAGUNAS      Fecha de Muestreo: 2019/09/10  
 Hora: 16:20  
 Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	496	mg/L

---

Código de Laboratorio: 1909038-2      Estación de Muestreo: COLECTORA DE LAS LAGUNAS      Fecha de Muestreo: 2019/09/10  
 Hora: 15:40  
 Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	300	mg/L

**Ensayo: Descripción del Método de Referencia:**  
 Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017, 5-Day BOD Test.  
 Sólidos Totales Suspendedos: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017, Total Suspended Solids Dried at 103 105°C.

**Notas:**

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.

Lima, 18 de setiembre del 2019.

**DELTA LAB S.A.C.**  
**EDSON CASTAÑEDA OSORIO**  
 JEFE DE LABORATORIO DE ENSAJO DE BIOQUÍMICA

**DELTA LAB S.A.C.**  
**RAQUEL ROSALES TORRES**  
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada.

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**Nota.** Análisis de la colectora de la laguna de oxidación de Cachiche.

## Anexo A.7

Informe de ensayo N° 1909093 del 2019/09/15

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B		Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	293	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D		Sólidos Totales Suspendedos	2	8	14	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B		Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	322	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D		Sólidos Totales Suspendedos	2	8	23	mg/L

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Teléfono: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**Nota.** Análisis del afluente de las lagunas secundarias.

## Anexo A.7 (continuación)

**DELTA LAB S.A.C.**

**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

Registro N° LE - 077

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 2/2

**INFORME DE ENSAYO N° 1909093**

Código de Laboratorio: 1909093-5	Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 3	Fecha de Muestreo: 2019/09/15 Hora: 15:30 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	252	mg/L

Código de Laboratorio: 1909093-6	Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 3	Fecha de Muestreo: 2019/09/15 Hora: 15:12 Tipo de muestra: Agua Residual			
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	4	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:  
Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.  
Sólidos Totales Suspendedos: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103 105°C

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al Informe de Ensayo".
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.

Lima, 24 de setiembre del 2019

**DELTA LAB S.A.C.**  
EDSON CASTANEDA OSORIO  
JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICOQUÍMICA

**DELTA LAB S.A.C.**  
RAQUEL ROSALES TORRES  
SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**Nota.** Efluente del tratamiento primario (cinco días de tratamiento).

## Anexo A.8

Informe de ensayo N° 1909114 del 2019/09/19

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B		Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	259	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D		Sólidos Totales Suspendedos	2	8	60	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B		Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	261	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D		Sólidos Totales Suspendedos	2	8	32	mg/L

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Teléfax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**Nota.** Análisis después de cuatro días de tratamiento (fitorremediación).

## Anexo A.8 (continuación)

**DELTA LAB S.A.C.**

**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado  
Registro N° LE - 077

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077**

Pág. 2/2

**INFORME DE ENSAYO N° 1909114**

---

Código de Laboratorio: 1909114-5      Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 3      Fecha de Muestreo: 2019/09/19  
Hora: 13:56  
Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	241	mg/L

---

Código de Laboratorio: 1909114-6      Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 3      Fecha de Muestreo: 2019/09/19  
Hora: 14:08  
Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	28	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:  
 Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.  
 Sólidos Totales Suspendedos: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103 105°C.

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo".
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.

Lima, 30 de setiembre del 2019.

**DELTA LAB S.A.C.**  
EDSON CASTANEDA OSORIO  
JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICOQUÍMICA

**DELTA LAB S.A.C.**  
RAQUEL ROSALES TORRES  
SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

## Anexo A.9

Informe de ensayo N° 1909117 del 2019/09/22

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B		Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	171	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D		Sólidos Totales Suspendedos	2	8	36	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B		Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	177	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D		Sólidos Totales Suspendedos	2	8	28	mg/L

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Teléfono: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**Nota.** Análisis después de siete días de tratamiento (fitorremediación).

## Anexo A.9 (continuación)

**DELTA LAB S.A.C.**

**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Registro N° LE-077

Pág. 2/2

**INFORME DE ENSAYO N° 1909117**

---

Código de Laboratorio: 1909117-5	Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 3	Fecha de Muestreo: 2019/09/22 Hora: 13:11
Tipo de muestra: Agua Residual		

---

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	160	mg/L

---

Código de Laboratorio: 1909117-6	Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 3	Fecha de Muestreo: 2019/09/22 Hora: 13:30
Tipo de muestra: Agua Residual		

---

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	48	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.

Sólidos Totales Suspendedos: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo".
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.

Lima, 01 de octubre del 2019.

**DELTA LAB S.A.C.**  
EDSON CASTANEDA OSORIO  
JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICOQUÍMICA

**DELTA LAB S.A.C.**  
RAQUEL ROSALES TORRES  
SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada.

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Teléfono: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

## Anexo A.10

Informe de ensayo N° 1909126 del 2019/09/26

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B		Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	92	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D		Sólidos Totales Suspendedos	2	8	18	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B		Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	99	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D		Sólidos Totales Suspendedos	2	8	12	mg/L

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Teléfono: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**Nota.** Análisis después de once días de tratamiento secundario (fitorremediación).

## Anexo A.10 (continuación)

**DELTA LAB S.A.C.**

**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayos  
Acreditado

Registro Nº LE - 077

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO Nº LE-077

Pág. 2/2

**INFORME DE ENSAYO Nº 1909126**

Código de Laboratorio: 1909126-5	Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 3	Fecha de Muestreo: 2019/09/26 Hora: 14:25			
Tipo de muestra: Agua Residual					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	88	mg/L

Código de Laboratorio: 1909126-6	Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 3	Fecha de Muestreo: 2019/09/26 Hora: 14:50			
Tipo de muestra: Agua Residual					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	16	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:  
Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.  
Sólidos Totales Suspendedos: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103 105°C.

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o emienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al Informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.

Lima, 04 de octubre del 2019.

**DELTA LAB S.A.C.**  
EDSON CASTANEDA OSORIO  
JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICOQUÍMICA

**DELTA LAB S.A.C.**  
RAQUEL ROSALES TORRES  
SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
CIP Nº 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

## Anexo A.11

Informe de ensayo N° 1910001 del 2019/09/29

**DELTA LAB S.A.C.**

**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado  
Registro N° 12 - 077

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 1/2

**INFORME DE ENSAYO N° 1910001**

Cliente : CCAPCHA CUTIMBO CARLOS  
Domicilio legal : Jr. Tahuantinsuyo Mz. 18 Lt. 19, Pisco - Ica.  
Producto : Agua Residual  
Referencia del cliente : Proyecto: "Diseño del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche - Ica por medio de la *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua)"

Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Lagunas de Oxidación Cachiche ICA.

Referencia del plan de muestreo : No Aplica  
Procedimiento de muestreo : No Aplica  
Fecha de recepción de las muestras : 2019/10/01  
Fecha de inicio del ensayo : 2019/10/01  
Fecha de término del ensayo : 2019/10/09

---

Código de Laboratorio: 1910001-1 Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 1 Fecha de Muestreo: 2019/09/29  
Hora: 12:25  
Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	30	mg/L

---

Código de Laboratorio: 1910001-2 Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 1 Fecha de Muestreo: 2019/09/29  
Hora: 12:45  
Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendidos	2	8	6	mg/L

---

Código de Laboratorio: 1910001-3 Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 2 Fecha de Muestreo: 2019/09/29  
Hora: 14:00  
Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	27	mg/L

---

Código de Laboratorio: 1910001-4 Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 2 Fecha de Muestreo: 2019/09/29  
Hora: 13:10  
Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendidos	2	8	6	mg/L

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**Nota.** Análisis después de catorce días de tratamiento secundario (fitorremediación).

## Anexo A.11 (continuación)

**DELTA LAB S.A.C.**

**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

Registro N° 12 - 021

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 2/2

**INFORME DE ENSAYO N° 1910001**

---

Código de Laboratorio: 1910001-5	Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 3	Fecha de Muestreo: 2019/09/29 Hora: 13:30 Tipo de muestra: Agua Residual
-------------------------------------	--	--

---

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	28	mg/L

---

Código de Laboratorio: 1910001-6	Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 3	Fecha de Muestreo: 2019/09/29 Hora: 13:53 Tipo de muestra: Agua Residual
-------------------------------------	--	--

---

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	6	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:  
 Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.  
 Sólidos Totales Suspendedos: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103 105°C.

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo".
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.

Lima, 10 de octubre del 2019

**DELTA LAB S.A.C.**  
EDSON CASTANEDA OSORIO  
JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICOQUÍMICA

**DELTA LAB S.A.C.**  
RAQUEL ROSALES TORRES  
SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

## Anexo A.12

Informe de ensayo N° 1910010 del 2019/10/03

**DELTA B S.A.C.**

**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

Registro N° LE - 077

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 1/2

**INFORME DE ENSAYO N° 1910010**

Cliente : CCAPCHA CUTIMBO CARLOS  
Domicilio legal : Jr. Tahuantinsuyo Mz. 18 Lt. 19, Pisco – Ica.  
Producto : Agua Residual  
Referencia del cliente : Proyecto: "Diseño del proceso de tratamiento secundario de las aguas residuales de las lagunas de oxidación de Cachiche - Ica por medio de la *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua)"

Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Lagunas de Oxidación Cachiche ICA.

Referencia del plan de muestreo : No Aplica  
Procedimiento de muestreo : No Aplica  
Fecha de recepción de las muestras : 2019/10/04  
Fecha de inicio del ensayo : 2019/10/04  
Fecha de término del ensayo : 2019/10/10

---

Código de Laboratorio: 1910010-1      Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 1      Fecha de Muestreo: 2019/10/03  
Hora: 13:30  
Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	43	mg/L

---

Código de Laboratorio: 1910010-2      Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 1      Fecha de Muestreo: 2019/10/03  
Hora: 14:24  
Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendidos	2	8	13	mg/L

---

Código de Laboratorio: 1910010-3      Estación de Muestreo: LAGUNA SECUNDARIA 2      Fecha de Muestreo: 2019/10/03  
Hora: 15:15  
Tipo de muestra: Agua Residual

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	44	mg/L

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:  
Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.  
Sólidos Totales Suspendidos: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103 105°C.

**Nota.** Análisis después de dieciocho días de tratamiento secundario (fitorremediación).

## Anexo A.13

Informe de ensayo N° 1910011 del 2019/10/03

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D		Sólidos Totales Suspendidos	2	8	12	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 5210 B		Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	46	mg/L

Método de Referencia		Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
APHA 2540 D		Sólidos Totales Suspendidos	2	8	10	mg/L

**Ensayo: Descripción del Método de Referencia:**

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.

Sólidos Totales Suspendidos: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103 105°C.

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Teléfono: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

## Anexo A.13 (continuación)

**DELTA LAB S.A.C.**

**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

Registro N° LE - 077

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 2/2

**INFORME DE ENSAYO N° 1910011**

Notas:

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o emmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.

Lima, 11 de octubre del 2019.

**DELTA LAB S.A.C.**  
*Edson Castaneda Osorio*  
**EDSON CASTANEDA OSORIO**  
JEFE DE LABORATORIO DE FISICOQUIMICA

**DELTA LAB S.A.C.**  
*Raquel Rosales Torres*  
**RAQUEL ROSALES TORRES**  
SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada.

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Teléfax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**Nota.** En esta se describe si se cumplió, las especificaciones, exigido por la empresa; para que los análisis sean conformes.