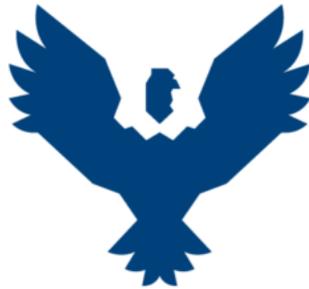




# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



## TESIS

---

**“EFECTIVIDAD FITORREMEDIADORA DEL HELECHO ACUÁTICO (*Azolla filiculoides*) EN LOS EFLUENTES RESIDUALES MUNICIPALES DEL DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, 2022”**

---

### LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

TECNOLOGÍAS LIMPIAS Y REMEDIACIÓN

### PRESENTADO POR:

YULIANNA BORDA ROMERO

ANGELY METHABEL PALOMINO ITURRIAGA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

INGENIERO AMBIENTAL

### ASESOR:

MGT. TEODORO HUARHUA CHIPANI

CUSCO – PERÚ

2022



## Dedicatoria

*La investigación es dedicada a mis padres Victor Borda Huayana y Alejandrina Romero Santarosa quienes son mis maestros de vida y gracias a ellos tengo la convicción y firmeza de nunca rendirme en la vida, gracias por todo el esfuerzo que hicieron por mí, a mis hermanos Milagros y Dylan quienes siempre me ven como un ejemplo y segunda madre.*

*A mi hija Daphne Alessia, mi pareja y compañero de aventuras Dane, quienes desde el momento que llegaron a mi vida han sido mi inspiración y motor para culminar este sueño tan anhelado.*

### **Yulianna Borda Romero**

*Dedico este trabajo de investigación a todas las personas más importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme todo su apoyo, a mis padres, Jesús Palomino Avalos y Anny Iturriaga Fernández Baca quienes siempre estuvieron ahí para motivarme, inspirarme y sostenerme cuando lo necesitaba, gracias a su esfuerzo y apoyo incondicional, hicieron que este objetivo sea posible, para ustedes por siempre mi cariño, amor y corazón. Papá y mamá, los amo.*

*Para mi hermano, Jesús Gustavo, quien siempre me saco una sonrisa de alegría y decirle que este logro para él sea de ejemplo y que siempre alcance y luche por sus metas en la vida.*

### **Angely M. Palomino Iturriaga**



## Agradecimiento

Agradecidas con Dios, por cada día otorgado para cumplir con nuestras metas y objetivos.

Agradecidas con nuestros padres, por el apoyo incondicional y la motivación a cumplir con cada meta.

Agradecidas con nuestro asesor; Mgt. Teodoro Huarhua Chipani, por su tiempo, esfuerzo y el acompañamiento continuo que nos ha brindado a lo largo de esta investigación.

A nuestros dictaminantes: Dra. Violeta Eugenia Zamalloa Acurio y al Mgt. Juan José Zuñiga Negrón, por su paciencia, colaboración, apoyo constante y sugerencias que nos brindaron durante el desarrollo del trabajo de investigación.

Agradecidas con cada uno de los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental, por impartirnos conocimientos y orientarnos a lo largo de nuestra vida universitaria.



## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene el propósito de evaluar la efectividad fitorremediadora del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas. La evaluación se realizó durante un periodo de 60 días, durante los meses de junio, julio y agosto del 2022, en el distrito de Talavera – Andahuaylas, bajo condiciones de invernadero, donde se realizaron cuatro tratamientos con tres repeticiones, las cuales incluyeron: un tratamiento testigo con 30 litros del efluente residual, tratamiento, T<sub>1</sub>: 30 litros del efluente residual más 300 g de *Azolla*, T<sub>2</sub>: 30 litros del efluente residual más 400 g de *Azolla* y T<sub>3</sub>: 30 litros del efluente residual más 500 g de *Azolla*, se empleó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). Como parte de los objetivos, se realizó la evaluación de siete parámetros (Aceites y grasas, DBO<sub>5</sub>, DQO, Coliformes termotolerantes, pH, temperatura, sólidos totales en suspensión) siendo comparados con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles para efluentes residuales de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR). Asimismo, se demostró la influencia del Perifiton en la efectividad fitorremediadora del efluente residual municipal a través de análisis de ensayo cuantitativo de perifiton. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: Para los tratamientos de la investigación, se obtuvo que a los 45 días los parámetros analizados alcanzan un porcentaje de eficiencia alto, el tratamiento T<sub>1</sub> resulto ser el más efectivo, el DBO<sub>5</sub> presenta un 99.9%, el DQO 96,9%, los Sólidos Totales en Suspensión con un 78%, aceites y grasas con un 98.6%, Coliformes termotolerantes al 100%, así mismo se obtuvo un pH básico y una temperatura en el rango de 18.5 a 19.61 °C.

**Palabras Clave:** Fitorremediación, *Azolla filiculoides*, agua residual, helecho acuático, Perifiton.



### Abstract

The present research work has the purpose of evaluating the phytoremediation effectiveness of the aquatic fern (*Azolla filiculoides*) in the municipal waste effluents of the district of Talavera, province of Andahuaylas. The evaluation was carried out during a period of 60 days, during the months of June, July and August 2022, in the district of Talavera - Andahuaylas, under greenhouse conditions, where four treatments with three replicates were carried out, which included: a control treatment with 30 liters of residual effluent, treatment, T1: 30 liters of residual effluent plus 300 g of Azolla, T2: 30 liters of residual effluent plus 400 g of Azolla and T3: 30 liters of residual effluent plus 500 g of Azolla, a completely randomized block design (DBCA) was used. As part of the objectives, the evaluation of seven parameters (oils and fats, BOD5, COD, thermotolerant coliforms, pH, temperature, total suspended solids) was carried out and compared with Supreme Decree No. 003-2010-MINAM - Maximum Permissible Limits for waste effluents from domestic or municipal wastewater treatment plants (WWTP). Likewise, the influence of Periphyton on the phytoremediation effectiveness of municipal wastewater effluent was demonstrated through quantitative periphyton assay analysis. The results obtained were as follows: For the research treatments, it was obtained that after 45 days the analyzed parameters reach a high efficiency percentage, the T1 treatment turned out to be the most effective, BOD5 presents 99.9%, COD 96.9%, Total Suspended Solids with 78%, oils and fats with 98.6%, thermotolerant Coliforms at 100%, likewise a basic pH and a temperature in the range of 18.5 to 19.61 °C were obtained.

**Key Words:** phytoremediation, *Azolla filiculoides*, wastewater, aquatic fern.



## Introducción

La ONU (2020) , señala que el agua es un elemento clave del desarrollo sostenible, esencial para el progreso socioeconómico, así como para la energía, producción de alimentos, los ecosistemas y supervivencia humana, es un componente básico para la adaptación climática y un vínculo primordial entre la sociedad y el medio ambiente.

En la actualidad los seres humanos se están enfrentando a grandes desafíos y uno de ellos es la disminución del recurso hídrico en todo el planeta, y una de las causas más preocupantes es el crecimiento poblacional y descarga de contaminantes en el agua: natural, que son vertidos sin tratamiento a ríos y quebradas, ocasionando la pérdida de ecosistemas acuáticos, limitando de forma significativa la disponibilidad de este recurso en condiciones óptimas para el consumo humano.

Esta grave problemática plantea una gestión sostenible del agua, basada en la eco eficiencia del recurso hídrico. Así los usos de tecnologías sostenibles son alternativas que en la actualidad diversas comunidades o pueblos de los países en desarrollo, especialmente en Latinoamérica plantean para solucionar este problema. Según (Villalobos, 2016), así pues, la utilización de tecnologías tradicionales ya exploradas en países desarrollados tienden a ser muy efectivas, pero por lo general son muy costosas de construir y operar, lo que requiere el desarrollo e implementación de nuevos sistemas, con el fin de disminuir la carga contaminante del efluente y de esta manera recuperar el ecosistema acuático y por consecuente mejorar la salud de la población.

Mendoza et al (2016), indica que en términos de operación y mantenimiento, la fitorremediación es una opción económica para el tratamiento de aguas residuales, que también es ambientalmente responsable y libre de energía El objetivo de este estudio es utilizar ejemplos para mostrar la eficacia de los tratamientos con los que se pueden tratar los efluentes residuales municipales a través del el uso de humedales artificiales a nivel experimental empleando la macrófita flotante - helecho acuático (*Azolla filiculoides*) como sistema de tratamiento natural para acumular y degradar contaminantes a través de la fitorremediación – fitoextracción.



## Índice General

Dedicatoria.....	2
Agradecimiento.....	2
Resumen.....	3
Abstract.....	4
Introducción.....	5
Índice General.....	6
Índice de Tablas.....	10
Índice de Figuras.....	13
Capítulo I: Planteamiento del Problema.....	16
1.1. Planteamiento del Problema.....	16
1.2. Formulación Interrogativa del problema.....	17
1.2.1. Formulación Interrogativa del problema general.....	17
1.2.2. Formulación Interrogativa de los problemas específicos.....	17
1.3. Justificación.....	18
1.3.1. Conveniencia.....	18
1.3.2. Relevancia Social.....	18
1.3.3. Implicancias prácticas.....	18
1.3.4. Valor Teórico.....	19
1.3.5. Utilidad Metodológica.....	19
1.4. Objetivo de la Investigación.....	19
1.4.1. Objetivo General.....	19
1.4.2. Objetivos Específicos.....	19
1.5. Delimitación del Estudio.....	20
1.5.1. Delimitación espacial.....	20
1.5.2. Delimitación temporal.....	20



Capítulo II: Marco Teórico .....	21
2.1. Antecedentes de la Tesis .....	21
2.1.1. Antecedentes a Nivel Internacional .....	21
2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional.....	22
2.2. Bases Teóricas.....	24
2.2.1 Fitorremediación .....	24
2.2.2. Fitoextracción.....	25
2.2.3. Fitodepuración .....	26
2.2.4. Macrofitas Acuáticas.....	26
2.2.5. Clases de plantas acuáticas .....	26
2.2.6. Raíces de las macrófitas .....	28
2.2.7. Plantas Acuáticas en el tratamiento de Aguas Residuales .....	28
2.2.8. Transferencia del oxígeno de la planta acuática al agua.....	28
2.2.9. Reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) y demanda química de oxígeno (DQO) por el macrófito .....	30
2.2.10. Helecho Acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) .....	30
2.2.11. Cianofícea <i>Anabaena azollae</i> .....	33
2.2.12. Perifiton.....	33
2.2.12. Importancia del perifiton en los ecosistemas acuáticos .....	34
2.2.13. Metodología de Colecta .....	34
2.2.14. Grupos Taxonómicos del Perifiton .....	34
2.3. Marco Conceptual .....	44
2.4. Marco legal Aplicada .....	47
2.5. Hipótesis.....	48
2.5.1. Hipótesis General.....	48
2.5.2. Hipótesis Específicas .....	48
2.6. Variables e Indicadores .....	49



2.6.1. Identificación de Variables .....	49
2.6.1.1. Variable Independiente .....	49
2.6.1.2. Variable Dependiente .....	49
2.6.2. Cuadro de Operacionalización de variables.....	50
Capítulo III: Método .....	51
3.1. Alcance del estudio .....	51
3.1.1. Enfoque de la Investigación.....	51
3.1.2. Nivel o alcance de la investigación.....	51
3.1.3. Método de Investigación.....	51
3.2. Diseño de la Investigación .....	52
3.2.1 Diseño metodológico .....	52
3.3. Población.....	53
3.4. Muestra.....	54
3.4.1. Descripción de la muestra .....	54
3.4.2. Criterios de inclusión .....	55
3.5. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	56
3.5.1. Técnicas de recolección de datos .....	56
3.5.2. Técnicas de campo .....	56
3.5.3. Instrumentos de Ingeniería.....	63
3.6. Plan de análisis de datos.....	64
3.6.1. Título de la prueba de laboratorio o procedimiento que se realizó para la recolección de datos.....	64
3.7. Procedimientos de Análisis de datos.....	65
Capítulo IV: Resultados de la Investigación.....	67
4.1. Evaluación de la efectividad fitorremediadora del helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) en los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas.....	67



4.1.1. Evaluación del efluente residual municipal al ingreso del sistema de tratamiento de fitorremediación con la especie vegetativa Helecho Acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ). .....	67
4.1.2. Evaluación del efluente residual municipal a los 45 días con el sistema de tratamiento de fitorremediación con la especie vegetativa Helecho Acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ). .....	68
4.1.3. Análisis de los resultados por cada parámetro físico-químico.....	70
4.1.4. Evaluación del efluente residual municipal a los 60 días del sistema de tratamiento de fitorremediación con la especie vegetativa Helecho Acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> )....	77
4.1.5. Comparación de tratamientos realizados .....	79
1.1. Estimación de la capacidad depuradora del factor de absorción del sistema radicular del helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) para la fitorremediación de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas. ....	80
4.2.1. pH.....	80
4.2.2. Temperatura.....	87
4.2.3. Parámetros Sólidos Totales Suspendidos.....	91
4.2.4. Demanda Química de Oxígeno .....	97
4.2.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....	101
4.2.6. Aceites y grasas.....	106
4.2.7. Oxígeno Disuelto .....	109
4.2.8. Coliformes Termotolerantes .....	114
4.2.9. Eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos después del proceso fitorremediador con el helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) en el efluente residual municipal. ....	119
1.2. Influencia del Perifiton en la efectividad fitorremediadora del helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) en los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, 2022. ....	120
4.3.1. Evaluación de los Microorganismos identificados en el Perifiton asociados al helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) antes y después del proceso fitorremediador.....	120



1.3. Población efectiva del helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) para la fitorremediación de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, 2022. ....	123
Capítulo V: Discusión.....	125
4.4. Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos.....	125
4.5. Limitaciones del estudio.....	125
4.6. Comparación crítica con la literatura existente .....	126
4.7. Implicancias del estudio .....	127
Conclusiones .....	128
Recomendaciones .....	129
Referencias.....	130
ANEXOS .....	140
Anexo 01: Informes de laboratorio.....	141
Anexo 02. Recolección del <i>Azolla filiculoides</i> y toma de muestra para el Perifiton.....	149
Anexo 04. Medición de pH y Temperatura del efluente residual.....	150
Anexo 05. Fotografías del recojo de muestras para el análisis en laboratorio.....	151
Glosario.....	153

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Croquis del diseño de la distribución de tratamientos .....	53
<b>Tabla 2</b> Cuadro de coordenadas geográficas UTM.....	54
<b>Tabla 3</b> Cuadro de coordenadas geográficas UTM.....	61
<b>Tabla 4</b> Lista de parámetros físicos - químicos .....	64
<b>Tabla 5</b> Lista de Parámetros microbiológicos .....	65
<b>Tabla 6</b> Resultado de los parámetros analizados del efluente antes del tratamiento. ....	68
<b>Tabla 7</b> Resultado de los parámetros analizados del efluente residual municipal a los 45 días .....	69



<b>Tabla 8</b> <i>Evaluación del efluente residual municipal a los 60 días del sistema de tratamiento de fitorremediación con la especie vegetativa Helecho Acuático</i> .....	77
<b>Tabla 9</b> <i>Resultados obtenidos en el transcurso del tratamiento</i> .....	79
<b>Tabla 10</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo de pH a los 0 días.</i> .....	80
<b>Tabla 11</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo de pH a los 45 días</i> .....	82
<b>Tabla 12</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo de pH a los 60 días</i> .....	83
<b>Tabla 13</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro pH a los 60 días</i> .....	84
<b>Tabla 14</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo de Temperatura a los 0 días</i> .....	87
<b>Tabla 15</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo de Temperatura a los 45 días</i> .....	88
<b>Tabla 16</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo de Temperatura a los 60 días.</i> .....	89
<b>Tabla 17</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro temperatura a los 60 días</i> ....	90
<b>Tabla 18</b> <i>Análisis de monitoreo del parámetro Sólidos Totales Suspendedos a los 0 días</i> ....	91
<b>Tabla 19</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo de Sólidos Totales Suspendedos a los 45 días</i> ..	92
<b>Tabla 20</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de sólidos totales suspendidos a los 45 días</i> .....	93
<b>Tabla 21</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo de Sólidos Totales Suspendedos a los 60 días</i> ..	94
<b>Tabla 22</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de sólidos totales suspendidos a los 60 días</i> .....	95
<b>Tabla 23</b> <i>Análisis de monitoreo del parámetro de Demanda Química de Oxígeno a los 0 días</i> .....	97
<b>Tabla 24</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Demanda Química de Oxígeno a los 45 días</i> .....	97
<b>Tabla 25</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de Demanda Química de Oxígeno a los 45 días</i> .....	98
<b>Tabla 26</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Demanda Química de Oxígeno a los 60 días</i> .....	99
<b>Tabla 27</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de Demanda Química de Oxígeno a los 60 días</i> .....	100
<b>Tabla 28</b> <i>Análisis de monitoreo del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) a los 0 días</i> .....	101
<b>Tabla 29</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 45 días</i> .....	102
<b>Tabla 30</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 45 días</i> .....	103



<b>Tabla 31</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 60 días</i> .....	104
<b>Tabla 32</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 60 días</i> .....	105
<b>Tabla 33</b> <i>Análisis de monitoreo del parámetro de aceites y grasas a los 0 días</i> .....	106
<b>Tabla 34</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de aceites y grasas a los 60 días</i> .....	107
<b>Tabla 35</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de aceites y grasas a los 60 días</i> .....	108
<b>Tabla 36</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo de Oxígeno Disuelto a los 0 días</i> .....	109
<b>Tabla 37</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Oxígeno Disuelto a los 45 días</i> .....	110
<b>Tabla 38</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de oxígeno disuelto a los 45 días</i> .....	111
<b>Tabla 39</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Oxígeno Disuelto a los 60 días</i> .....	112
<b>Tabla 40</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de oxígeno disuelto a los 60 días</i> .....	113
<b>Tabla 41</b> <i>Análisis de monitoreo del parámetro de Coliformes Termotolerantes a los 0 días</i> .....	114
<b>Tabla 42</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Coliformes Termotolerantes a los 45 días</i> .....	115
<b>Tabla 43</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de oxígeno disuelto a los 45 días</i> .....	115
<b>Tabla 44</b> <i>Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Coliformes Termotolerantes a los 60 días</i> .....	117
<b>Tabla 45</b> <i>Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de oxígeno disuelto a los 60 días</i> .....	117
<b>Tabla 46</b> <i>Organismos (Células o Unidades) /mm<sup>2</sup> encontradas en las raíces del helecho acuático (Azolla filiculoides) antes y después del procedimiento fitorremediador</i> .....	120



## Índice de Figuras

<b>Figura1</b> Tipos de fitorremediación según la zona de la planta .....	24
<b>Figura2</b> Principales plantas acuáticas .....	27
<b>Figura3</b> Proceso de absorción de oxígeno en un macrófito .....	29
<b>Figura4</b> Helecho Acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ).....	31
<b>Figura5</b> Taxonomía .....	31
<b>Figura6</b> Diversidad de formas y tamaños de diatomeas .....	35
<b>Figura7</b> <i>Amphora</i> sp.....	35
<b>Figura8</b> <i>Epithemia</i> sp. ....	36
<b>Figura9</b> <i>Nitzschia</i> sp.....	37
<b>Figura10</b> <i>Oedogonium</i> .....	38
<b>Figura11</b> Ilustración de <i>Pandorina</i> .....	39
<b>Figura12</b> Imagen microscópica del <i>Acutodesmus</i> sp. ....	39
<b>Figura13</b> Imagen microscópica del <i>Microthamnion</i> sp. ....	40
<b>Figura14</b> Imagen microscópica del <i>Euglena</i> sp.....	41
<b>Figura15</b> Imagen microscópica del <i>Cylindrospermum</i> sp .....	42
<b>Figura16</b> Imagen microscópica del <i>Merismopedia</i> sp. ....	43
<b>Figura17</b> La micro morfología de <i>Pseudanabaena</i> sp. ....	44
<b>Figura19</b> Fotografía de la zona de estudio, Talavera - Andahuaylas .....	54
<b>Figura20</b> Fotografía de la señal de vertimiento de aguas residuales.....	55
<b>Figura21</b> Estructura del diseño en bloques completos al azar .....	55
<b>Figura22</b> Fotografía de la zona de estudio e ingreso de investigadoras en campo .....	57
<b>Figura23</b> Enjuague de los envases y toma de muestra del efluente residual en la zona de muestreo .....	57
<b>Figura24</b> Computo de los parámetros ambientales estudiado.....	58
<b>Figura25</b> Etiquetado y rotulado de identificación .....	58
<b>Figura26</b> Conservación y transporte de las muestras. ....	59
<b>Figura27</b> Exteriores del ambiente prefabricado para unidades experimentales.....	60
<b>Figura28</b> Recolección de la planta macrófita <i>Azolla filiculoides</i> . ....	60
<b>Figura29</b> Segregación de la planta macrófita <i>Azolla filiculoides</i> del agua. ....	61
<b>Figura30</b> Vestimenta empleada como protección personal .....	61



<b>Figura 31</b> Variación de la concentración de los coliformes termotolerantes a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) comparados con los LMP.....	70
<b>Figura 32</b> Variación de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) comparados con los LMP. ....	71
<b>Figura 33</b> Variación de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) comparados con los LMP. ....	72
<b>Figura 34</b> Variación de la concentración del pH los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) comparados con los LMP. ....	73
<b>Figura 35</b> Variación de la concentración de la temperatura ( $^{\circ}C$ ) a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) comparados con los LMP. ....	74
<b>Figura 36</b> Variación de la concentración de los Sólidos Totales en Suspensión (SST) a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) comparados con los LMP. ....	75
<b>Figura 37</b> Variación de la concentración de aceites y grasas a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) comparados con los LMP.....	76
<b>Figura 38</b> Monitoreo de pH a los 0 días .....	81
<b>Figura 39</b> Monitoreo de pH a los 45 días .....	83
<b>Figura 40</b> Monitoreo de pH a los 60 días .....	85
<b>Figura 41</b> Evolución del pH por cada tratamiento con helecho acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ) .....	86
<b>Figura 42</b> Monitoreo de Temperatura a los 0 días .....	88
<b>Figura 43</b> Monitoreo de Temperatura a los 45 días .....	89
<b>Figura 44</b> Monitoreo de temperatura a los 60 días .....	91
<b>Figura 45</b> Monitoreo de sólidos totales suspendidos a los 45 días .....	94
<b>Figura 46</b> Monitoreo de sólidos totales suspendidos a los 60 días .....	96
<b>Figura 47</b> Monitoreo de Demanda Química de Oxígeno a los 45 días .....	98
<b>Figura 48</b> Monitoreo de Demanda Química de Oxígeno a los 60 días .....	100
<b>Figura 49</b> Monitoreo de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 45 días.....	103
<b>Figura 50</b> Monitoreo de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 60 días.....	106
<b>Figura 51</b> Monitoreo de aceites y grasas a los 60 días .....	108
<b>Figura 52</b> Monitoreo de Oxígeno Disuelto a los 0 días .....	110



<b>Figura 53</b> <i>Monitoreo de Oxígeno Disuelto a los 45 días</i> .....	112
<b>Figura 54</b> <i>Monitoreo de Oxígeno Disuelto a los 60 días</i> .....	114
<b>Figura 55</b> <i>Monitoreo de Coliformes Termotolerantes a los 45 días</i> .....	116
<b>Figura 56</b> <i>Monitoreo de Coliformes Termotolerantes a los 45 días</i> .....	118
<b>Figura 57</b> <i>Eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos después del proceso fitorremediador con el helecho acuático (Azolla filiculoides) en el efluente residual municipal.</i> .....	119



## Capítulo I: Planteamiento del Problema

### 1.1. Planteamiento del Problema

El agua es un recurso esencial para sustentar la vida y el crecimiento de una sociedad, pero actualmente este recurso tan de vital importancia está bajo mucho estrés en este momento.

Diversos factores como la falta de planificación y ordenamiento territorial que se traduce en la inadecuada división de tiempo y espacio de la demografía; al igual que la polución y pérdida de hidrología, establecen un diagnóstico crítico, que se traduce en la inestabilidad del recurso hídrico. En el último decenio del siglo XX, la polución hacia el agua ha incrementado progresivamente en casi todas las cuencas hidrográficas de América Latina, África y Asia existiendo una principal causa, la intensificación de vaciado de aguas sin tratamiento al flujo hídrico más cercano como ríos o lagos (UNESCO, 2016).

De acuerdo con el Informe mundial de la ONU respecto a recursos hídricos; en países en desarrollo las aguas residuales en un 80% se descargan sin ningún tipo de tratamiento llegando a contaminar ríos, lagos y zonas costeras, provocando daño al entorno hidrológico, terrestre y subterráneo. Las aguas contaminadas vertidas a corrientes de agua, se transportan aguas abajo, infiltrándose en acuíferos perpetrando la calidad y disponibilidad de los recursos de agua dulce (UNESCO, 2019).

En el territorio peruano, para el año 2019, era muy usual verter aguas residuales sin tratar a la red de drenaje, aproximadamente 262 696 865 m<sup>3</sup> por día donde solo el 32% de estas reciben tratamiento (INEI, 2020). Según el en el 'Programa de Adecuación de Vertimientos y Reúso de Aguas Residuales' - PAVER que está regido por la 'normativa Autoridad Nacional del Agua', la magnitud de aguas vertidas anualmente equivalen al 54 m<sup>3</sup>/s, dañando en el proceso Fuentes superficiales de agua y 4 mil hectáreas agrícolas que son irrigadas con este tipo de agua (Fernández A. , 2006).

A nivel local, en la provincia de Andahuaylas todos los vertimientos de aguas residuales están aproximadamente en un 100%, y coinciden con el río Chumbao cuya ubicación está en zonas adyacentes a la población, siendo una Fuente importante de enfermedades y contaminación transmitida por moscas y ratas. Por lo tanto, la contaminación del río Chumbao es un problema latente, afectando principalmente la salud de la población, así como también las agrícolas y ganaderas influyendo de forma negativa en la economía local (Gobierno Regional de Apurímac, 2021).



Por otro lado, la EPS “EMSAP CHANKA S.C.R. LTDA” y el Consorcio Aguas Talavera S.A.C. - ATALSAC, órganos descentralizados que le permite actuar de manera autónoma a nivel financiero y administrativamente adjunto a la Municipalidad Provincial de Andahuaylas, están encargados del servicio de agua potable y alcantarillado. Sin embargo, hoy por hoy la empresa no posee competencias a nivel administrativo, técnica o económica para manejar de forma efectiva y apropiada las aguas residuales y preservar el sistema de drenaje. Cabe resaltar que estas empresas fueron sancionadas por realizar descarga de aguas residuales sin permiso de la Autoridad Nacional del Agua hacia el río Chumbao y si esta problemática continúa. De seguir la problemática planteada, la población de la provincia de Andahuaylas tendrá que enfrentar de manera eminente, amenazas potenciales para la salud, seguridad alimentaria, lo cual no contribuirá al desarrollo económico de las generaciones actuales y futuras (CAM, ANDAHUAYLAS, 2014).

Debido a este problema el estudio pretende valorar la capacidad fitorremediadora de la especie vegetativa helecho acuático (*Azolla Filiculoides*) mediante el diseño de un prototipo de humedal de ingeniería con escorrentía subterránea como sistema de depuración de aguas residuales a base de plantas.

## **1.2. Formulación Interrogativa del problema**

### ***1.2.1. Formulación Interrogativa del problema general***

¿Cuál será la efectividad fitorremediadora del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, 2022?

### ***1.2.2. Formulación Interrogativa de los problemas específicos***

- ¿Cuál será la efectividad de absorción del sistema radicular del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) para la fitorremediación de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas 2022?
- ¿Qué influencia tendrá el Perifiton en la efectividad fitorremediadora que posee el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) para la fitorremediación de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas 2022?
- ¿Cuál será la población efectiva del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en fase de madurez para la fitorremediación de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas 2022?



### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Conveniencia**

Este procedimiento a través del humedal artificial, contribuirá a la reducción de la contaminación de agua del río Chumbao, permitiendo recuperar el ecosistema del mismo, asimismo, los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales deberán cumplir con los criterios señalados en los límites máximos permisibles para los mismos.

#### **1.3.2. Relevancia Social**

El Perú representa a uno de los estados con mayor abundancia de agua a nivel internacional, en consonancia con ANA, la capacidad anual en promedio es de 1'768172 millones m<sup>3</sup>, desde una perspectiva externa el país no presenta problemas de abastecimiento hídrico; sin embargo, el 97 % se encuentra distribuido entre la selva y sierra, pero tan solo le concierne al 30 % de la población peruana. En tanto, el 2 % de agua disponible en la vertiente pacífica alberga al 65 % de los ciudadanos, pese a estas cifras las principales causas de estrés hídrico se deben a que ríos y lagos en los actuales momentos están contaminados, lo que ha contribuido a la degradación de este recurso.

La importancia de apostar en esta biotecnología radica en demostrar a la comunidad técnicas naturales como la fitorremediación, la cual logrará descontaminar de manera natural el río Chumbao y recuperar este recurso esencial, y en consecuencia la provincia de Andahuaylas podrá desarrollar sus actividades económicas y tener garantizada la seguridad alimentaria a largo y corto plazo de forma sostenible.

#### **1.3.3. Implicancias prácticas**

El helecho acuático al presentar diversas características morfológicas permitirá la absorción de nutrientes, estas permiten que el sistema radicular se oxigene y facilita la oxigenación de microorganismos residentes en rizósfera. Filtran los sólidos a través de la forja que se genera por su forma radial y eliminan contaminantes presentes en aguas residuales mediante la asimilación por tejido, llegando a disminuir acumulación de parámetros químicos y biológicos. La macrofitas acuáticas en estudio puede crecer a diferentes temperaturas que van desde 7° a 30 °C, lo cual puede aumentar entre los 15 y 18 grados; además se ajusta a variadas condiciones lumínicas, desarrollándose con mayor rapidez en fracciones calmadas y



sustanciosas en nutrientes, con altas porciones de nitrato y fosfato, cabe resaltar que logra tolerar un nivel de pH extenso que oscila entre 5 a 8 siendo el más adecuado, además puede sobrevivir en un rango de 3.5 – 10.

#### **1.3.4. Valor Teórico**

La justificación teórica radica, en que se reforzará la información sobre el uso de la macrófita flotante helecho acuático (*Azolla filiculoides*) relacionado con el proceso de tratamiento de aguas residuales municipales, además permitirá identificar especies dentro de la comunidad de microorganismos denominado perifiton.

#### **1.3.5. Utilidad Metodológica**

La aplicación de los humedales artificiales combinado con macrófitas flotantes servirán como una opción sostenible que ayudara al tratamiento secundario de aguas residuales municipales, la principal ventaja de este sistema de tratamiento de depuración natural es el costo, pues su elaboración no requiere de una inversión muy alta en su implementación y mantenimiento, además su operatividad es muy sencilla porque no necesita una gran cantidad de personal, ni requieren de energía eléctrica, así como tampoco de insumos y/o reactivos químicos para el tratamiento, por ello es considerado como un sistema inocuo, convirtiéndolo en un sistema de tratamiento biológico ambiental y económicamente viable.

### **1.4. Objetivo de la Investigación**

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

Evaluar la efectividad fitorremediadora del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, 2022.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Estimar la capacidad depuradora del factor de absorción del sistema radicular del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) para la fitorremediación de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, 2022.
- Demostrar la influencia del Perifiton en la efectividad fitorremediadora del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, 2022.



- Medir la población efectiva del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) para la fitorremediación de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, 2022.

## **1.5. Delimitación del Estudio**

### ***1.5.1. Delimitación espacial***

El trabajo de investigación se realizó en el departamento de Apurímac, provincia de Andahuaylas y distrito de Talavera, donde se recolectó la toma de muestra del efluente residual de la Consorcio Aguas Talavera S.A.C – ATALSAC.

### ***1.5.2. Delimitación temporal***

El periodo de tiempo del trabajo de investigación es desde el mes de agosto del año 2021 al mes de agosto del año 2022.



## Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1. Antecedentes de la Tesis

#### 2.1.1. Antecedentes a Nivel Internacional

Miranda et al. (2020), cuyo título es: “**Plantas acuáticas, *Landoltia punctata* y *Azolla filiculoides* como bioconvertidores de aguas residuales al biocombustible**”, ubicado en Australia, su **objetivo** fue: utilizar las plantas acuáticas, *Azolla filiculoides* y *Landoltia punctata*, como complemento fitorremediador de aguas residuales que contienen altos niveles de fosfato y nitratos, para ello se empleó la siguiente **metodología** tanto analítico como estadístico para la primera que se basó en el crecimiento bacteriano midiendo la densidad óptica a 600 nm en un espectrofotómetro y para el análisis estadístico todos los experimentos en este estudio se realizaron al menos por triplicado expresados como media  $\pm$  desviación estándar entre sus **conclusiones** fueron: El tratamiento con *L. punctata* seguido de *A. filiculoides* condujo a la eliminación completa de  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  hasta un 93% de reducción de  $\text{PO}_4$ . En experimentos en los que el tratamiento fue con *L. punctata*, seguido por *L. punctata* fresca. La concentración de  $\text{PO}_4$  se redujo en un 65%. En cuanto a la biomasa se utilizó como una Fuente alternativa de carbono para protistas marinos heterótrofos, traustoquitridios, que produjo hasta un 35% en peso seco de lípidos ricos en ácido palmítico (50% del total de ácidos grasos), el ácido graso clave para la producción de biodiésel.

Pérez de Arco y Castelblanco (2019), cuyo título es: “**Especies acuáticas de los humedales de Bogotá, Colombia con capacidad para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados**”, su **objetivo** fue: identificar especies acuáticas presentes en humedales de Bogotá que se pueden emplear para el tratamiento de aguas contaminadas con metal, la **metodología** utilizada empezó con el recojo de datos de especies acuáticas en humedales de Bogotá, seguidamente se analizó cada especie y su capacidad de bioacumulación de metal. Ordenada la información, los **resultados** indican que existen 48 especies, 24 no consignan información, 14 requieren de información precisa y solo una no puede emplearse por alta sensibilidad a cambios; y las especies restantes poseen capacidad de acumular, pero son afectadas por el pH y concentración. En **conclusión**, existen 48 especímenes de plantas acuáticas sub divididas en 24 grupos hallados entre los 15 humedales de la ciudad de Bogotá, Colombia, dentro de ellos la *Azolla Filiculoides*. presentando una rápida disminución de Cd y Zn presenta una capacidad para mejorar las características físico-químicas (TSS, TDS, DQO, DBO<sub>5</sub>, OD,



SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, turbiedad, pH), en cuanto al *Ranunculoides* sp. no se encuentra ninguna información asociada a la acumulación de metales pesados.

León et al (2018) cuyo título es: “**Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas servidas**”, ubicado en Ecuador, tuvo como **objetivo** ubicar plantas acuáticas que tiene capacidad para eliminar *E. coli* y coliformes presentes en aguas contaminadas. Entre las plantas ubicadas, se encuentran *Azolla caroliniana* Willd, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Pistia stratiotes* L., *Salvinia auriculata* Aubl. y *Lemna minor* L siguiendo la **metodología**, se utilizaron bioensayos in vitro para reproducir las plantas y se comprobó su capacidad para erradicar *E. coli* y coliformes. Además, midieron la temperatura, el pH y los sólidos disueltos totales. Las pruebas fueron tres y se efectuaron en agua con fertilizante y dosis de *E. coli* ATCC25922 como cepa de referencia. Las **conclusiones** revelan que posterior a una semana en la carga bacteriana, *Azolla. caroliniana*, *E. crassipes* y *Lemna sp* presentaron nivel de remoción de *E. coli* con 99%; en tanto *P. stratiotes* y *S. auriculata* exhibieron mayor porcentaje, al retirar el 100% de residuos. Reconocido el potencial removedor de las plantas; se realizaron ensayos en aguas residuales, *S. auriculata* y *A. caroliniana* removieron el 100% de coliformes y *E. coli*, sugiriéndose.

Huayamave y Layana (2018), cuyo título es: “**Determinación de la capacidad de absorción de metales pesados de la *Azolla caroliniana* en el Río Guayas/ Isla Santay**” planteo como **objetivo**: establecer la facultad absorbente de *A. caroliniana* aguas residuales con Pb y Cu, en condiciones supervisadas de temperatura, humedad, pH, intensidad y tiempo en luz. Para la **metodología** se utilizó la especie vegetativa *A. caroliniana*, que se cultivó en agua con Pb y Cu en concentraciones de 1, 2 y 3 ppm, respectivamente. La presencia de los metales pesados en estudio impidió el crecimiento del helecho, inhibiendo el Pb y el Cu el crecimiento en un 40% y 80%, respectivamente. Al finalizar el experimento, se midió la cantidad de metal pesado en la solución acuosa. Se utilizó absorción atómica de llama para el análisis y los resultados mostraron que los metales en cuestión eran indetectables, lo que indica una tasa de absorción óptima del 100% y demuestra la eficacia de *A. caroliniana* como fitorremediadora dando como **conclusión** que la *A. caroliniana*, es fácilmente cultivable en diferentes climas y condiciones ambientales además de captar el 100% de plomo.

### 2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional

Callohuanca (2019), cuyo título es: “**Uso de Macrofitas Flotantes en la Remoción de Nitrógeno, Fósforo y Sulfatos de las Aguas Residuales de Puno**”, tuvo como **objetivo**:



estimar indicadores ambientales de aguas contaminadas derramadas en el interior de la bahía de Puno, asimismo se centró en evaluar la eficiencia de macrófitas flotantes en la eliminación de N, P y sulfatos. La **metodología** fue la siguiente: Los macrófitos *Azolla filiculoides* Lam y *Lemna gibba* L se utilizaron en el estudio, realizado el 2019 durante las estaciones húmeda y seca. Las macrófitas se cultivaron en contenedores de 50x40x20 cm con un área de 0,20 m<sup>2</sup>, un volumen de 30 litros, por un periodo de retención de agua de 8 días. Los efectos estacionales y los macrófitos son oportunos en la eliminación de nitrógeno, fósforo y sulfatos, así como de biomasa. Obteniendo los siguientes **resultados**: Los parámetros de las aguas residuales vertidas a la bahía interior de Puno se encuentran por encima de los estándares de calidad ambiental establecidos, lo que confirma su potencial de eutrofización. Estos valores aumentan durante la estación seca, empeorando la calidad de las aguas residuales. Tanto *Lemna gibba* L como *Azolla filiculoides* Lam tuvieron eficiencias de remoción superiores durante la temporada de lluvias, con *Lemna gibba* L con una eficiencia del 73,08 por ciento y *Azolla filiculoides* Lam con una eficiencia del 81,83 por ciento. Entre su principal **conclusión** se reconoce que, durante el periodo de lluvias, las macrófitas presentan mayor eficiencia de remoción, por su parte *Lemna gibba* L. presento superior eficiencia con 73% de remoción de N; en tanto, *Azolla filiculoides* Lam tuvo una eficacia de remoción de P en un 81%; aunque, la remoción de sulfatos no fue significativa porque se incrementaron. Por otro lado, la biomasa tuvo una producción eficiente, 72% con *Lemna gibba* L. y 50% con *Azolla filiculoides* Lam.

Marquez (2018) cuyo título es: “**Dos especies de Macrofitas en la Fitorremediación de aguas residuales en una granja porcina de Zungarococha, San Juan Bautista, 2018**”, presento como **objetivo**: emplear las especies *Azolla caroliniana* y *Azolla filiculoides* por medio de seis tratamientos a aguas residuales que proceden de un proyecto con porcinos. La muestra fue tomada previo al tratamiento y posteriormente, a 90 y 120 días. Se emplea la **metodología** experimental y para el análisis de resultados se utilizó la prueba de normalidad. De esto se extrae la siguiente **conclusión**, para los parámetros de pH, sólido total, sales disueltas en muestras de agua a 90 días no exhiben resultados estadísticos relevantes. Por otra parte, los sólidos suspendidos y sedimentales presentan resultados significativos entre *A. caroliniana* y *A. filiculoides*, al ser el primero superior al segundo. Por su parte, DBO<sub>5</sub> reporta diferencias estadísticas al día 90, pero a los 120 días no presenta significancia estadística alguna.

García (2012), cuyo título es: “**Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas**”, su **objetivo** fue: contrastar los niveles depurativos de *Azolla filiculoides*, *Lemna*

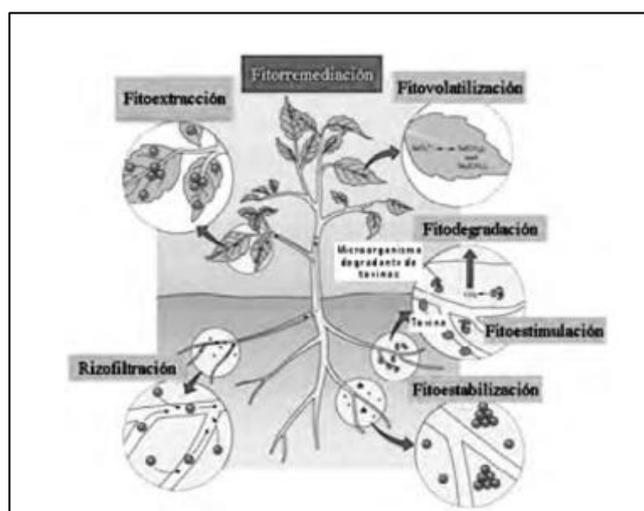
*minor* y *Eichhornia crassipes* en aguas contaminadas. El tratamiento experimental siguió un proceso de ‘tandas’ en un estanque y ‘flujo continuo’ en tres estanques de manera que la **metodología** consta de 2 fases: la parte principal esta referida al uso vegetación acuática en monocultivos como *Lemna M.* y *Eichhornia C.* Para ello, se emplearon los residuos de la PTAR-CITAR en Lima, posteriormente se evaluó el proceso de tratamiento de plantas acuáticas, que funcionaban como sistemas “por tandas. La segunda parte o método de investigación se debió al flujo lento de agua del OBT-CITAR en estanques poco profundos con vegetación de plantas acuáticas flotantes (*Lemna M.* y *Eichhornia*). Entre las **conclusiones** se reconoce que las tres plantas acuáticas tienen posibilidad de remoción del 90%, el *Azolla filiculoides* es capaz de remover eficientemente el 50% de nutrientes a diferencia de los otros que tan solo llegan al 40%. Además, los parámetros nitrogenados incrementan a diferencia de los nitratos que se acrecientan con *Lemna minor*, pero son eliminados con *Eichhornia Crassipes*. Por otro lado, los indicadores microbiológicos no presentaron nivel de remoción significativa.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1 Fitorremediación

**Figura1**

*Tipos de fitorremediación según la zona de la planta*



Fuente: *Tipos de fitorremediación según la zona de la planta*. Por Flores Cornejo Juan Manuel, 2018. Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín.

(<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6484/QUflcojm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)



Entre las ramas de la biorremediación, se encuentra la fitorremediación, tecnología opcional nueva, eco sostenible que permite la disminución *in situ* o *ex situ* de compuestos concentrados que se generan por procesos bioquímicos inherentes a las plantas o microorganismos, como: traspiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición. Según Delgadillo et al. (2011) indica que: “en ella se emplean plantas (flora arbórea, arbustiva, herbácea) y algas que tienen la capacidad de almacenar y eliminar sustancias tóxicas mediante sus procesos metabólicos, principalmente metales pesados, por lo que son denominadas plantas hiperacumuladoras” (p. 596).

Esta tecnología según Vera et al. (2016) “se apoya en humedales construidos por estanques superficiales rellenos con algún tipo de material de soporte (tierra, arena o grava) y plantado con vegetación tolerante a condiciones de saturación de agua, con el objetivo de tratar la contaminación de suelos y agua” (p. 89). Por tanto, las plantas se emplean para quitar, minimizar, alterar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes, ubicándose una gran variedad de especies que sirven para estos fines.

Por otro lado, el autor Cubillos (2011) define como Fitorremediación “una alternativa emergente, que representa un menor costo efectivo, posee ventajas estéticas, captura gases efecto invernadero, no requiere de una Fuente de energía diferente a la solar y tiene una gran aplicabilidad bajo diferentes rangos de concentración de contaminantes” (p. 11).

### **2.2.2. Fitoextracción**

Flores (2018) define como un método de extracción y absorción de contaminantes presentes en el medio, por ejemplo: metales, y almacenamiento en hojas o tallos. Según Vangronsveld (2009), las siguientes cualidades enumeradas a continuación deben estar presentes en fitoextractoras:

- Tasa de incremento elevado.
- Producción alta de biomasa.
- Un extenso sistema de raíces con muchas ramas.
- Transporte de metal de raíz a brotes.
- Tolerancia a toxicidad del metal pesado
- Adaptarse al ambiente, clima y resistir a plagas o patógenos.
- Presentar buena adaptación a las condiciones ambientales y climáticas de la zona y resistencia a patógenos y plagas.



- Tanto cultivo como cosecha debe ser sencillo.

### **2.2.3. Fitodepuración**

Fernández J. (2020) señala que “la fitodepuración es 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” (p. 61).

“La fitodepuración, por tanto, se refiere a la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (Macrófitas), algas macroscópicas o microscópicas en los denominados humedales o sistemas acuáticos, ya sean naturales o artificiales” (Fernández J., 2020, p. 61).

### **2.2.4. Macrofitas Acuáticas**

‘Macrofita’, es significado de cualquier vegetal que se visualiza a primera vista, tales como: herbáceas, arbustos, árboles. En cambio ‘microfita’, hace referencia a vegetales no reconocidos o son visibles con lentes ópticos. “Por ello, los vegetales de talla visible que crecen en los humedales se denominan ‘Macrofitas acuáticas’, término que desde un punto de vista más general comprende a plantas acuáticas vasculares (angiospermas y helechos), musgos acuáticos y grandes algas” (Fernández J. , 2020, p. 63).

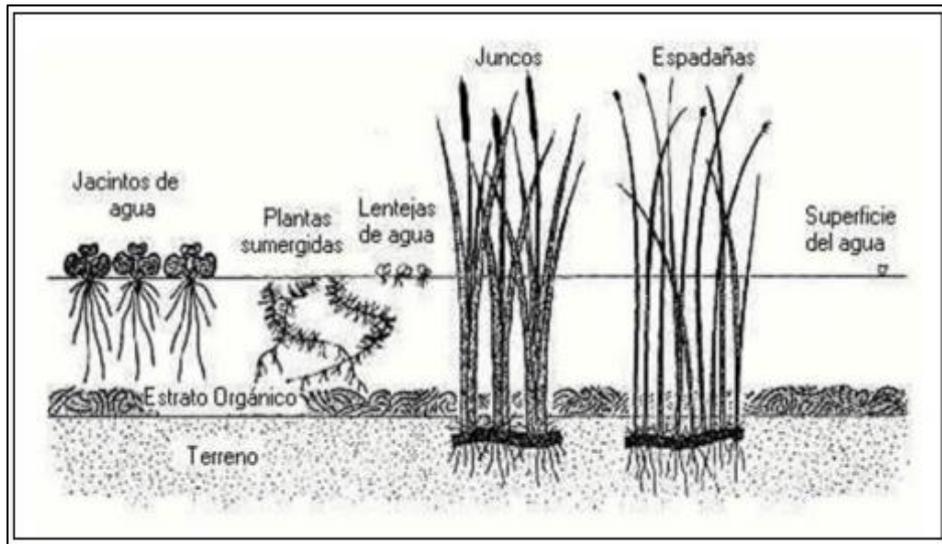
### **2.2.5. Clases de plantas acuáticas**

De acuerdo con Valdivia (2019), “son aquellas que requieren bastante cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios inmensamente húmedos y completamente inundados, básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres. Se pueden clasificar en flotantes, sumergidas y emergentes” (p. 8).



**Figura2**

*Principales plantas acuáticas*



Fuente: Principales plantas acuáticas. Por Flores Cornejo Juan Manuel, 2018. Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín.

(<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6484/QUflcojm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

a) Flotantes

Plantas superficiales que crecen encima del agua, por sus características flotantes se reproducen rápidamente y en corto tiempo. “Son sensibles al frío y a las heladas, por lo que, en zonas de clima frío, se recomienda tenerlas en un invernadero con una excelente luz y en lo posible expuestas al sol. Son especies que necesitan de pleno sol o sombra ligera” (Valdivia, 2019, p. 9).

Algunas especies que corresponde a este tipo son: “jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*); helecho de agua (*Salvinia* sp y *Azolla* sp), lechuga de agua (*Pistia* sp) y lentejas (*Lemna* sp; *Wolfia* sp y *Wolffiella* sp), helecho acuático (*Azolla Filiculoides*)” (Valdivia, 2019, p. 9).

b) Sumergidas

Plantas reconocidas por no flotar, pero que tiene raíces arraigadas hacia la profundidad del agua. Estas plantas ayudan a oxigenar el agua, y no se encuentran en sitios que presentan



vegetales flotantes, Elodea (*Elodea canadensis*) y la planta espada (*Echinodorus bleheri*) son dos ejemplos porque se les impide la iluminación y la fotosíntesis (Valdivia, 2019).

c) Emergentes o anfibias

Esta clase de plantas tienen raíces hacia el fondo y presentan hojas que salen hacia la superficie, en Suramérica, las cañas (*Phragmites* sp), juncos (*Juncus* sp) y totoras (*Typha* sp); ambas utilizadas en la creación de humedales artificiales como soporte para su enraizamiento (Valdivia, 2019).

### ***2.2.6. Raíces de las macrófitas***

Según Mazzeo (2006) la raíz puede estar ausente en algunas plantas acuáticas, si alguna presenta raíces no son muy pobladas; aun así, ejecutan funciones iguales que las terrestres. Tiene forma de adventicias y se desarrollan en tallos o rizomas, con frecuencia presentan pelos. Además, el sustrato y la concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> son limitantes para el crecimiento de las raíces. Además, por el amplio espacio aéreo que ocupan el tallo y las hojas, se les facilita el control de acceso de líquido al sistema aéreo (Mazzeo, 2006).

“Las raíces actúan como centro de absorción de nutrientes, el NH<sub>4</sub>, Ca, Cl, Fe, PO<sub>4</sub>, Rb, y Na, pueden ser transportados vía raíz por hidrófilas de agua dulce” (Mazzeo, 2006, p. 5).

### ***2.2.7. Plantas Acuáticas en el tratamiento de Aguas Residuales***

El hábitat de vegetación acuática, son los estanques poco profundos. Aunque, para los estudios se emplean lenteja de agua, que convergen en dos tipos de vegetación dominantes. El primero emplea plantas flotantes que se caracterizan por transportar dióxido de carbono, recabar oxígeno de la atmósfera y recibir minerales del agua (Frers, 2015).

El segundo de los tipos, se trata de plantas subacuáticas, que presentan habilidades para absorber O<sub>2</sub>, dióxido de carbono y minerales, pero al estar por debajo de agua turbia no son fácilmente identificables, además los componentes que realizan la fotosíntesis se encuentran bajo el agua (Frers, 2015).

### ***2.2.8. Transferencia del oxígeno de la planta acuática al agua***

“Las plantas macrófitas toman el oxígeno del aire, siendo las zonas emergidas de las hojas las encargadas de transferir oxígeno al interior de las cavidades. Están constituidos por



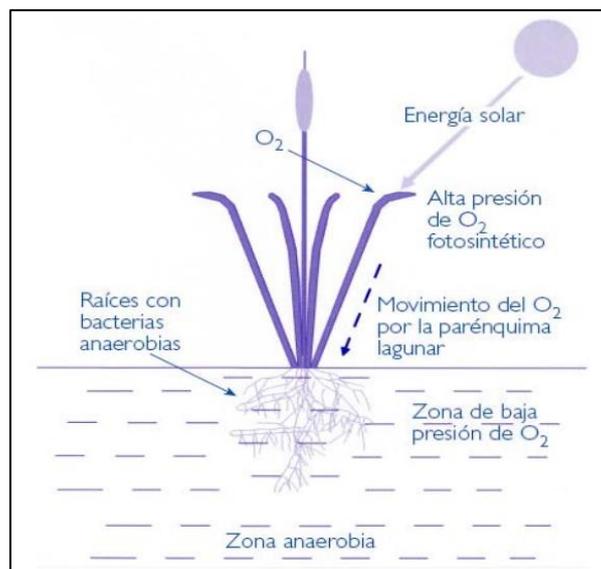
una red de conductos huecos por el que se produce el intercambio de oxígeno” (Martín, 2008, p. 32).

La DQO y la DBO<sub>5</sub> del agua hacen que se demande el O<sub>2</sub> en los conductos tubulares si el O<sub>2</sub> llega a la hoja sumergida. En otras palabras, la falta de oxígeno en el agua, conllevará a que la planta ceda parte de O<sub>2</sub>, aunque no completamente; porque el sistema radicular también demanda oxígeno al poseer condiciones severas de eutrificantes que la capa de agua que rodea las hojas (Martín, 2008).

El O<sub>2</sub> se reparte mejor entre los tubos que se encuentran hacia el exterior del agua, por ende, las hojas que se encuentran hacia el agua presentan un menor nivel de O<sub>2</sub>. Esta absorción, permite el reparto más ecuánime de O<sub>2</sub> llegando mejor a la raíz. “El sistema radicular, con sus rizomas se provee del oxígeno que le transmiten las hojas, la cantidad de oxígeno que se emana 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” (Martín, 2008, p. 17).

**Figura3**

*Proceso de absorción de oxígeno en un macrófito*



Fuente: *Proceso de aireación de la rizósfera de las macrófitas emergentes*. Por Martelo Jorge & Lara Borrero Jaime (2011). Scielo.org

(<http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf>)

La eliminación de microorganismos, por macrófitas es eficiente; porque las plantas tienen capacidad para reducir drásticamente los protozoos ubicados en la rizósfera de la planta. Las raíces también tienen la capacidad de eliminar coloides por atracción y por diferencia de cargas eléctricas (Martín, 2008).



### **2.2.9. Reducción de la demanda biológica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y demanda química de oxígeno (DQO) por el macrófito**

Como las macrófitas presentan raíces, rizomas, hojas y tallos sumergidos en agua y rodeados en  $O_2$ ; es posible que las bacterias aerobias se instalen alrededor de la planta para obtener  $O_2$  que emana el macrófito. Como los microbios consumen materia orgánica, esta se oxida y se convierte en gas  $CO_2$ , reduciendo  $DBO_5$  (Merino & Vásquez, 2014).

Cuando los microorganismos no emplean el  $O_2$  sobrante, este se pone en contacto con materia inorgánica oxidada, disminuyendo en el proceso  $DBO_5$ . En caso, las raíces del macrófito estén enterradas o condensadas bajo el agua, pierden su capacidad regenerativa de filtro y decae su capacidad para reducir la DQO y  $DBO_5$ . Entonces, al no poder absorber componentes iónicos la capacidad absorbente de nitrógeno (N), fósforo (P), iones y oligoelementos reduce (Merino & Vásquez, 2014).

### **2.2.10. Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*)**

“Las especies *Azolla filiculoides* y *Azolla caroliniensis*, considerado como hidrófitos se encierran bajo el nombre genérico debido a que ambas se encuentran frecuentemente confundidas en las citas bibliográficas existentes” (Cabezas, 2011, p. 15).

Según Espinoza y Gutiérrez (2003) citado por Cabezas, (2011), la apariencia del *Azolla filiculoides* “es de forma alongada con ramas en forma de pino, presenta un órgano reproductor masculino llamado microesporocarpo, posee de (40 a 65) esporangios, muestra menos de tres sectas sobre gloquidios en las máculas y textura punteada (parecida a una bola de golf) del órgano reproductor femenino (megaesporoderma)” (p. 16).



**Figura4**

Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*)



Martelo y Borrero (2012) reconocen que el género *Azolla* presenta una forma de esporofito, que consiste en el tallo flotante del que surgen ramas laterales y raíces, que se encuentran sumergidas en agua. “Asimismo, poseen cofia terminal y varios pelos radicales; sus hojas son diminutas, alternas e imbricadas, desarrollan dos lóbulos, ventral y dorsal. El ventral es fino, con escasa clorofila y parcialmente sumergido, mientras que el lóbulo dorsal, es grueso, con abundante clorofila y siempre aéreo, con la propiedad de repeler el agua” (p. 24). Con frecuencia alcanza de 2 a 5 cm de largo, 4 cm de ancho y con un diámetro de 1-2 cm. Presenta también rizomas y raíces ramificados (1-3 cm) en determinados puntos lobulares.

#### 2.2.10.1. Taxonomía

La especie *Azolla* presenta las siguientes características taxonómicas:

**Figura5**

*Taxonomía*

Reino: Plantae
División: Pteridophyta
Clase: Filicopsida
Orden: Salviniales
Familia: Azollaceae
Género: <i>Azolla</i>
Especie: <i>Filiculoides</i>
N.C.: <i>Azolla filiculoides</i>

Fuente: *Taxonomía de Azolla filiculoides* de Adaptación – (Merino y Vásconez, 2014 con base en Montaña, 2010)



### 2.2.10.2. Producción y Ventajas

Según Cabezas (2011) menciona que la especie *Azolla filiculoides* durante unos tres meses que dura su ciclo de vida, duplica su peso cuando las condiciones de medio ambiente sean favorables. Generalmente el cultivo de esta especie se multiplica durante 12 días.

### 2.2.10.3. Factores que condicionan Crecimiento

- a. Temperatura. - El crecimiento de *Azolla filiculoides* está limitado principalmente por este factor, para que el crecimiento sea óptimo este debe de encontrarse entre los 25 y 30 °C y en zona sierra puede adaptarse a temperaturas entre 7 y 23 °C.
- b. pH. - Resulta óptimo que el pH para el crecimiento del *Azolla filiculoides* sea entre los 5 – 8; sin embargo, puede sobrevivir a un pH de 3.5 – 10.
- c. Agua. - Debe mantenerse en contacto permanente con el agua, puesto que es sensible a la desecación, la profundidad recomendada es de 10 cm aproximadamente.
- d. Iluminación. - A luz directa el *Azolla filiculoides* proyecta un color rojizo y en condiciones oscuras mantiene su color verde natural. Lo que demuestra que se adapta sin problema a situaciones ambientales con luz directa o sombra.
- e. Según INVASEP (s.f.) “indica que la concentración de fósforo disuelto en el agua es el factor que controla el crecimiento de Azolla y el responsable de que este macrófito acuático pase a ser invasor” (p. 35).

Las Cañadas (2021) reconocen que la especie Azolla presenta cambios en su estructura por la falta de algunos elementos como:

- **Deficiencia de Fósforo:** “Cambia su color a café – rojizo, las raíces se tornan frágiles y se alargan” (p. 2).
- **Deficiencia de Calcio:** “Los lóbulos dorsales se vuelven rojizos, *Anabaena* sale al ambiente” (p. 2).
- **Deficiencia de Potasio:** “Se torna amarillenta y después de color pardo” (p. 2).
- **Deficiencia de Hierro:** “Disminuye la cantidad de clorofila hasta tornarse amarillenta” (p. 2).



#### 2.2.10.4. Simbiosis *Azolla* – *Anabaena*

La asociación *Azolla* – *Anabaena*, es investigada desde hace décadas por presentar relaciones simbióticas con la cianobacteria *Anabaena azollae* o algas verde – azuladas, consideradas como procariontes, al habitar en cavidades frondas del helecho obtienen protección física y química que les aporta nutrientes y compuestos energéticos. Es capaz de fijar nitrógeno atmosférico  $N_2$ , que tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, es capaz de sobrevivir en aguas turbias. Según Itziar (1999), “las cianobacterias realizan fotosíntesis oxigénica, donde la energía lumínica se convierte en química, liberando oxígeno procedente de la ruptura de moléculas de agua. Fueron los primeros en tener dos fotosistemas para generar materia orgánica y producir  $O_2$  como subproducto” (p. 43).

#### 2.2.11. Cianofícea *Anabaena azollae*

Considerado como un microorganismo fotoautótrofo que realiza la fotosíntesis  $C_3$  semejante al de las plantas superiores, cuenta con dos fotosistemas, produciendo ATP por fotofosforilación cíclica y no cíclica, utiliza  $H_2O$  como donador de electrones, genera NADPH como poder reductor para la fijación de CO y produce  $O_2$ .

Durante todas las etapas de crecimiento del helecho, los filamentos de *Anabaena azollae* se hallan ya presentes en el primordio foliar. A medida que el desarrollo de la hoja continúa, los filamentos algales quedan atrapados en cavidades formadas en la cara ventral del lóbulo dorsal, cerca de su base. En hojas jóvenes la cianobacteria llena a menudo la cavidad foliar, a lo largo de una capa de mucílago que la tapiza interiormente y que presumiblemente es secretado por los pelos quedando el alga completamente protegida del ambiente exterior.

#### 2.2.12. Perifiton

De acuerdo con MINAM (2014 ), en la mayoría de los ambientes acuáticos, el perifiton es la matriz de microorganismos heterótrofos y algas que se encuentra adherida a estructuras sumergidas. Como productores primarios, se ven impactados por cambios ambientales lóticos. “Esta cualidad ha adquirido un valor importante en el estudio de los lagos, ya que se utilizan como bioindicadores debido a que miden y cuantifican la magnitud del estrés, así como las características del hábitat y la respuesta ecológica al daño de un ecosistema” (p. 67) y entre sus características para muestreo más importantes se tiene:

- Hay diversas especies en la naturaleza.



- La identificación requiere de biólogo presente.
- Requiere personal capacitado, lo que facilita la recolección de muestras.

### ***2.2.12. Importancia del perifiton en los ecosistemas acuáticos***

De acuerdo con Montoya y Aguirre (2013), “el perifiton está conformado por un ensamble de especies que se ubica en la interfase agua-sustrato, lo que permite que pueda aprovechar recursos de este ecotono” (p. 97). La tasa de cobertura y distribución difiere en cada sistema, pero presenta un significado diferente por las siguientes razones:

- “Se les considera Fuente alimenticia ya que es rico en proteínas, vitaminas y minerales, constituyéndose en Fuente principal de alimento para cladóceros, copépodos, larvas de insectos de los grupos quironómidos, Blephariceridae y Ephemeroptera” (Montoya y Aguirre, 2013, p. 97)
- “Útiles para el tratamiento de sustancias tóxicas y desechos, debido a la capacidad de las algas para acumular grandes cantidades de sustancias contaminantes como nutrientes, insecticidas, herbicidas, fungicidas, metales pesados y materia orgánica y sustancias radiactivas” (Montoya y Aguirre, 2013, p. 97).
- “Se pueden emplear como bioindicadores de la calidad biológica del agua y de su estado trófico” (Montoya y Aguirre, 2013, p. 97).
- “Crucial en balances de materia, en ciclos biogeoquímicos y energéticos, porque puede ser movida a varios niveles, incluida la acumulación algal, la descomposición (cadena de detritus), la herbivoría (cadena de consumidores) o en la exportación de materia orgánica” (Montoya y Aguirre, 2013, p. 97).

### ***2.2.13. Metodología de Colecta***

El método para la investigación básica o un inventario biológico depende de tipos de sustratos disponibles y del monitoreo ambiental continuo del sustrato en un periodo de tiempo, donde es necesario analizar si realizar colección multisitio o un sitio específico. Con la primera colección se obtiene información de calidad sobre diversidad, pero el segundo permite la obtención de información respecto a la calidad del agua, así como su hábitat real, pero esto implica que se pierda información de otros hábitats.

### ***2.2.14. Grupos Taxonómicos del Perifiton***

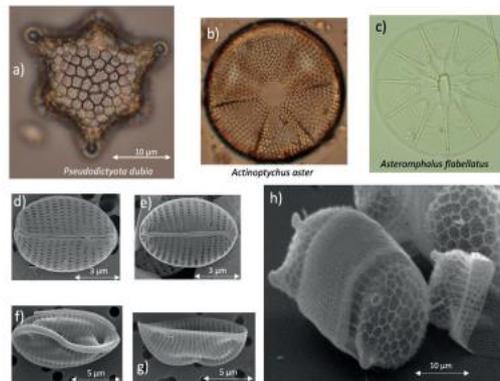
Entre los más representativos para esta investigación se tiene:

1. *Phylum Bacillariophyta*

Andrade (2019) indica que: “las diatomeas son organismos microscópicos, unicelulares, que pertenecen al grupo protista y son miembros del filo Bacillariophyta” (p. 21). Esta clase de planta, distribuida en todo el planeta, autoproduce su alimento a partir de la fotosíntesis, aunque no presente hojas o raíces como las plantas terrestres. Están conformadas por una capa celular dura y porosa, conocida como frústula o teca recubierta por sílice, además forma dos valvas superpuestas entre sí, pero separadas, una es conocida como epiteca y la siguiente hipoteca; la primera es ligeramente más grande por tanto se superpone a la menor.

**Figura6**

*Diversidad de formas y tamaños de diatomeas*

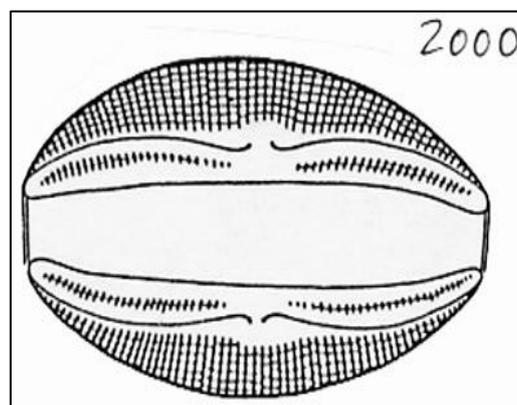


Fuente: a, b y c, microscopía de luz de algunas diatomeas céntricas. d-h, imágenes de microscopía electrónica de la pared de diatomeas. Las fotografías sin escala pueden medir desde menos de 20 hasta más de 70 µm de Audesirk, T., Audesirk, G. & Bruce E. (). Biología: La vida en la tierra. Pearson Education (2020). (<https://naturaleza.animalesbiologia.com/algas/diatomeas-caracteristicas-alimentacion-reproduccion>)

a. *Amphora Sp.*

**Figura7**

*Amphora sp.*





Fuente: *Amphora sp.* De Clavell Jordi, 2016.

<https://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Amphora-sp.-img1808.html>.

Células solitarias que pueden ser móviles y casi siempre ocurren en vista de faja. Las células aparecen elípticas con extremos planos truncados. La celda aparece como una gran rodaja de naranja. Las válvulas son asimétricas y, a veces, más pequeñas o constreñidas en cada extremo de la celda. Ambos rafes se encuentran en el mismo lado de la válvula. Generalmente hay dos o más plástidos que ocurren en diferentes posiciones a lo largo de la célula.

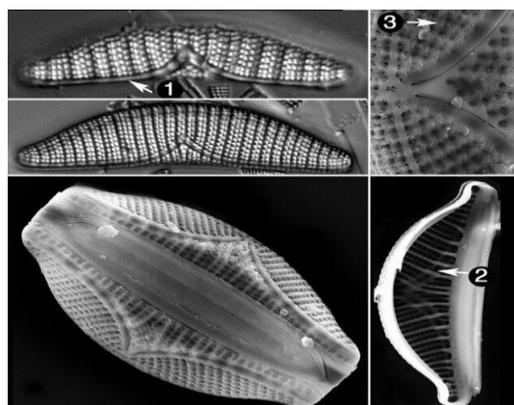
Su hábitat es Epífita sobre plantas, piedras y barro. Un gran género principalmente marino con relativamente pocas especies en agua dulce. (Baker, 2017).

*b. Epithemia sp*

Las células vivas de *Epithemia* a menudo poseen cianobacterias endosimbióticas capaces de fijar nitrógeno húmedo. Las especies dentro del género, por lo tanto, a menudo toleran las condiciones limitantes de nitrógeno. *Epithemia* es un género exclusivo de agua dulce. Las células son epífitas y epipélicas. Se encuentran frecuentemente en aguas ricas en carbonato (alcalinas) y también pueden tolerar una conductividad relativamente alta (Spaulding, 2022).

**Figura8**

*Epithemia sp.*



Fuente: *Epithemia turgida* (Ehrenberg) Kützing de Sarah Spaulding (2010). <https://diatoms.org/genera/epithemia>

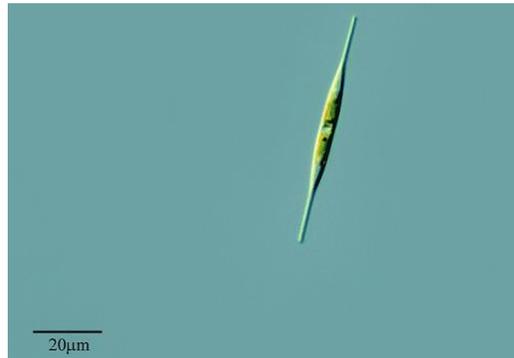


c. *Nitzschia* sp.

La *Nitzschia* es un género complejo atribuido a diatomeas, corresponde a cerca de mil especies que habitan en aguas saladas o dulces; y se presentan en diferentes tamaños y formas. Entre estos, existen algunos que se desarrollan en temperaturas por debajo de 6 °C o en áreas con elevados concentrados de materia orgánica o química (Proyecto Agua, 2022).

**Figura9**

*Nitzschia* sp.



Fuente: *Nitzschia Acicularis* de proyecto agua (2009).

<https://www.flickr.com/photos/microagua/3258080731>

2. *Phylum Chlorophyta*

Considerado como un grupo taxonómico compuesto por microorganismos que pertenecen al reino Protista. Estas algas verdes incluyen clorofila a y b entre sus pigmentos principales, tienen celulosa como componente principal de las paredes celulares y forman reservas alimenticias de almidón que se forma en los cloroplastos y no en el citoplasma (Allaby y Allaby, 2018). Pueden producir energía de la luz solar, encontrándose inclusive en habitats de agua dulce. Existen tres clases de Chlorophyta. La primera clase, que contiene el mayor número de organismos, se llama Chlorophyceae, seguido por los Charophyceae que han existido desde tiempos prehistóricos y finalmente se encuentran los Ulvophyceae que habitan en aguas marinas (Cengage, 2018).

a. *Oedogonium* sp.

Son algas filamentosas que presentan una división celular cerca del tabique), muestran un cuerpo celular cilíndrico, lateralmente recto u ondulado o hinchado en un extremo del cuerpo celular ("capitelado") en algunas especies; cloroplastos reticulados con muchos pirenoides; reproducción asexual por zoosporas;



reproducción sexual por fecundación por óvulo y espermatozoide; monoicos o dioicos (Jhon, Whitton, & Brook, 2002).

El género *Oedogonium sp.* es común en ríos y arroyos, el modelo correlacional está adherido a la carga contaminante, el caudal, la temperatura, el pH y la disponibilidad de oxígeno y luz.

Las células no son rectangulares y/o cilíndricas, sino que son periformes y mononucleares. Evidentemente tienen clorofila y muchos cloroplastos con pirenoides.

### Figura10

#### *Oedogonium*



Fuente: *Oedogonium sp.* De Protist (2018).

[http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Chlorophyta/Oedogonium/sp\\_14.html](http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Chlorophyta/Oedogonium/sp_14.html)

#### b. *Pandorina sp.*

El género *Pandorina* forma colonias de forma esférica; 8-16 celdas de tamaño similar, juntas, comprimidas entre sí; sobre gelatinoso de 2 capas; células con 2 flagelos de igual longitud; 2 vacuolas contráctiles anteriores; núcleo central. Su reproducción es sexual por isogamia o anisogamia. Se encuentran generalmente en agua dulce (Bory, 1824).



### Figura11

#### *Ilustración de Pandorina*



Fuente: *Pandorina morum* de (Müller) Bory, 1824.

<http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Chlorophyta/Pandorina/morum/morum6.html>

#### *c. Acutodesmus sp.*

Las células del género *Acutodesmus sp.* son ovaladas, cóncavas y con unos cloroplastos grandes que la llenan, presenta apéndices filamentosos, normalmente se dividen por múltiples fisiones formando más de dos células hijas conectadas en un cenobio. Generalmente viven en pantanos, charcas, estanques. Según, Chokshi et al. (2016) reduce más del 90% el nivel del DQO, asimismo consume por completo el nitrógeno amoniacal. Convirtiéndolo en una excelente opción de biocombustible (bioetanol y biodiésel).

### Figura12

#### *Imagen microscópica del Acutodesmus sp.*



Fuente: *Acutodesmus* de INATURALISTPA, (2020).

<https://panama.inaturalist.org/taxa/861388-Acutodesmus>.



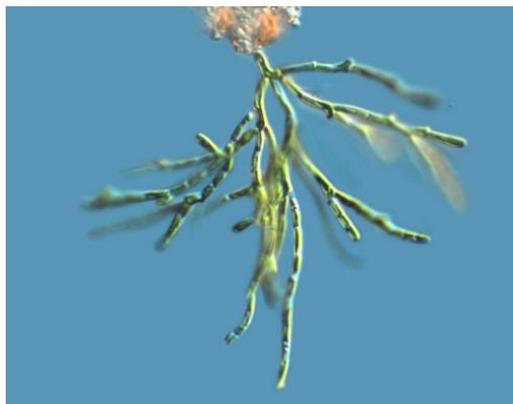
d. *Microthamnion sp.*

Pertenece al género: Thalli filamentoso uniseriado ramificado; unido por una célula basal con un pequeño sujetador; células cilíndricas a veces subclavadas; células terminales con extremo romo y redondeado; cloroplastos una sola placa parietal; sin pirenoides (Nägeli, 1985).

Chase (1849), con respecto a las ramas de *Microthamnion* reconoce que se dividen en tramos densos, irregulares y cortos tramos de células con aspecto recto o curvado. Sus hojas son siempre largas, verdes, estrechas y vivas, pero con apenas 4 micras de ancho. Su ambiente es limpio, pero como tiene capacidad para fijar Fe, Mg y compuestos fosforados orgánicos e inorgánicos, se emplea experimentalmente en el tratamiento de aguas vertidas, ya sea como filtro o con asociación a algas filamentosas *Microspora*.

**Figura13**

*Imagen microscópica del Microthamnion sp.*



Fuente: *Microthamnion sp.* alga verde de Gerd Guenther, (2020).

<https://pixels.com/featured/microthamnion-sp-green-alga-gerd-guenther.html>

3. *Phylum Euglenozoa*

Euglenozoa grupo monofilético de protistas flagelados que incluyen especies de vida libre, simbióticas y parásitas. Si bien muchos miembros del grupo son bacteriótrofos ampliamente distribuidos en ambientes marinos y de agua dulce, muchos otros, como *Euglena*, son autótrofos fotosintéticos (Berman, 2012).



a. *Euglena sp*

Para Biodiversity Heritage Library Euglena (2022) “la *Euglena* es un género de protistas unicelulares (algas o protozoarios) perteneciente al grupo de los Euglénidos, que puede contener numerosos cloroplastos en forma de lente o aplanados, cada uno con un pirenoide” (p. 2).

**Figura14**

*Imagen microscópica del Euglena sp*



Fuente: *Euglena sp*. recopilada en Wakefield, Quebec por Deuterostome.

[https://www.microscopemaster.com/euglena-under-the-microscope.html#gallery\[pagegallery\]/1/](https://www.microscopemaster.com/euglena-under-the-microscope.html#gallery[pagegallery]/1/)

4. *Phylum Cyanobacteria*

*Cyanobacteria* o bacterias azules, son un ejemplo de filos de bacterias, microorganismos que abundan en muchos ecosistemas. Por ejemplo: en el desierto generan costras terrestres, en el mar conforman grandes masas de agua. Son habitantes de agua salada o dulce, y se adaptan a ambientes húmedos o desérticos. Se caracterizan principalmente por su proceso de fotosíntesis, por el cual emplean la clorofila para liberar oxígeno; además, pueden realizar el proceso en agua o sulfuro de hidrógeno; de hecho, son abundantes en aguas termales sulfuradas (Galan, 2022).

Bajo determinadas condiciones ambientales pueden formar floraciones algales, algunas veces con formación de una variedad de toxinas (OPS, 2012).



*a. Cylindrospermum sp.*

Las células de *Cylindrospermum* son cilíndricas o en forma de barril, diminutas (3-7  $\mu\text{m}$  de ancho; en comparación, una hebra de seda de araña mide aproximadamente 5  $\mu\text{m}$  de ancho) y un poco más largas que anchas. Bajo aumento, las células son de color azul verdoso o gris verdoso y pueden aparecer granulares. Las células se unen de extremo a extremo para formar filamentos largos, no ramificados, no ahusados, rectos o suavemente curvados. Los filamentos están rodeados de mucílago claro, a menudo transparente, y pueden formar capas viscosas en la vegetación sumergida u otras superficies.

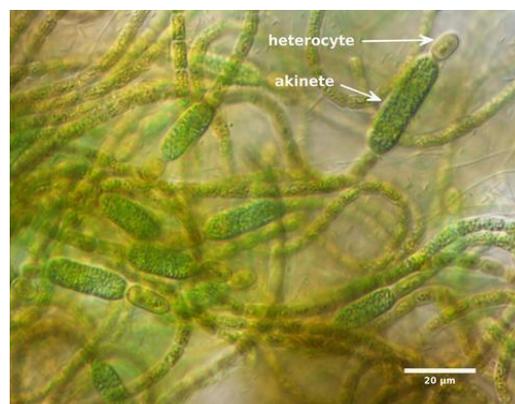
*Cylindrospermum* generalmente se encuentra en aguas poco profundas asociadas con la vegetación de la costa en lagos y estanques pobres en nutrientes, especialmente en aguas ligeramente ácidas, pantanosas o turbias.

*Cylindrospermum* es capaz de fijar gas nitrógeno disuelto, lo que ayuda a proporcionar nitrógeno en sitios pantanosos donde el nitrógeno inorgánico (amonio, nitrato y nitrito) limita a otros tipos de algas.

Cabe resaltar que las células de *Cylindrospermum* pueden producir anatoxinas (toxina nerviosa), lipopolisacáridos (irritantes de la piel) y BMAA (beta-metilamino-L-alanina; toxina nerviosa). Estas toxinas se liberan al medio ambiente cuando se rompe la pared celular (lisis celular) (Matthews, 2022).

**Figura 15**

*Imagen microscópica del Cylindrospermum sp*



Fuente: Alga verde azulada *Cylindrospermum* de Sciencephoto Library, (2022).  
[sciencephoto.com/media/16246/view/cylindrospermum-blue-green-alga](https://sciencephoto.com/media/16246/view/cylindrospermum-blue-green-alga).

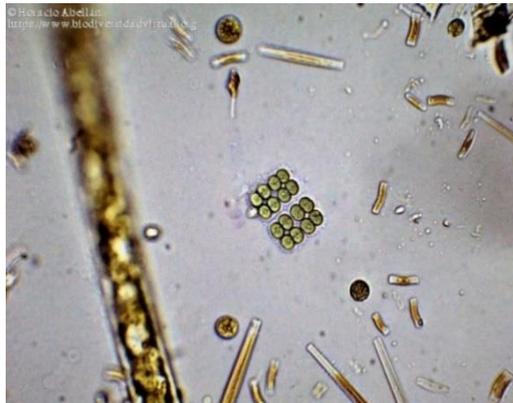


*b. Merismopedia sp.*

La merismopedia comprende colonias aplanadas, de vida libre, en forma de placas (rectangulares), más o menos rectangulares que tienen una capa de células, dispuestas de forma suelta o densa en filas perpendiculares y envueltas por un mucílago fino, incoloro, generalmente indistinto y marginalmente difuso. (Komárek, 2003)

**Figura16**

*Imagen microscópica del Merismopedia sp.*



Fuente: Merismopedia sp. De Environmental Sciences Europe, (2022).

[https://www.researchgate.net/figure/Merismopedia-sp-captured-under-ECLIPSE-Ci-L-microscope-equipped-with-OPTIKAM-Wi-Fi\\_fig2\\_350019527](https://www.researchgate.net/figure/Merismopedia-sp-captured-under-ECLIPSE-Ci-L-microscope-equipped-with-OPTIKAM-Wi-Fi_fig2_350019527)

*c. Pseudanabaena sp.*

Esta especie presenta más de 30 especies y presenta una célula apical cilíndrica con ápice redondeado o truncado y contenido de material celular homogéneo (Souza, 2016). Según el estudio realizado por (Pineda, Martínez, Garduño, & Olvera, 2011) la *Pseudanabaena* es uno de los géneros principales productores de microcistinas (Vela, Sevilla, & Martén, 2007) que está implicada en el envenenamiento de animales y personas.



**Figura17**

*La micro morfología de Pseudanabaena sp.*



Fuente: Crecimiento de *Pseudanabaena sp.* De Dominancia y Factores de Crecimiento de *Pseudanabaena sp.* en embalses de Fuentes de agua potable, sur de China, (2018).

### **2.3. Marco Conceptual**

#### **1. Agua:**

Agua (H<sub>2</sub>O), es un compuesto único significativo para la vida; presenta abundancia entre la naturaleza y determinante en procesos biológicos, químicos y físicos que suceden en entornos naturales. De igual forma que el fuego, aire o tierra, el agua toma parte entre los cuatro elementos que dieron inicio al mundo. Aunque, hoy por hoy la molécula de agua H<sub>2</sub>O, que parece resultar una combinación simple, presenta cualidades extraordinarias que conforman el fundamento de la vida en la tierra (García, y otros, 2012).

#### **2. Aguas Residuales**

De acuerdo con OEFA (2014), “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).

#### **3. Clasificación de las Aguas Residuales**

##### **a. Aguas residuales industriales**

Al respecto, la OEFA (2014) reconoce “las 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” (p. 3).



#### **b. Aguas residuales domésticas**

Este tipo de aguas “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). El porcentaje de agua generada es directamente proporcional a la cantidad demográfica.

#### **c. 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).

### **4. Características de las aguas Residuales**

Buitrón et al. (2017) afirman que son características de aguas residuales los constituyentes físicos, químicos y biológicos, están relacionadas principalmente con el tipo de Fuente. Tener conocimiento de las características de aguas vertidas, permite la selección y diseño adecuado de “instalaciones de recogida, tratamiento y evacuación, así como para la gestión de calidad del medio ambiente”.

#### **a. Características físicas de aguas Residuales Municipales**

- Sólidos Suspendidos Totales

“Los sólidos totales proceden del agua de abastecimiento del uso industrial, de uso doméstico, del agua de infiltración de pozos y de aguas subterráneas. La determinación de esta propiedad se define como residuo de evaporación a 103 – 105 °C” (Cerezo, 2011, p. 16).

- Temperatura

Forman parte de los parámetros importantes, por su resultado en la naturaleza acuática o reacciones químicas. Por ejemplo, la variación de temperatura da resultado de elevados porcentajes de mortalidad acuática; ante temperaturas altas el oxígeno es menos soluble; por tanto, disminuye el oxígeno. Por otro lado, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a un crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos (Cerezo, 2011).

#### **b. Características químicas de aguas Residuales Municipales**



- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Forma parte de los indicadores de carga orgánica presente en aguas contaminadas, mientras sea mayor el DBO<sub>5</sub> se elevará la cantidad de materia orgánica en degradación. Porque mide el nivel de O<sub>2</sub> consumido por microorganismos durante la oxidación química de la materia.

Como señala la División Calidad Ambiental (2020), “el indicador DBO<sub>5</sub> se refiere al promedio anual (media aritmética) de la DBO<sub>5</sub> medida en todas las estaciones de monitoreo de cada curso de agua. Para el cálculo del promedio deben considerarse al menos 4 muestreos distribuidos” (p. 4).

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es uno de los parámetros claves además del DBO<sub>5</sub> que señala cual es la cantidad de oxígeno que se demanda para oxidar químicamente el material orgánico presente en las aguas residuales.

La DQO es normalmente más alta que la DBO<sub>5</sub> porque se pueden oxidar más compuestos orgánicos químicamente que biológicamente, se requiere de un tiempo menor para poder obtener los resultados. Así mismo es posible correlacionar el valor del DBO<sub>5</sub> y DQO, para evaluar la DBO<sub>5</sub> con un valor conocido de DQO. (Metcalf & Eddy, 1996)

- pH

Para determinar el pH, es necesario conservar los contextos favorables donde se desarrollen microorganismos responsables de estabilizar materia orgánica. Se caracterizan por tener un alto nivel de materia orgánica y un pH muy ácido, los cuales pueden afectar la calidad del agua.

Según lo señalado por Arellano (2017), el pH de un humedal artificial debe de encontrarse en un rango de 7.5 considerándose como neutro y encontrándose dentro del rango establecido.

## 5. Límites Máximos Permisibles (LMP)

Para el MINAN (2020), “es la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan una emisión,



que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y ambiente” (p. 1)

Figura 18

*Límites Máximos Permisibles para Efluentes de PTAR.*

Parámetros	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6,5 - 8,5
Solidos Totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: D.S N° 003-2010-MINAM.

#### 2.4. Marco legal Aplicada

- Ley N°28611, “Ley General del Ambiente” (Ley N° 28611, 2005)

La presente Ley es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país. (Ley N° 28611, 2005, p. 3)

- Ley N° 29338, “Ley de Recursos Hídricos”



“Regula la gestión y el uso de los recursos hídricos y comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta y se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable” (Ley N° 29338, 2009, p. 1)

- Decreto Supremo N° 003-2010 MINAM - Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

“Tiene por objetivo obligar a los titulares de las PTAR a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo, en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente” (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, 2010, p. 415075).

- Resolución Jefatural N° 010 – 2016 – ANA, “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”

Sustituye el protocolo Nacional de la Calidad de cuerpos de agua superficial, publicado el año 2011, integra las mejores prácticas desarrolladas en las actividades de monitoreo de la autoridad, las normas internacionales en su última actualización y estableciendo mayores precisiones para el monitoreo de las aguas marino – costeras, lagos y lagunas (Resolución Jefatural N° 010 – 2016 – ANA, 2016, p. 575301)

## 2.5. Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis General

El Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*) es muy efectiva para la fitorremediación de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, 2022.

### 2.5.2. Hipótesis Específicas

- Es efectiva la absorción del sistema radicular del Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*) para la fitorremediación de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, 2022.
- La influencia del Perifiton en el Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*) es alta en la efectividad fitorremediadora de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, 2022.



- Una población alta de Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*) en fase de madurez es efectiva para la fitorremediación de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas, 2022.

## **2.6. Variables e Indicadores**

### **2.6.1. Identificación de Variables**

#### **2.6.1.1. Variable Independiente**

- Efectividad fitorremediadora del Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*).

#### **2.6.1.2. Variable Dependiente**

- Efluentes Residuales Municipales



2.6.2. Cuadro de Operacionalización de variables

Figura 19  
Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	CRITERIOS DE MEDICIÓN
<b>VI: EFECTIVIDAD FITORREMIADORA DE HELECHO ACUÁTICO (<i>Azolla filiculoides</i>)</b>	Es la capacidad que tienen las plantas (flora arbórea, arbustiva, herbácea) y algas para almacenar, eliminar y degradar contaminantes mediante sus procesos metabólicos.	Se implementará un sistema de fitorremediación "Humedal artificial de flujo Subsuperficial" para la remoción de contaminantes de las aguas residuales municipales del distrito de Talavera y se analizará a la comunidad perifítica del helecho acuático.	Efectividad depuradora del factor de absorción del sistema radicular.	Número de días	días
			Población efectiva	Peso de biomasa	g
			Influencia del Perifiton en el Helecho Acuático ( <i>Azolla filiculoides</i> ).	Conteo inicial y final de los microorganismos.	Organismos (Células o unidades) / mm <sup>2</sup>
<b>VD: EFLUENTES RESIDUALES MUNICIPALES</b>	“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, 2021)	Se determinará la calidad del agua residual obtenida luego del tratamiento realizado.	Análisis inicial de la composición de los efluentes residuales municipales.	<b>Parámetros Físicos</b> Temperatura, Sólidos Totales Suspendidos, pH <b>Parámetros Químicos</b> DQO, DBO <sub>5</sub> , Aceites y Grasas <b>Parámetros Biológicos</b> Coliformes Termotolerantes	°C, mg/L
			Análisis final de la composición de los efluentes residuales municipales.		mg/L
			Análisis final de la composición de los efluentes residuales municipales.		NMP/100ml



## Capítulo III: Método

### 3.1. Alcance del estudio

#### 3.1.1. *Enfoque de la Investigación*

Según Vargas (2009), las investigaciones aplicadas también conocidas como prácticas o empíricas, se enfocan en la búsqueda de la aplicación o empleo de conocimientos, mientras se obtienen otros, luego de la implementación y sistematización práctica de la investigación. Es por ello que en la presente investigación se utilizó las bases científicas de las ciencias fácticas o formales para generar un nuevo conocimiento y con ello la solución al problema.

Por ende, el tipo de Investigación fue: **Aplicada**

#### 3.1.2. *Nivel o alcance de la investigación*

Según menciona Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) los estudios explicativos no se centran solo en la descripción o relación de conceptos o fenómenos. Del término se puede identificar que la investigación se centrará en explicar un fenómeno, sus manifestaciones y relación con alguna o algunas variables, esta investigación estuvo estructurada en dar respuestas del comportamiento que sufren las variables.

Por lo cual el nivel de investigación fue: **Explicativo.**

#### 3.1.3. *Método de Investigación*

Para Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) las investigaciones cuantitativas siguen un proceso preestablecido que dirige las investigaciones hacia la respuesta de hipótesis, se caracteriza también por el empleo de herramientas estadísticas para la consecución del primer fin. Por tanto, la investigación se encuentra sujeta a mediciones numéricas, las cuales otorgaron resultados cuantificables y generales.

Por lo cual el tipo de investigación fue: **Cuantitativo**



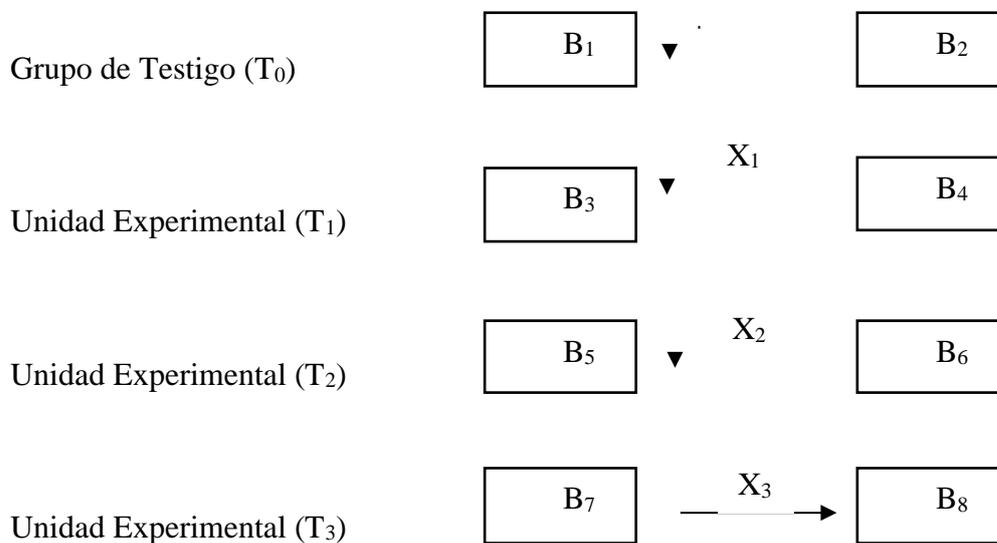
### 3.2. Diseño de la Investigación

#### 3.2.1 Diseño metodológico

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) dan a entender que el diseño pre experimental es aquel “Diseño de un solo grupo cuyo grado de control es mínimo. Generalmente es útil como un primer acercamiento al problema de investigación en la realidad”. En esta investigación se tomó muestras del efluente – Río Chumbao, las cuales fueron manipuladas y observadas bajo un control mínimo a través de experimentos. Por lo que el Diseño de investigación es: **Pre experimental.**

Para la determinación de la muestra, se emplea el método DBCA o Diseño de Bloques Completamente al Azar, que requiere la toma de muestras del efluente residual municipal vertidas, para su posterior tratamiento a diferentes concentraciones de helecho; para finalmente evaluar e interpretar los resultados estadísticos y la caracterización del efluente, con base en la información recapitulada.

#### Diagrama del Diseño:



#### Donde:

**T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>:** 30 litros de Efluente Residual Municipal

**B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>7</sub>:** Medición de parámetros antes del proceso de fitorremediación (Aceites y grasas, pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, Coliformes Termotolerantes, Temperatura  $\geq 10$ , SST) – peso de biomasa del Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*).



**X<sub>1</sub>**: 300 g de Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*)

**X<sub>2</sub>**: 400 g de Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*)

**X<sub>3</sub>**: 500 g de Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*)

**B<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>8</sub>**: Medición de los parámetros después del proceso de fitorremediación (Aceites y grasas, pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, Coliformes Termotolerantes, Temperatura, SST) – peso de biomasa del Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*).

El diseño experimental utilizado es un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro tratamientos y 3 repeticiones.

**Tabla 1**

*Croquis del diseño de la distribución de tratamientos*

Tratamiento	Repetición 01	Repetición 02	Repetición 03
T <sub>0</sub>	T <sub>0</sub> AR (Testigo)	T <sub>0</sub> AR (Testigo)	T <sub>0</sub> AR (Testigo)
T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> AR + AZ <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> AR + AZ <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> AR + AZ <sub>1</sub>
T <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> AR + AZ <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> AR + AZ <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> AR + AZ <sub>2</sub>
T <sub>3</sub>	T <sub>3</sub> AR + AZ <sub>3</sub>	T <sub>3</sub> AR + AZ <sub>3</sub>	T <sub>3</sub> AR + AZ <sub>3</sub>

*Nota.* Elaboración propia con base en la metodología de estudio.

**Leyenda:**

T: Tratamientos

AR: 30 litros de Efluente Residual Municipal

AZ<sub>1</sub>: 300 g de *Azolla filiculoides*

AZ<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides*

AZ<sub>3</sub>: 500 g de *Azolla filiculoides*

**3.3. Población**

La población estuvo constituida por los efluentes residuales municipales del Rio Chumbao comprendidos entre los distritos de San Jerónimo, Andahuaylas y Talavera



provenientes de la Provincia de Andahuaylas y comprendió un total de 360 litros del agua residual municipal.

### 3.4. Muestra

Los tramos según el protocolo de monitoreo, estuvo conformado por dos puntos de control, 50m aguas arriba y aguas abajo, fuera de la zona de mezcla de los puntos de vertimiento de agua residual, con 30 litros por unidad experimental y 500 ml para muestras de laboratorio.

#### 3.4.1. Descripción de la muestra

##### - Ubicación

La muestra obtenida fue en el distrito de Talavera provincia de Andahuaylas, en las siguientes coordenadas UTM:

**Tabla 2**

*Cuadro de coordenadas geográficas UTM*

Este (X)	Norte (Y)
8489627.00	669683.00 Este

identificado como punto de vertimiento de aguas residuales de la empresa aguas Talavera – ATALSAC, con código de vertimiento: V – PY – 109 – 13 y constancia de inscripción Rural: 1249.

**Figura20**

*Fotografía de la zona de estudio, Talavera - Andahuaylas*



**Figura21**

*Fotografía de la señal de vertimiento de aguas residuales*



### 3.4.1.1. Método de muestreo

Para la presente investigación se empleó DBCA, debido a que las unidades experimentales son heterogéneas y están agrupadas formando bloques con los tratamientos distribuidos al azar, además el adjetivo completo se refiere al hecho de que todo el procesamiento se prueba en cada bloque.

**Figura22**

*Estructura del diseño en bloques completos al azar*

<b>Gradiente</b>	↑	Bloque 1	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
	↑	Bloque 2	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>D</b>
	↑	Bloque 3	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
	↑	Bloque 4	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>B</b>

Fuente: *Estructura del diseño en bloques completos al azar* de José López Collado, (2015).

Fuente: <https://1library.co/document/7q0vjmlz-diseno-en-bloques-completos-al-azar-dbca.html>

### 3.4.1.2. Criterios de evaluación de muestra

### 3.4.2. Criterios de inclusión

La recolección de muestras considera la siguiente documentación:



- “Protocolo de Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos – Autoridad Nacional del Agua”, es un documento técnico que permite el monitoreo de recursos hidrológicos, determina los patrones a seguir antes, durante y después del monitoreo de calidad de agua presente en ríos, lagunas, quebradas, represas, lagos, costas y océanos donde se descargan aguas vertidas.
- Además, se emplearon métodos de recolección, identificación y estudio de ecosistemas biológicos tales como: “plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados), para determinar la presencia de perifiton en la macrófita estudiada.

### **3.5. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos**

#### ***3.5.1. Técnicas de recolección de datos***

Para el estudio, se empleó la observación meticulosa a determinadas actividades programadas durante el proceso investigativo. Los instrumentos empleados, fueron la ficha de observación, la cual permitió el registro de datos cuantitativos y cualitativos, obtenidos por medio de análisis de laboratorio y de campo. Para finalmente, aplicar programas estadísticos como Excel y SPSS que permitan su tratamiento e interpretación.

#### ***3.5.2. Técnicas de campo***

Para este procedimiento se utilizó los instrumentos mencionados en el criterio de inclusión para muestras, cabe mencionar que se siguió los siguientes pasos:

- Se ingresó a la zona de muestreo ubicado en el distrito de Talavera provincia de Andahuaylas, directamente a la salida del efluente.



**Figura23**

*Fotografía de la zona de estudio e ingreso de investigadoras en campo*



- Posterior al reconocimiento zonal, se tomaron tres envases de plástico con un volumen de 500 ml completamente estériles y herméticos que fueron brindados por el laboratorio de Aguas de la Universidad José María Arguedas, para la toma del efluente residual.

**Figura24**

*Enjuague de los envases y toma de muestra del efluente residual en la zona de muestreo*



- El muestreo del efluente residual, se realizó en dirección al cauce del río, además se tomó a un tercio de la profundidad, evitándose tomar la muestra cerca de la superficie o del fondo, se saturó al tope los envases, y de esta manera se evitó el ingreso de partículas grandes, sedimentos y/o material flotante, así como aire. Para evitar cambios de carácter físico-químicas en la muestra.
- Posterior al muestreo, se computó parámetros de campo pH y temperatura ambiental del efluente.



**Figura 25**

*Medición de los parámetros de campo (pH y T°)*



**Figura26**

*Etiquetado y rotulado de identificación*



- Una vez tomada la muestra, los frascos fueron etiquetados y rotulados con letra clara y legible conteniendo la siguiente información:
  - Nombre del parámetro a analizar.
  - Denominación del punto de monitoreo.
  - Fecha y hora de la toma de muestra.
  - Operador del muestreo.
  - Coordenadas del lugar de muestreo.



**Figura 27**

*Conservación y transporte de las muestras.*



- Se procedió a registrar la cadena de custodia indicando lugar, fecha, hora, los parámetros a evaluar, tipo de frasco, tipo de muestra de agua, numero de muestras, operador del muestro.
- Las muestras fueron trasladadas a un lugar oscuro y fresco, para luego ser transportadas a la Universidad Nacional José María Arguedas - Laboratorio de Aguas de Andahuaylas; para los análisis de DQO, DBO<sub>5</sub>, oxígeno disuelto, coliformes termotolerantes, sólidos totales suspendidos.

Para el análisis del parámetro aceites y grasas la muestra fue enviada al laboratorio acreditado por Inacal - Servicios Generales Ambientales S.A.G. Teniendo las siguientes fases de diseño metodológico:

#### **d. Fase de Almacenamiento**

Se ejecutaron las mencionadas actividades:

- Mantenimiento ambiental (limpieza, mantenimiento, reparación, etc.) a un campo abierto, así mismo la construcción prefabricada de un ambiente para realizar el trabajo con las unidades experimentales.

**Figura 28**

*Exteriores del ambiente prefabricado para las unidades experimentales*



- La macrófita flotante (*Azolla filiculoides*) se recolectó de la localidad de Pacucha – sector compuerta con las siguientes coordenadas: Latitud: 13° 36' 34" Sur Longitud: 73° 20' 38" Oeste.

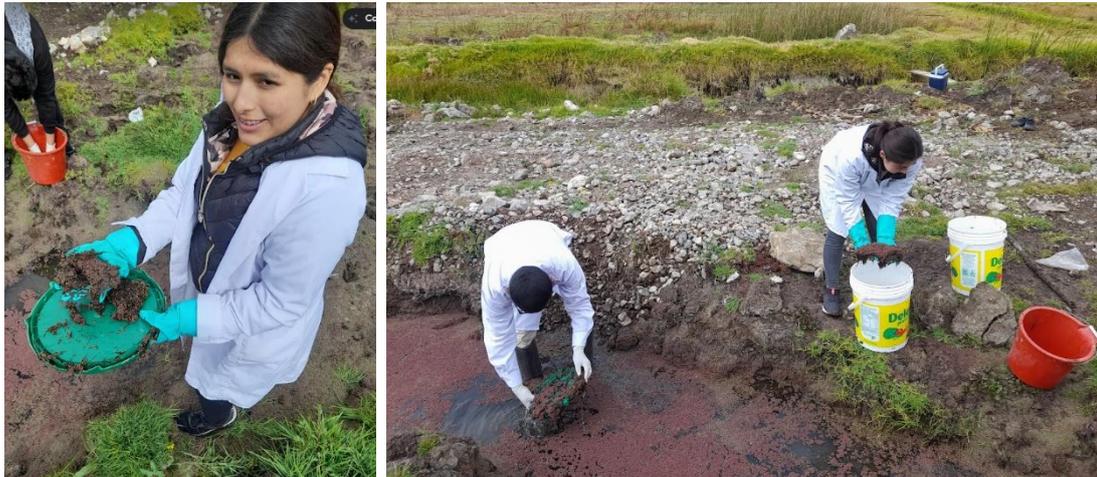
**Figura29**

*Recolección de la planta macrófita *Azolla filiculoides*.*



**Figura30**

*Segregación de la planta macrófita Azolla filiculoides de su hábitat.*



**b. Fase de campo.**

- La geolocalización del punto de vertimiento de aguas residuales del distrito de Talavera, presenta las siguientes coordenadas:

**Tabla 3**

*Cuadro de coordenadas geográficas UTM*

Este (X)	Norte (Y)
8489627.00	669683.00 Este

- Se identificó el punto crítico de vertimiento del efluente residual municipal para el muestreo, además se empleó equipo de protección personal para protegerse contra patógenos presentes en el efluente residual.

**Figura 31**

*Vestimenta empleada como protección personal*





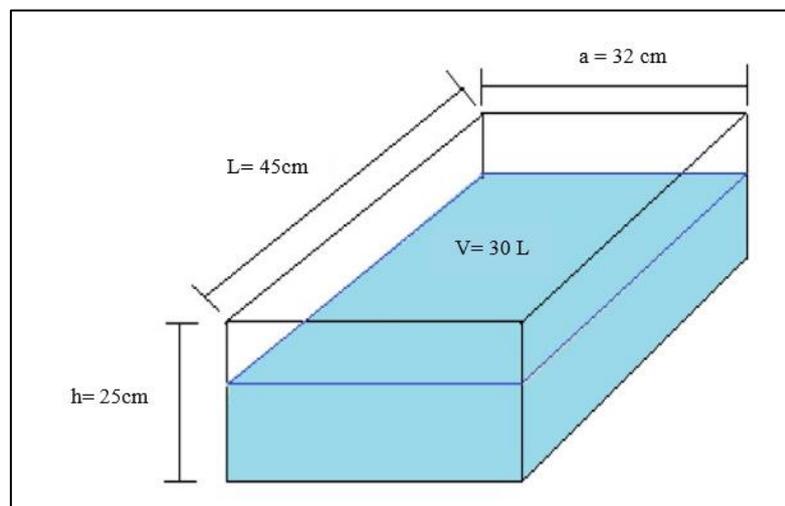
- El efluente residual recolectado para las pozas fueron trasladadas en bidones con capacidad de 220 L, para su posterior sedimentación y reparto equitativo de 30 L en cada poza de vidrio.

**c. Fase de Elaboración de estanques de agua.**

- Se construyó 12 estanques de vidrio transparente de 3 mm cada uno con capacidad de 30 L, donde se depositó el efluente residual municipal del punto de vertimiento en el distrito de Talavera. Los estanques tuvieron las siguientes medidas:

Figura 32

*Sistema empleado para el tratamiento.*



- El criterio para poder identificar los estanques fue de acuerdo al peso de la macrófita flotante (g) según se muestra en el croquis del diseño de la distribución de tratamientos (tabla 3).
- Para la asepsia del helecho acuático se preparó una dilución de ácido clorhídrico, se utilizó 10 ml de HCl en 90 ml de agua destilada, para 30 L de agua, donde posteriormente se sumerge el helecho acuático durante 2 min.
- Para la preparación de la solución madre de NPK se realizó una dilución con ocho cucharadas de NPK por cada 10 litros de agua, la cual fue aplicada por el periodo de 1 semana y así evitar la muerte de la especie vegetativa.
- Se tomaron 3 muestras de cada estanque, se analizaron y monitorearon durante el estudio.



#### **d. Fase de Laboratorio**

Una vez establecidas los experimentos se procedió a armar las fechas para realizar el análisis de los parámetros fisicoquímicos, que se efectuó en tres tomas de muestra con un intervalo de 15 días, es decir: al inicio, intermedio y final del trabajo de investigación para finalmente compararlo con la normativa - “Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR según D.S. N° 003 – 2010 – MINAM”:

##### **Parámetros Físicos**

- Aceites y grasas
- Temperatura

##### **Parámetros Químicos**

- pH
- Sólidos Totales en Suspensión
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

##### **Parámetros Microbiológico**

- Coliformes Termotolerantes

##### **Parámetro Hidrobiológico**

- Perifiton

Los análisis se realizaron en las instalaciones del laboratorio de investigación de control y análisis de aguas de la Universidad Nacional José María Arguedas - Andahuaylas, es preciso mencionar que el análisis del parámetro hidrobiológico de perifiton y el parámetro físico aceites y grasas, se realizó en la ciudad de Lima en el laboratorio acreditado por INACAL, Laboratorio de ensayos servicios analíticos generales SAG.

#### **3.5.3. Instrumentos de Ingeniería**

##### **Instrumentos y equipos:**

- Peachimetro en marca OHAUS debidamente calibrado modelo ST Series Pen Meter.



- Balanza gramera digital.
- Colador.
- 04 Baldes de plástico de 30L.
- 02 Timbo de 420 L – PVC.
- 02 embudos.
- 12 estanques de vidrio transparente de 3mm.

**Materiales de campo:**

- Agua destilada.
- Guantes estériles.
- Guardapolvo.
- Barbijo.
- Lentes de protección.
- Botas de jebe blanco.

**3.6. Plan de análisis de datos**

**3.6.1. Título de la prueba de laboratorio o procedimiento que se realizó para la recolección de datos**

a. Parámetros Físicos – Químicos

**Tabla 4**

*Lista de parámetros físicos - químicos*

PARÁMETRO	MÉTODO
SST mg/L	Gravimétrico
DQO mg/L	USEPA 410.4
DBO <sub>5</sub> mg/L	Standard Method 5210 B
Aceites y Grasas mg/L	“ASTM D7678 – 17. Standard Test Method for Total Oil and Grease (TOG) and Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) in Water and Wastewater with solvent Extraction using Mid – IR Laser Spectroscopy”.



b. Parámetros Microbiológicos

**Tabla 5**

*Lista de Parámetros microbiológicos*

PARÁMETRO	MÉTODO
Coliformes Termotolerantes NMP/100mL	NMP
Perifiton Organismos (células o unidades) /mm <sup>2</sup>	(SMEWW – APHA – AWWA – WEF part 10300 C, Items 1 y 2. Periphyton. Sample Analysis. Sedgwick- Rafter Counts. Inverted Microscope Method Counts. 23rd.2017

**3.7. Procedimientos de Análisis de datos**

**a. Procesamiento o cálculos de la prueba**

- Porcentaje de Remoción: De acuerdo con Merino y Vásquez (2014) para obtener el porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Coliformes Termotolerantes, Aceites y grasas, Oxígeno Disuelto que se efectuó durante el tratamiento se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

Dónde:

C<sub>i</sub>: Valor del parámetro (DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Coliformes Termotolerantes, Aceites y grasas, Oxígeno Disuelto) del efluente residual municipal en el día inicial.

C<sub>f</sub>: Valor del parámetro a analizar del efluente en el día x. (x = 15, 45, 60 días) en un volumen de 30 litros.

Luego de obtener las tasas de remoción para los parámetros fisicoquímicos mencionados, se generaron los gráficos y tablas correspondientes.



- Pesaje de la biomasa de *Azolla filiculoides* de los tratamientos: Se realizó el pesaje al inicio del tratamiento es decir a los 0 días y al final considerado a los 60 días, de cada uno de los bloques.

#### **e. Análisis de la prueba**

- Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), prueba de Tukey con 5% y 1% de error, e incluyó una unidad de prueba de concentración de aguas residuales municipales utilizando un volumen de 30L y proporciones de helecho acuático de 300, 400 y 500 gr con sus tres repeticiones respectivamente, donde se monitoreo los parámetros físico – químicos (pH, temperatura y crecimiento constante), se realizaron experimentos en los bloques A, B y C tienen cada uno 3 réplicas, formando un total de 12 réplicas. De manera similar, se colocaron tres controles en un volumen de 30 L.

- Análisis de Varianza (ANOVA)

Es un método estadístico que mide todo el cambio observado, deja el resto como error experimental, descompone en partes y evalúa de forma independiente la relación entre el factor dependiente y uno o más factores para equilibrar las diferencias que se producen. El análisis de diferencias según el tipo de clasificación puede ser el siguiente; Computely Random, que mide los efectos de las drogas utilizadas; bloques completos aleatorizados en los que los efectos de los bloques y los tratamientos se miden juntos (Merino & Vásconez, 2014).

- Análisis Funcional (TUKEY)

Si se encuentra una diferencia significativa entre los tratamientos administrados, se realizan las denominadas pruebas de rangos múltiples, particularmente la prueba de Tukey, en la que la prueba muestra promedios de tratamiento significativos o valores de pequeña diferencia.



## Capítulo IV: Resultados de la Investigación

### **4.1. Evaluación de la efectividad fitorremediadora del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas.**

Para la obtención de resultados respecto a este objetivo se realizó la evaluación de parámetros a los 0, 45 y 60 días del tratamiento con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), con ello se ha podido comprobar la medida en la disminución de parámetros con respecto a los límites máximos permisibles para efluentes de una PTAR, a continuación, se describen los resultados hallados y en que magnitud esta especie a influenciado en la depuración de estas aguas:

#### **4.1.1. Evaluación del efluente residual municipal al ingreso del sistema de tratamiento de fitorremediación con la especie vegetativa Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*).**

En fecha 17 de junio del 2022, se inició el proceso fitorremediador con el helecho acuático, después de haber sedimentado por un periodo de 1 semana el efluente residual municipal, proveniente del punto de vertimiento de la empresa Aguas Talavera – ATALSAC, ubicado en Av. Manco Cápac del distrito de Talavera provincia de Andahuaylas. Este día es considerado como día cero del tratamiento, y los resultados se presentan en la siguiente tabla.



**Tabla 6**

*Resultado de los parámetros analizados del efluente antes del tratamiento.*

Parámetros Evaluados	Unidad	Resultados obtenidos del Primer análisis				LMP para efluentes de PTAR Domésticas o Municipales (DS N° 003-2010-MINAM)
		T0	T1	T2	T3	
Aceites y grasas	mg/L	130.14	130.14	130.14	130.14	<b>20</b>
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	4884000	4884000	4884000	488000	<b>10 000</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	1035.0	1035.0	1035.0	1035.0	<b>100</b>
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1638.7	1638.7	1638.7	1638.7	<b>200</b>
pH	Unidad	8.72	8.25	8.69	8.70	<b>6,5 - 8,5</b>
Sólidos totales en suspensión	ml/L	446	446	446	446	<b>150</b>
Temperatura	°C	17.7	17.8	17.6	18.1	<b>&lt;35</b>

Los resultados de la tabla 6, demuestra que los valores de los parámetros evaluados (Aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO<sub>5</sub>, DQO, Ph, SST) exceden según lo señalado en el “Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM-Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas”.

Por el contrario, el parámetro de temperatura es el único que no supera el valor establecido en la normativa.

**4.1.2. Evaluación del efluente residual municipal a los 45 días con el sistema de tratamiento de fitorremediación con la especie vegetativa Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*).**



**Tabla 7**

*Resultado de los parámetros analizados del efluente residual municipal a los 45 días*

Parámetros Evaluados	Unidad	Resultados obtenidos a los 45 días del tratamiento				LMP para efluentes de PTAR Domésticas o Municipales (DS N° 003-2010-MINAM)
		T0	T1	T2	T3	
Aceites y grasas	mg/L	-	-	-	-	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	129100	20	63	98	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	295	<0	50	24	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	250	55	140	160	200
pH	Unidad	8.32	8.34	8.50	9.11	6,5 - 8,5
Solidos totales en suspensión	mg/L	878.4	412.7	510	608.3	150
Temperatura	°C	18.21	19.61	19.21	18.95	<35

Los resultados de los análisis obtenidos en la tabla 7, del efluente residual municipal a los 45 días del proceso fitorremediador con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), demuestra que los parámetros evaluados para el Tratamiento Testigo (T<sub>1</sub>), sobrepasan la normativa a excepción de la temperatura que presenta un valor de 18.21 °C; sin embargo, los valores de cuatro parámetros (Coliformes termotolerantes, DBO<sub>5</sub>, DQO y Temperatura) del tratamiento (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>) se encuentran por debajo de la normativa. Además, es preciso señalar que el pH para los tres tratamientos (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>) se encuentran al límite de la normativa, asimismo el valor de los SST es elevado, por presentar biomasa muerta de la especie vegetativa (*Azolla filiculoides*).



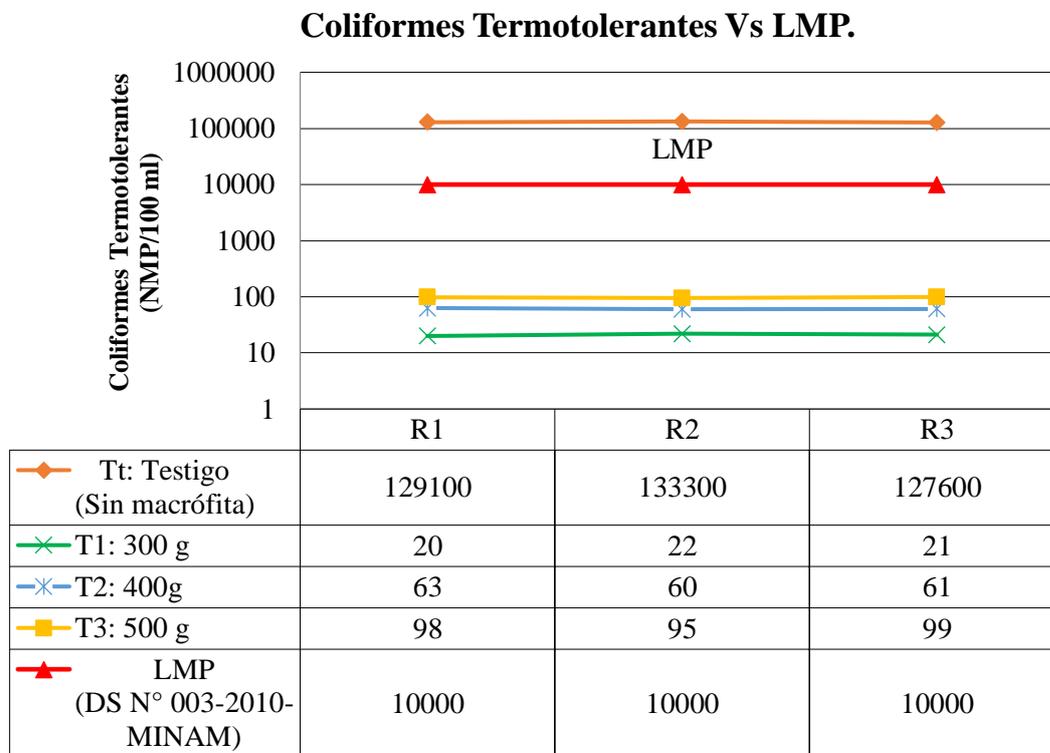
### 4.1.3. Análisis de los resultados por cada parámetro físico-químico

#### 4.1.3.1. Coliformes Termotolerantes

##### 4.1.3.1.1. Variación de la concentración de los coliformes termotolerantes a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración en humedales artificiales.

**Figura 33**

Variación de la concentración de los coliformes termotolerantes a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) comparados con los LMP.



En la figura 31 se observa que al emplear el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración a los 45 días en los humedales artificiales, el parámetro de coliformes termotolerantes, tiene una variación en su concentración para cada tratamiento. El valor para el tratamiento Testigo ( $T_t$ ) excede al de la normativa con un valor de 129100 NMP/100 ml, sin embargo, para el tratamiento  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  las concentraciones no superan “los límites máximos permisibles – D.S. N° 003-2010-MINAM”, esto sucede porque la carga de nutrientes que posee este parámetro, la planta es capaz de absorber estos a través de las raíces utilizándolos como



medio para su crecimiento y desarrollo, de manera que los compuestos orgánicos son oxidados y liberados como CO<sub>2</sub>.

Por otro lado, el tratamiento T<sub>1</sub>: 300 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal presenta valores mínimos en relación a los demás tratamientos (T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>).

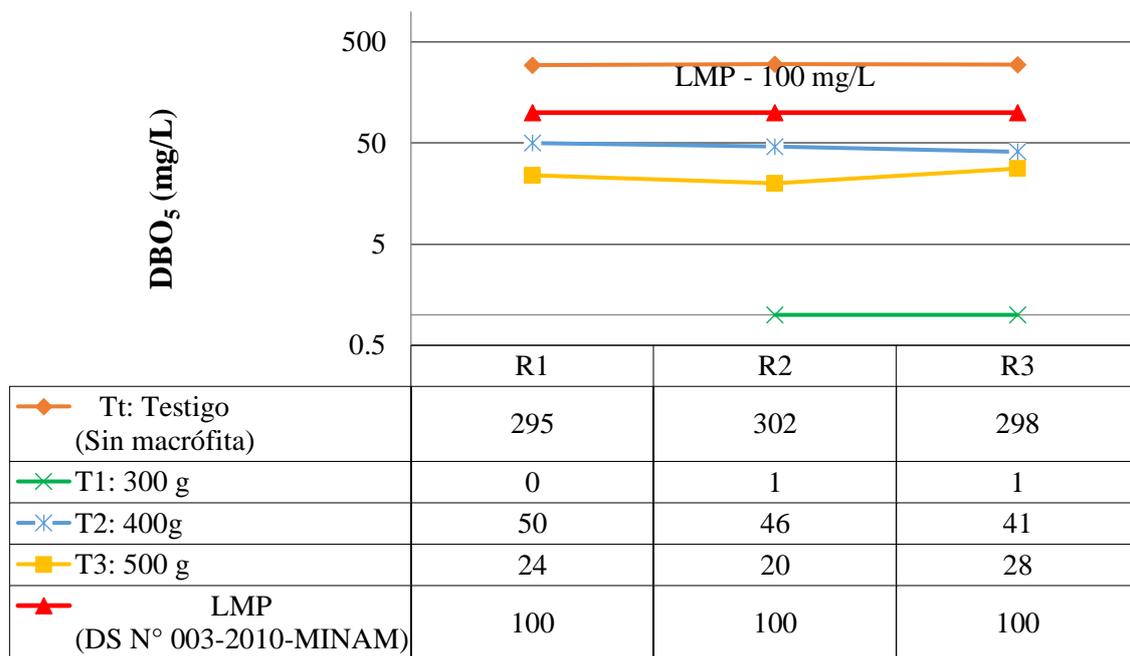
#### 4.1.3.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

##### 4.1.3.2.1. Variación de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración en humedales artificiales.

**Figura 34**

Variación de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) comparados con los LMP.

#### Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) Vs LMP



En la figura 32 se observa que al emplear el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración a los 45 días en los humedales artificiales, el parámetro de DBO<sub>5</sub>, tiene una variación en su concentración para cada tratamiento. El valor para el tratamiento Testigo (T<sub>t</sub>) excede en comparación a la normativa con un valor de 295 mg/L; sin embargo, para el tratamiento T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> las concentraciones no superan “los límites máximos permisibles – D.S.



N° 003-2010-MINAM”, porque como se menciona en el marco teórico las bacterias aerobias logran instalarse alrededor de la planta para obtener O<sub>2</sub> ya que se alimentan de la materia orgánica haciendo que se oxide y convirtiéndolo en gas CO<sub>2</sub> por ende reduciendo el DBO<sub>5</sub>.

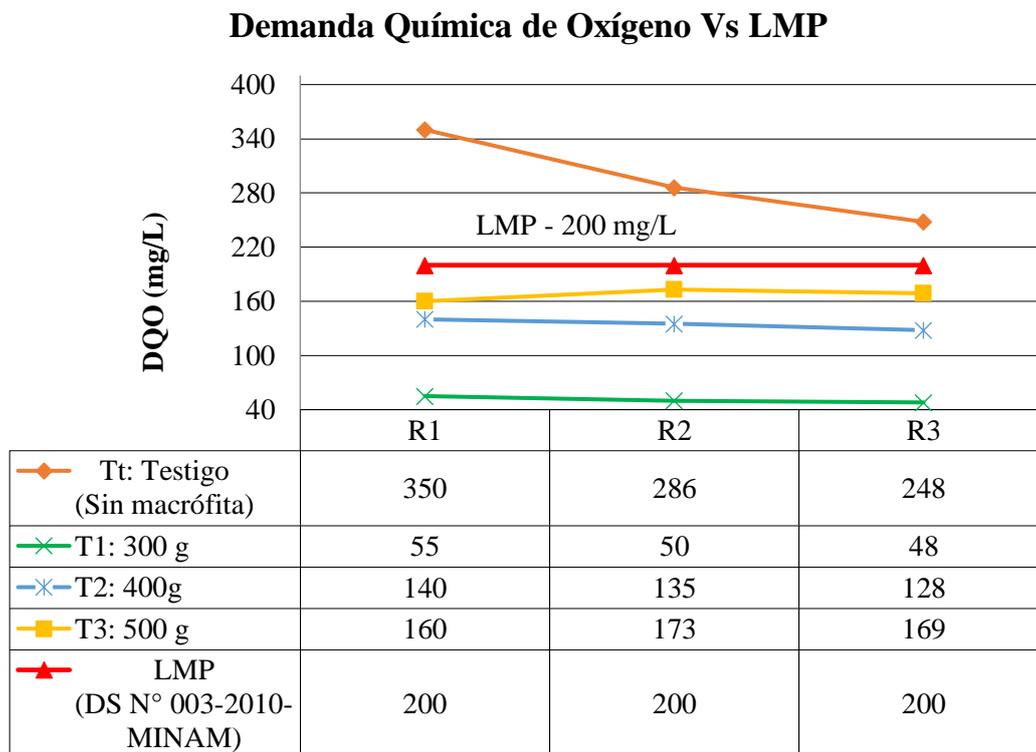
Por otro lado, el tratamiento T<sub>1</sub>: 300 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal presenta valores mínimos en relación a los demás tratamientos (T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>).

#### 4.1.3.3. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

##### 4.1.3.3.1. Variación de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración en humedales artificiales.

**Figura 35**

Variación de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) comparados con los LMP.



En la figura 33 se observa que al emplear el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración a los 45 días en los humedales artificiales, el parámetro de DQO, tiene una variación en su concentración para cada tratamiento. El valor para el tratamiento Testigo (T<sub>t</sub>)



excede al de la normativa con un valor de 350 mg/L; sin embargo, para el tratamiento T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> las concentraciones no superan “los límites máximos permisibles – D.S. N° 003-2010-MINAM”, al igual que en el anterior parámetro la macrófita en estudio tiene la capacidad de oxidar sustancias orgánicas como inorgánicas sirviendo estos como medio de alimento para su desarrollo (crecimiento).

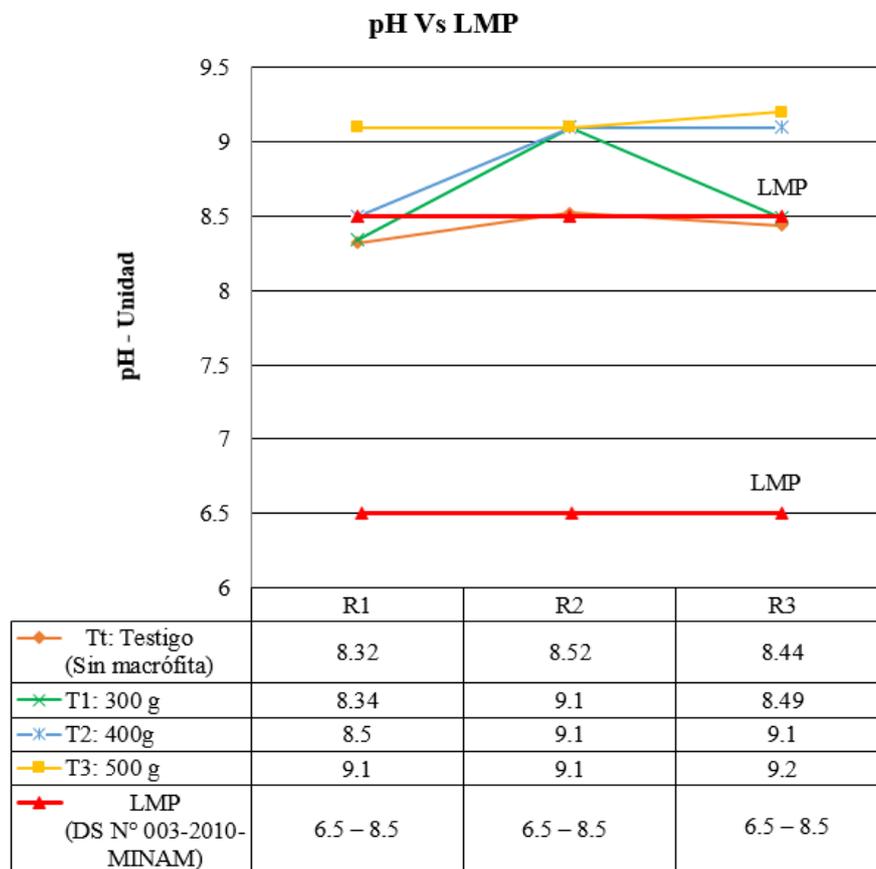
Por otro lado, el tratamiento T<sub>1</sub>: 300 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal presenta valores mínimos en relación a los demás tratamientos (T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>).

#### 4.1.3.4. pH

##### 4.1.3.4.1. Variación de la concentración del pH a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración en humedales artificiales.

**Figura 36**

*Variación de la concentración del pH los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) comparados con los LMP.*





En la figura 34 se observa que al emplear el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración a los 45 días en los humedales artificiales, el parámetro de pH, tiene una variación en su concentración para cada tratamiento. Los valores para los distintos tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> exceden a los valores establecidos en “los límites máximos permisibles – D.S. N° 003-2010-MINAM”, consiguiendo así un pH básico.

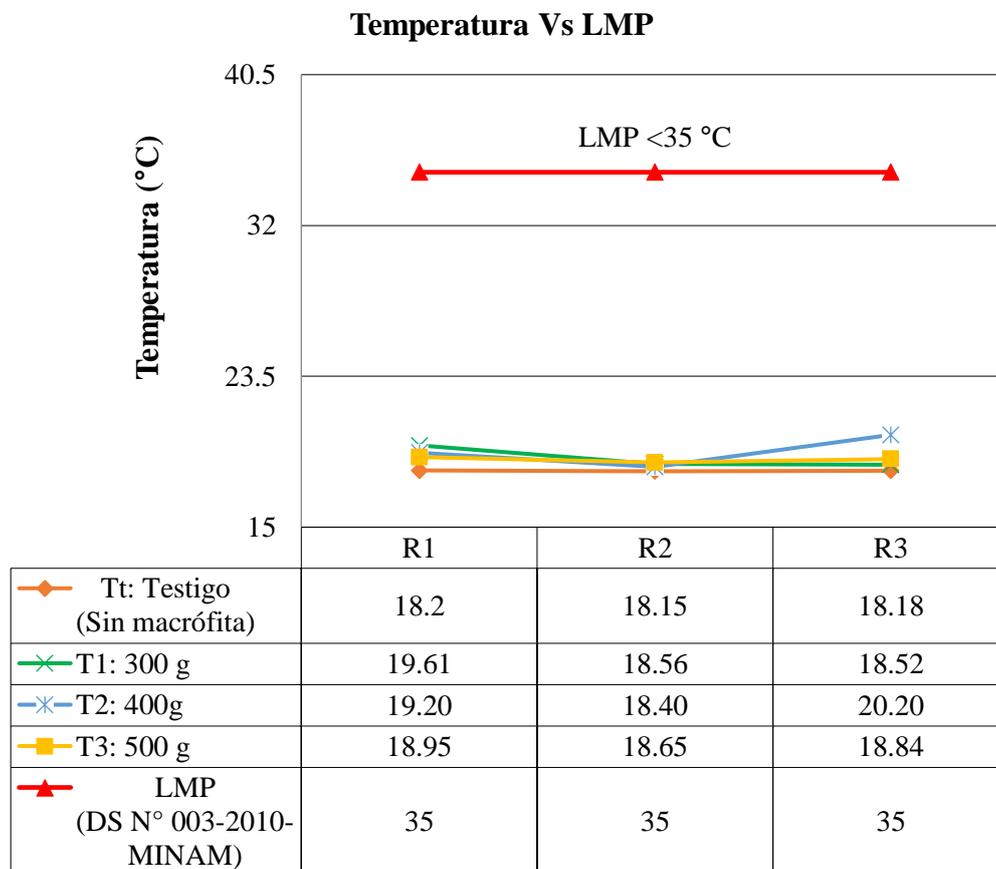
Por otro lado, el tratamiento T<sub>1</sub>: 300 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal presenta valores mínimos en relación a los demás tratamientos (T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>).

#### 4.1.3.5. Temperatura (°C)

##### 4.1.3.5.1. Variación de la concentración de la temperatura (°C) a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración en humedales artificiales.

**Figura 37**

Variación de la concentración de la temperatura (°C) a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) comparados con los LMP.





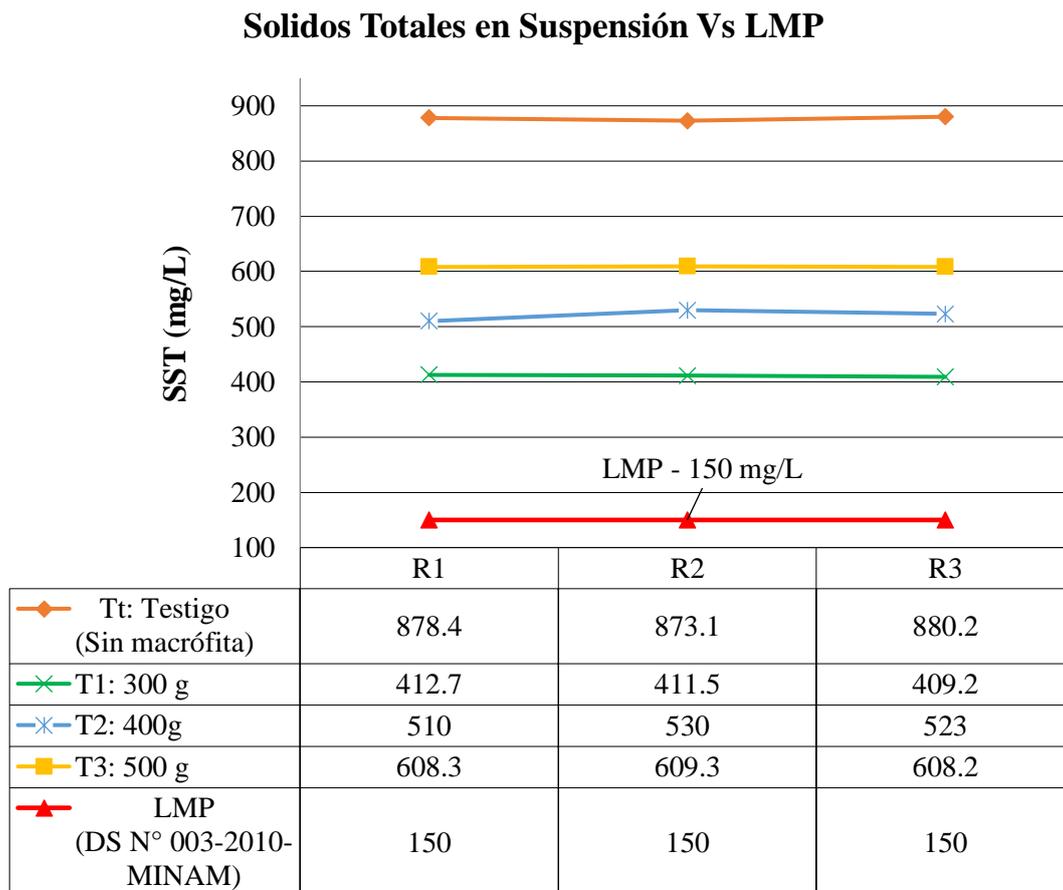
En la figura 35 se observa que al emplear el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración a los 45 días en los humedales artificiales, el parámetro de temperatura (°C), tiene una variación en su concentración para cada tratamiento. Sin embargo, ninguno de estos valores logra superar “los límites máximos permisibles – D.S. N° 003-2010-MINAM”.

#### 4.1.3.6. Sólidos Totales en Suspensión (SST)

##### 4.1.3.6.1. Variación de la concentración de los Sólidos Totales en Suspensión (SST) a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración en humedales artificiales.

**Figura 38**

*Variación de la concentración de los Sólidos Totales en Suspensión (SST) a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) comparados con los LMP.*



En la figura 36 se observa que al emplear el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración a los 45 días en los humedales artificiales, el parámetro de SST, tiene una



variación en su concentración para cada tratamiento. El valor para el tratamiento Testigo (T<sub>i</sub>) excede al de la normativa con un valor de 878.4 mg/L; asimismo, para el tratamiento T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> las concentraciones superan “los límites máximos permisibles – D.S. N° 003-2010-MINAM”, debido a la presencia de fango y biomasa muerta de la especie vegetativa sumergida en los pozos de experimentación.

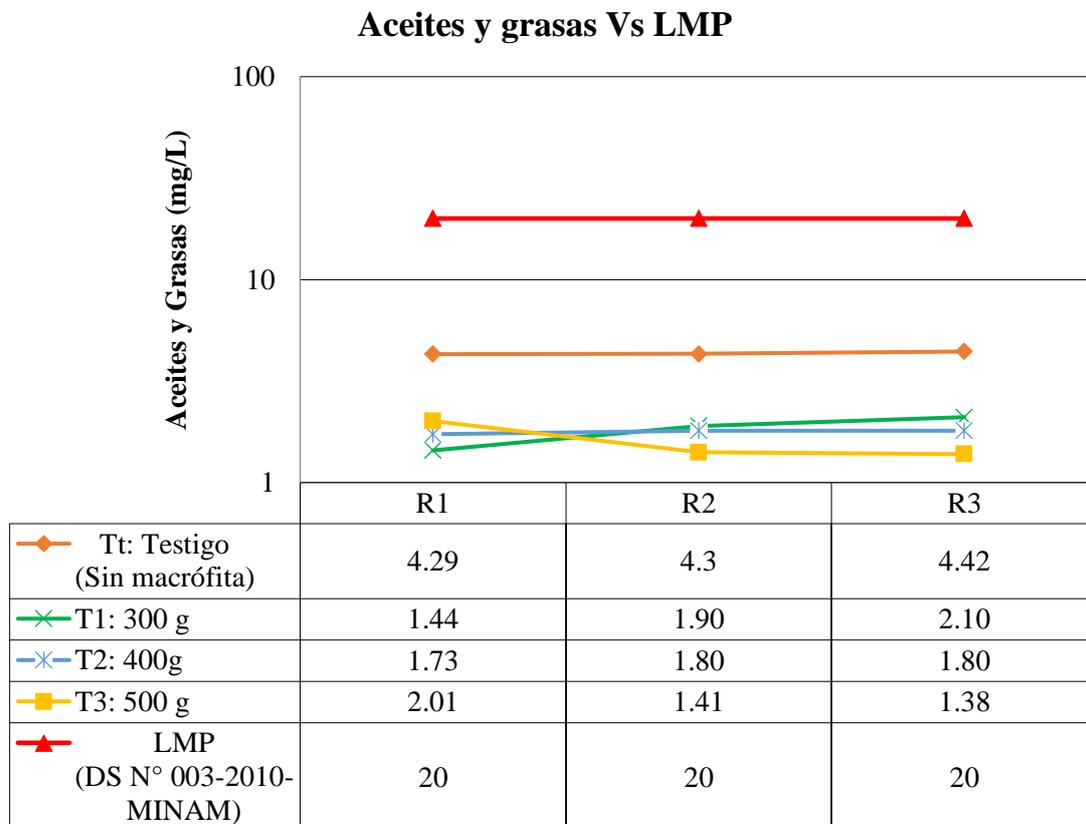
Por otro lado, el tratamiento T<sub>1</sub>: 300 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal presenta valores mínimos en relación a los demás tratamientos (T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>).

#### 4.1.3.7. Aceites y grasas

##### 4.1.3.7.1. Variación de la concentración de aceites y grasas a los 60 días de usar el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración en humedales artificiales.

**Figura 39**

Variación de la concentración de aceites y grasas a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) comparados con los LMP.





En la figura 37 se observa que al emplear el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en su fase de maduración a los 60 días en los humedales artificiales, el parámetro de aceites y grasas, tiene una variación en su concentración para cada tratamiento. El valor para el tratamiento Testigo (T<sub>1</sub>) no excede al de la normativa con un valor de 4.29 mg/L; asimismo, para el tratamiento T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> las concentraciones no superan “los límites máximos permisibles – D.S. N° 003-2010-MINAM”.

Por otro lado, el tratamiento T<sub>1</sub>: 300 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal presenta valores mínimos en relación a los demás tratamientos (T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>).

**4.1.4. Evaluación del efluente residual municipal a los 60 días del sistema de tratamiento de fitorremediación con la especie vegetativa Helecho Acuático (*Azolla filiculoides*).**

**Tabla 8**

*Evaluación del efluente residual municipal a los 60 días del sistema de tratamiento de fitorremediación con la especie vegetativa Helecho Acuático*

Parámetros Evaluados	Unidad	Resultados obtenidos a los 60 días del tratamiento				LMP para efluentes de PTAR Domésticas o Municipales (DS N° 003-2010-MINAM)
		T0	T1	T2	T3	
Aceites y grasas	mg/L	4.29	1.44	1.7	2.01	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	<1	<1	2880	410	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	120	126	131	50	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	152.3	157.7	190.3	94.3	200
pH	Unidad	9.47	8.91	8.64	8.94	6,5 - 8,5
Solidos totales en suspensión	mg/L	773.6	608.4	1268	631.3	150
Temperatura	°C	18.9	16.8	18.9	21.3	<35

Los resultados de los análisis obtenidos del efluente residual municipal a los 60 días del proceso fitorremediador con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), demuestra que los



parámetros evaluados (aceites y grasas, Coliformes termotolerantes, DQO y la temperatura) para cada uno de los tratamientos han disminuido; estos datos comparados con los Límites Máximos Permisibles no exceden los valores establecidos según normativa. Sin embargo, la concentración de la DBO<sub>5</sub>, sólidos totales en suspensión y el pH, superan la normativa producto de la eutrofización presentada *a consecuencia de la generación de materia orgánica en descomposición* que produce una sobrecarga de nutrientes que la planta ya no puede absorber de manera correcta.



4.1.5. Comparación de tratamientos realizados

**Tabla 9**

*Resultados obtenidos en el transcurso del tratamiento*

Parámetros Evaluados	Unidad	Resultados obtenidos a los 0 días del tratamiento				Resultados obtenidos a los 45 días del tratamiento				Resultados obtenidos a los 60 días del tratamiento				LMP (DS N° 003-2010-MINAM)
		T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	
Aceites y grasas	mg/L	130.14	130.14	130.14	130.14	-	-	-	-	4.29	1.44	1.7	2.01	<b>20</b>
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	4884000	4884000	4884000	488000	129100	20	63	98	<1	<1	2880	410	<b>10 000</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	1035.0	1035.0	1035.0	1035.0	295	<0	50	24	120	126	131	50	<b>100</b>
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1638.7	1638.7	1638.7	1638.7	250	55	140	160	152.3	157.7	190.3	94.3	<b>200</b>
pH	Unidad	8.72	8.25	8.69	8.70	8.32	8.34	8.50	9.11	9.47	8.91	8.64	8.94	<b>6,5 - 8,5</b>
Sólidos totales en suspensión	ml/L	446	446	446	446	878.4	412.7	510	608.3	773.6	608.4	1268	631.3	<b>150</b>
Temperatura	°C	17.7	17.8	17.6	18.1	18.21	19.61	19.2	18.95	18.9	16.8	18.9	21.3	<b>&lt;35</b>



En la tabla 9, se observa que los resultados de los parámetros obtenidos a los 0 días del tratamiento sobrepasan los valores establecidos en la normativa; sin embargo, a los 45 días de tratamiento de los siete parámetros, solo cuatro (Coliformes termotolerantes, DBO<sub>5</sub>, DQO y Temperatura) logran disminuir los valores. Finalmente, a los 60 días de tratamiento se observa que solo tres parámetros (Coliformes termotolerantes, aceites y grasas y temperatura) siguieron disminuyendo, por el contrario, los demás parámetros aumentaron, consiguiendo superar la normativa – Límites Máximos Permisibles (DS N° 003-2010-MINAM).

### 1.1. Estimación de la capacidad depuradora del factor de absorción del sistema radicular del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) para la fitorremediación de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas.

Dentro de la evaluación correspondiente se manejó un análisis por cada uno de los parámetros según la normativa de los límites máximos permisibles para efluentes de una PTAR (pH, Temperatura, DQO, DBO<sub>5</sub>, aceites y grasas, Oxígeno Disuelto y Coliformes Termotolerantes), los cuales fueron analizados mediante la prueba Tukey para medir el nivel de significancia es decir en qué medida está especie afectará a cada uno de los parámetros establecidos, para posteriormente estimar la eficiencia de remoción, cabe resaltar que en la prueba de medias se ha establecido un orden de mérito que muestra en forma descendente a los tratamientos.

#### 4.2.1. pH

##### 4.2.1.1. Resultado de monitoreo del parámetro pH a los 0 días.

Tabla 10

*Análisis de varianza de monitoreo de pH a los 0 días.*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
Tratamientos	3	0.166	0.055	1.92	4,08	7,59	NS	0,205
Error Exp.	8	0.231	0.029					
Total	11	0.397						

Nota. CV: 2.27%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = NS. (NO significativo). P-valor: 0,205

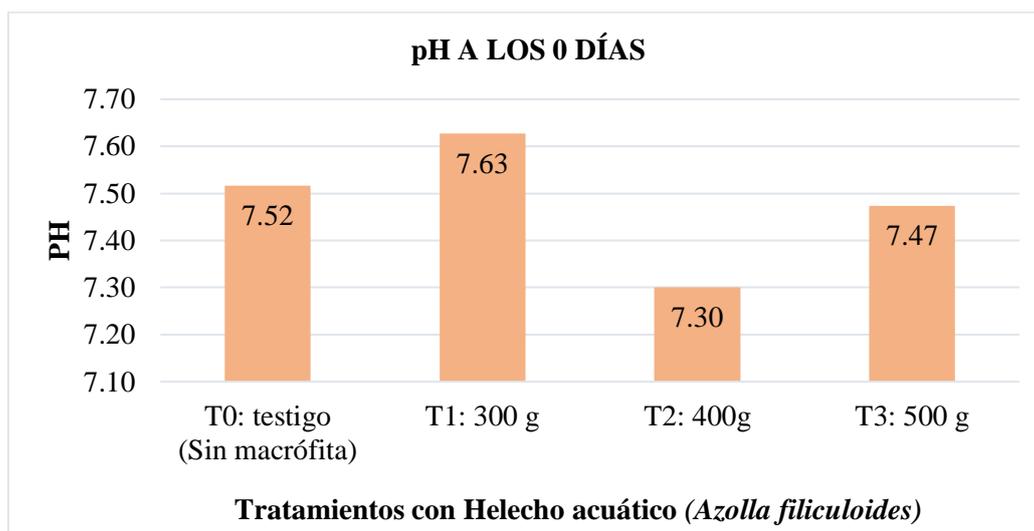


En la tabla 9 del análisis de varianza del parámetro de pH a los 0 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada ( $FC=1,92$ ) es menor que F tabulada ( $FT=4.08$ ) con un nivel de significancia de ( $\alpha =0,05$ ), siendo FC no significativo, por consiguiente, estadísticamente no existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de ( $CV= 1.55\%$ ) existiendo una mayor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y rechazamos la hipótesis alterna ( $H_a$ ), debido a que el P-valor=0.205

**Figura 40**

*Monitoreo de pH a los 0 días*



En la figura 38, se observa que el pH en el efluente residual municipal a los 0 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 7.30 hasta 7.63, lo que indica que no existe diferencia marcada entre estos resultados, contrastándose con la prueba ANOVA, porque el efluente residual recién inicia su proceso de depuración y contacto con el helecho acuático.



#### 4.2.1.2. Resultado de monitoreo del parámetro pH a los 45 días

**Tabla 11**

*Análisis de varianza de monitoreo de pH a los 45 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	0.848	0.283	3.83	4,08	7,59	NS	0,057
<b>Error Exp.</b>	8	0.591	0.074					
<b>Total</b>	11	1.439						

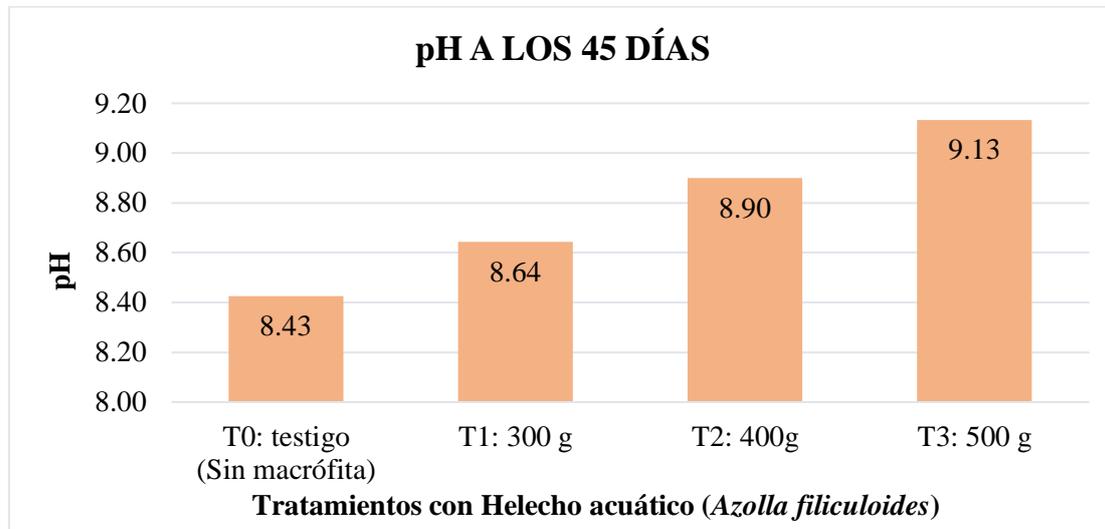
*Nota.* CV: 3.10%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = NS. (NO significativo). P-valor: 0,057

En la tabla 12 del análisis de varianza del parámetro de pH a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=3.38) es menor que F tabulada (FT=4.08) con un nivel de significancia de ( $\alpha = 0,05$ ), siendo FC no significativo, por consiguiente, estadísticamente, no existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de (CV= 3.10 %) existiendo una mayor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alterna ( $H_a$ ), ya que el P-valor=0.057.

**Figura 41**

Monitoreo de pH a los 45 días



En la figura 39, se observa que el pH en el efluente residual municipal a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 8.43 hasta 9.13, lo que indica que no existe diferencia marcada entre estos resultados, contrastándose con la prueba ANOVA.

#### 4.2.1.3. Resultado de monitoreo del parámetro pH a los 60 días.

**Tabla 12**

Análisis de varianza de monitoreo de pH a los 60 días

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	1.025	0.342	131.39	4,08	7,59	**	0,000
<b>Error Exp.</b>	8	0.021	0.003					
<b>Total</b>	11	1.046						

Nota: CV: 0.57%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,000

En la tabla 11 del análisis de varianza del parámetro de pH a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=131.39) es mayor que F tabulada (FT=7.59) con un nivel de significancia de ( $\alpha = 0,01$ ), siendo FC altamente significativo, por consiguiente, estadísticamente, existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por



otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de (CV= 0.57 %) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ), debido a que el P-valor = 0.000.

**Tabla 13**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro pH a los 60 días*

N°	Tratamiento	Promedio	Sig	OM
1	Testigo (Sin macrófita)	9.43	C	3 <sup>er</sup>
2	500 g	8.90	B	2 <sup>do</sup>
3	300 g	8.88	B	2 <sup>do</sup>
4	400 g	8.62	A	1 <sup>er</sup>

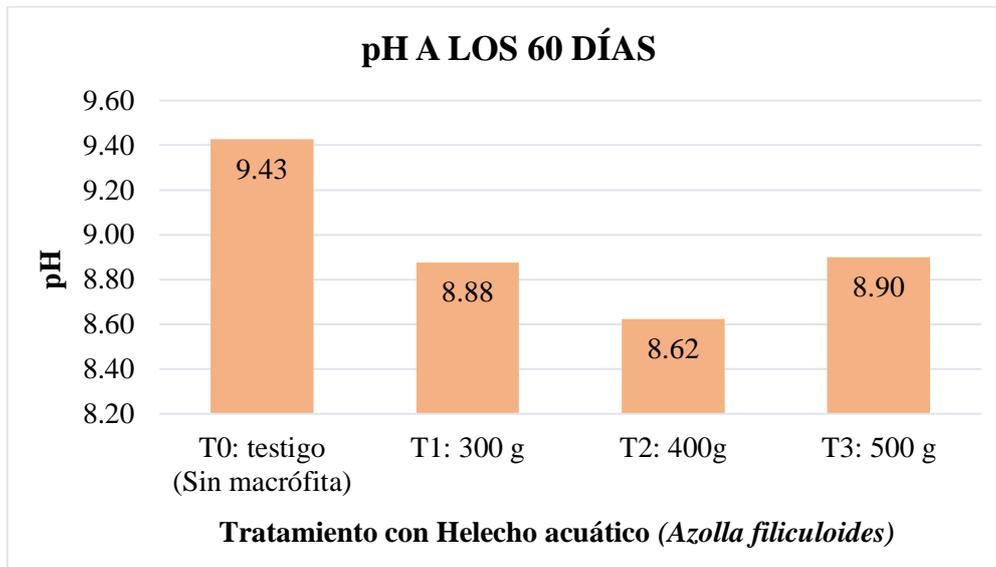
En la tabla 12 se muestra la comparación de las medias del parámetro de pH para los cuatro tratamientos después del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media el tratamiento;  $T_t$  = testigo con un valor de (9,43) ocupando el primer lugar denotado por la letra (c). El tratamiento  $T_3$ : 500 g de *Azolla filiculoides* y  $T_1$ : 300 g con un valor (8.90) y (8.88) que ocupan el segundo lugar en orden de mérito denotado por la letra (b); como tercer lugar en orden de mérito está el tratamiento  $T_2$ : 400 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (8,62) denotado por la letra (a).

Este orden de mérito se dio envase a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$



**Figura 42**

*Monitoreo de pH a los 60 días*

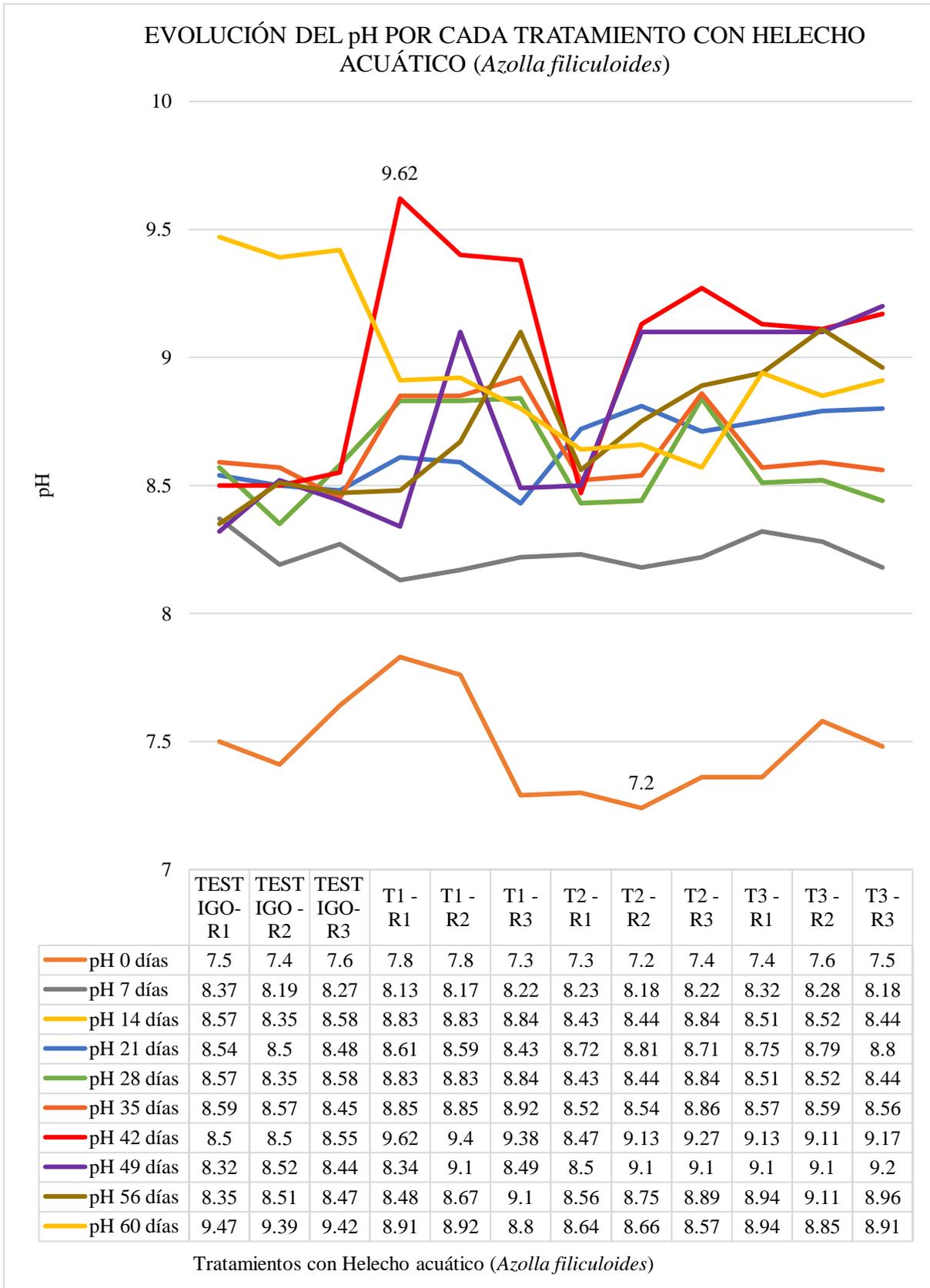


En la figura 40, se observa que el pH en el efluente residual municipal a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 8.62 hasta 9.43, lo que indica que existe diferencia marcada entre estos resultados, siendo de alto valor el tratamiento T<sub>i</sub>: Testigo (Sin macrófita).



**Figura 43**

*Evolución del pH por cada tratamiento con helecho acuático (Azolla filiculoides)*





En la figura 41 del resultado de monitoreo del parámetro de pH se puede observar la variación que posee durante 60 días con un período de medición de 7 días, donde se aprecia un ascenso progresivo, comenzando ligeramente neutro hasta ligeramente alcalino, teniendo la mayor elevación a los 42 días y de menor rango a los 0 días de haber iniciado el proceso de fitorremediación de aguas residuales municipales, la razón en la elevación del pH es porque existe menos CO<sub>2</sub> disuelto en las pozas de vidrio debido a que la macrófita en estudio consume la materia orgánica que al oxidarla ocasiona la liberación de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, este fenómeno se explica con la ley Henry (Orenda Technologies, 2006) el cual indica que el pH aumentará a medida que se reduzca el CO<sub>2</sub> en el agua hasta que alcance el equilibrio con el aire, ese punto de equilibrio es básicamente un límite superior o un "techo", que suele ser de alrededor de 8,2, superado este nivel tiene que ser influenciado, en este caso es por la macrófita.

#### 4.2.2. Temperatura

##### 4.2.2.1. Resultado de monitoreo del parámetro Temperatura a los 0 días.

**Tabla 14**

*Análisis de varianza de monitoreo de Temperatura a los 0 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	0.402	0.134	2.56	4,08	7,59	NS	0,128
<b>Error Exp.</b>	8	0.420	0.052					
<b>Total</b>	11	0.822						

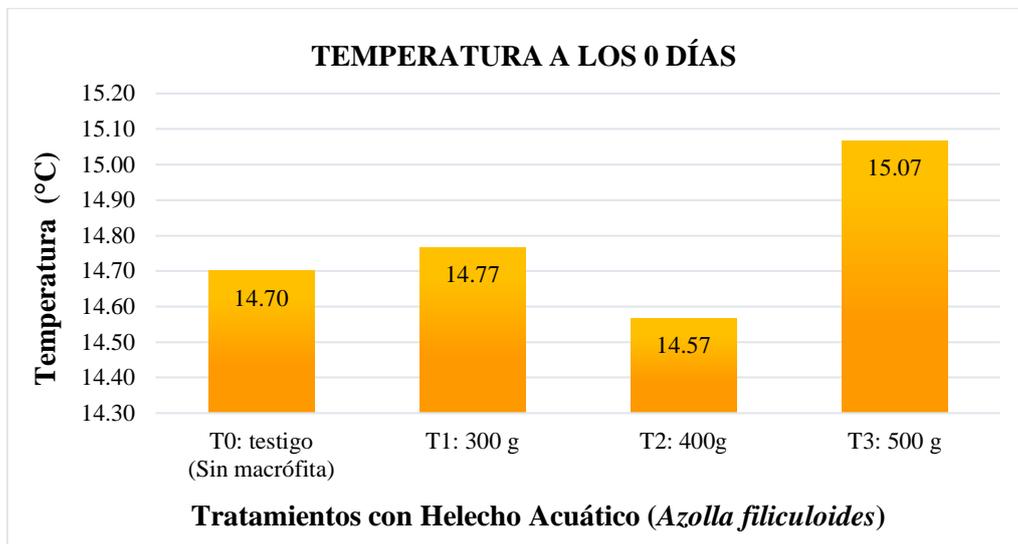
Nota: CV: 1.55%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = NS. (NO significativo). P-valor: 0,128

En la tabla 13 del análisis de varianza del parámetro de temperatura a los 0 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=2.56) es menor que F tabulada (FT=4.08) con un nivel de significancia de ( $\alpha=0,05$ ), siendo FC no significativo, por consiguiente, estadísticamente no existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de (CV= 1.55%) existiendo una mayor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y rechazamos la hipótesis alterna ( $H_a$ ), debido a que el  $P$ -valor=0.128.

**Figura 44**

*Monitoreo de Temperatura a los 0 días*



En la figura 42, se observa que la temperatura en el efluente residual municipal a los 0 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 14.57 °C hasta 15.07 °C, lo que indica que no existe diferencia marcada entre estos resultados, contrastándose con la prueba ANOVA, ya que recién inicia el proceso de fitorremediación.

#### 4.2.2.2. Resultado de monitoreo del parámetro Temperatura a los 45 días

**Tabla 15**

*Análisis de varianza de monitoreo de Temperatura a los 45 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
Tratamientos	3	1.846	0.615	2.02	4,08	7,59	NS	0,190
Error Exp.	8	2.438	0.305					
Total	11	4.284						

Nota. CV: 2.94%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = NS. (NO significativo). P-valor: 0,190

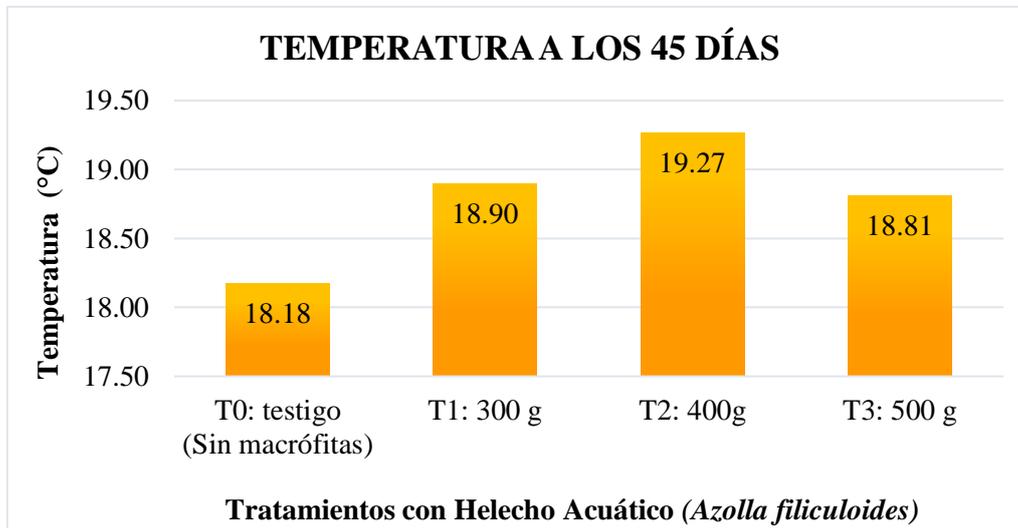


En la tabla 14 del análisis de varianza del parámetro de temperatura a los 45 días del proceso fitorremediador con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=2.02) es menor que F tabulada (FT= 4.08) con un nivel de significancia de ( $\alpha =0,05$ ), siendo FC no significativo, por consiguiente, estadísticamente, no existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad tiene un valor de (CV= 2.94%) existiendo una mayor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alterna ( $H_a$ ), ya que el P-valor=0.190.

**Figura 45**

*Monitoreo de Temperatura a los 45 días*



En la figura 43, se observa que el parámetro de temperatura a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 18.18 °C hasta 19.27 °C, lo que indica que no existe diferencia marcada entre estos resultados, contrastándose con la prueba ANOVA.

#### 4.2.2.3. Resultado de monitoreo del parámetro Temperatura a los 60 días.

**Tabla 16**

*Análisis de varianza de monitoreo de Temperatura a los 60 días.*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
Tratamientos	3	30.209	10.070	42.55	4,08	7,59	**	0,000



<b>Error Exp.</b>	8	1.893	0.237
<b>Total</b>	11	32.103	

Nota. CV: 2.55%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,000

En la tabla 15 del análisis de varianza del parámetro de temperatura a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=42.55) es mayor que F tabulada (FT=7.59) con un nivel de significancia de ( $\alpha = 0,01$ ), siendo FC altamente significativo, por consiguiente, estadísticamente, existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de (CV= 2.55%) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ), debido a que el P-valor=0,000.

**Tabla 17**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro temperatura a los 60 días*

N°	Tratamiento con	Promedio (°C)	Sig	OM
1	500 g	21.30	C	3 <sup>er</sup>
2	400 g	19.30	B	2 <sup>do</sup>
3	Testigo (Sin macrófita)	18.87	B	2 <sup>do</sup>
4	300 g	16.80	A	1 <sup>er</sup>

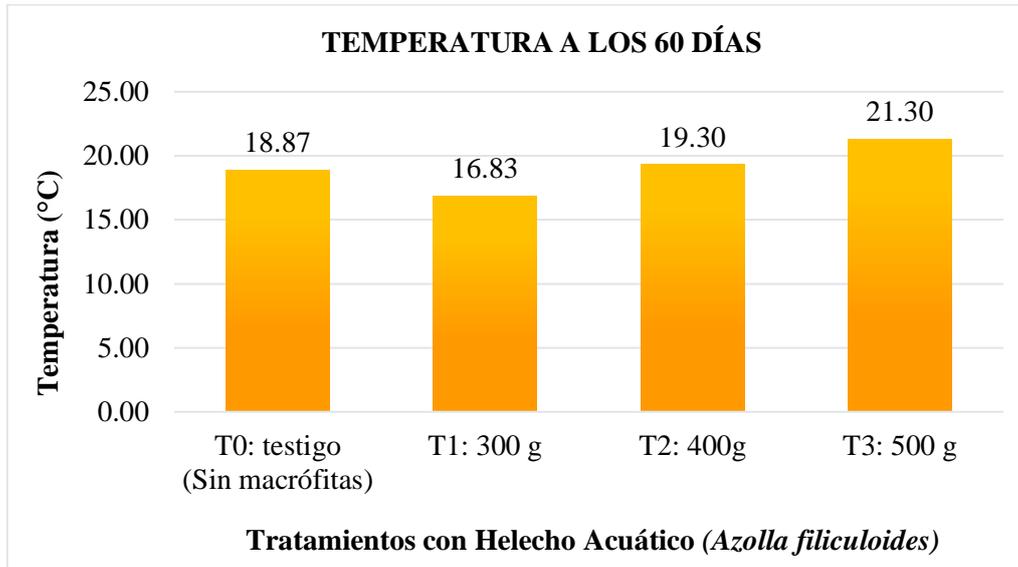
En la tabla 16 se muestra la comparación de las medias del parámetro de temperatura para los cuatro tratamientos después del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media el tratamiento; T<sub>3</sub>= 500 g con un valor de (21.30) ocupando el primer lugar denotado por la letra (c). El tratamiento T<sub>2</sub>: 400 g y T<sub>1</sub>: testigo con un valor (19.30) y (18.87) que ocupan el segundo lugar en orden de mérito denotado por la letra (b); como tercer lugar en orden de mérito está el tratamiento: T<sub>1</sub>: 300 g con un valor de (16.80) denotado por la letra (a).

Este orden de mérito se dio envase a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$ .



**Figura 46**

*Monitoreo de temperatura a los 60 días*



En la figura 44, se observa que la temperatura en el efluente residual municipal a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 16.83 hasta 21.30 °C, lo que indica que existe diferencia marcada entre estos resultados, siendo de alto valor el tratamiento T<sub>3</sub>: 500 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal.

#### 4.2.3. Parámetros Sólidos Totales Suspendidos

##### 4.2.3.1. Resultado de monitoreo del parámetro Sólidos Totales Suspendidos a los 0 días.

**Tabla 18**

*Análisis de monitoreo del parámetro Sólidos Totales Suspendidos a los 0 días*

Parámetro Evaluado	Unidad	Resultados obtenidos del Primer análisis				LMP efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. (DS N° 003-2010-MINAM)
		T0	T1	T2	T3	
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	446	446	446	446	150

En la Tabla 17 del análisis de monitoreo del parámetro de SST a los 0 días, se observa que para cada tratamiento del efluente residual municipal este sobrepasa el límite máximo permisible



según la normativa prevista, se precisa que no se realiza un análisis estadístico debido a que el valor numérico no presente variación significativa.

#### 4.2.3.2. Resultado de monitoreo del parámetro Sólidos Totales Suspendidos a los 45 días.

**Tabla 19**

*Análisis de varianza de monitoreo de Sólidos Totales Suspendidos a los 45 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	356289.596	118763.199	3953.61	4,08	7,59	**	0,000
<b>Error Exp.</b>	8	240.313	30.039					
<b>Total</b>	11	356529.909						

Nota: CV: 0.91%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,000.

En la tabla 18 del análisis de varianza del parámetro de sólidos totales suspendidos a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=3953.61) es mayor que F tabulada (FT=7.59) con un nivel de significancia de ( $\alpha = 0,01$ ), siendo FC altamente significativo, y por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de (CV= 0.91%) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Ha), debido a que el P-valor = 0.000, es decir que si existe una diferencia marcada en los tratamientos realizados debido a la influencia que ejerce en la absorción de contaminantes por la especie vegetativa *Azolla Filiculoides*.



**Tabla 20**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de sólidos totales suspendidos a los 45 días*

Nº	Tratamiento con	Promedio (mg/L)	Sig	OM
1	Testigo (Sin macrófita)	877.23	D	4 <sup>to</sup>
2	500 g	608.60	C	3 <sup>er</sup>
3	400 g	521.00	B	2 <sup>do</sup>
4	300 g	411.13	A	1 <sup>er</sup>

En la tabla 19 se muestra la comparación de las medias del parámetro de sólidos totales suspendidos para los cuatro tratamientos a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media, el tratamiento; T<sub>1</sub> = testigo con un valor de (877.23) ocupando el primer lugar denotado por la letra (d). El tratamiento T<sub>3</sub>: 500 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (608.60) que ocupa el segundo lugar en orden de mérito denotado por la letra (b); como tercer lugar en orden de mérito T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* con un valor (521.00) denotado por la letra (c); y en cuarto orden de mérito está el tratamiento T<sub>1</sub>: 300 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (411.13) denotado por la letra (a); es decir que el tratamiento con mejor efectividad para este parámetro es el Tratamiento 1 con una población de 300 g.

Este orden de mérito se dio envase a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$ .



**Figura 47**

*Monitoreo de sólidos totales suspendidos a los 45 días*



En la figura 45, se observa el parámetro de sólidos totales suspendidos en el efluente residual municipal a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 411.13 mg/L hasta 877.23 mg/L, lo que indica que existe diferencia marcada entre estos resultados, siendo de alto valor el tratamiento T<sub>t</sub>: Testigo (Sin macrófita), y con mejor resultado en disminución el Tratamiento 1, para una población de 300 g.

#### 4.2.3.3. Resultado de monitoreo del parámetro Sólidos Totales Suspendidos a los 60 días.

**Tabla 21**

Análisis de varianza de monitoreo de Sólidos Totales Suspendidos a los 60 días

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	763937.589	254645.863	461.83	4,08	7,59	**	0,000
<b>Error Exp.</b>	8	4411.073	551.384					
<b>Total</b>	11	768348.663						

Nota: CV: 2.91%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,000

La tabla 20 del análisis de varianza del parámetro de sólidos totales suspendidos a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los



efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada ( $FC=461.83$ ) es mayor que F tabulada ( $FT=7.59$ ) con un nivel de significancia de ( $\alpha =0,01$ ), siendo FC altamente significativo, por consiguiente, estadísticamente, existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de ( $CV= 2.91\%$ ) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ), debido a que el P-valor = 0.000.

**Tabla 22**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de sólidos totales suspendidos a los 60 días*

Nº	Tratamiento con	Promedio (mg/L)	Sig	OM
1	400 g	1229.33	C	3 <sup>er</sup>
2	Testigo (Sin macrófita)	775.30	B	2 <sup>do</sup>
3	500 g	622.90	A	1 <sup>er</sup>
4	300 g	603.57	A	1 <sup>er</sup>

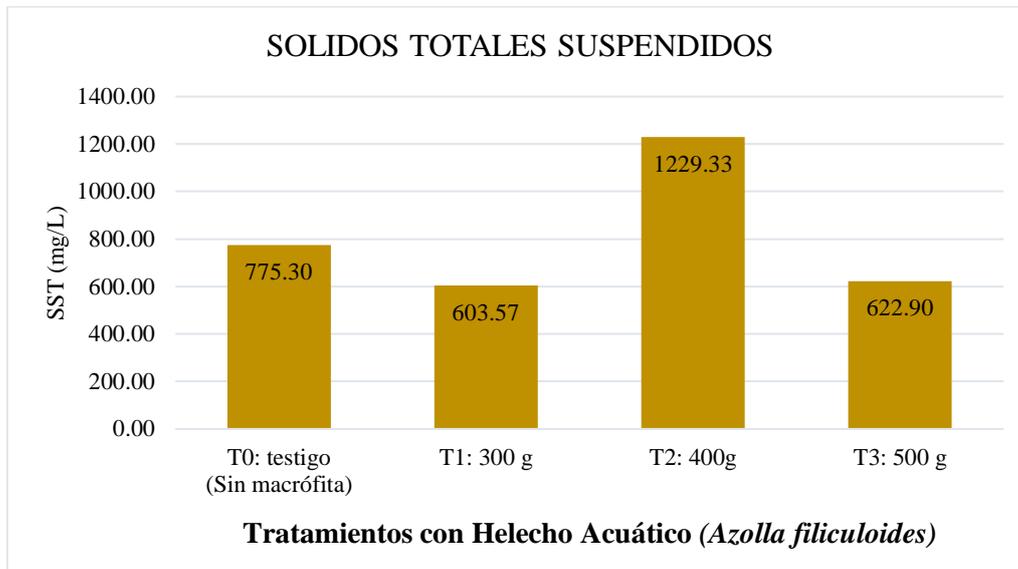
En la tabla 21 se muestra la comparación de las medias del parámetro de sólidos totales suspendidos en los cuatro tratamientos después del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media el tratamiento; T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (1229.33) ocupando el primer lugar denotado por la letra (c). El tratamiento T<sub>t</sub> = testigo con un valor de (775.30) que ocupan el segundo lugar en orden de mérito denotado por la letra (b); como tercer lugar en orden de mérito está el tratamiento T<sub>3</sub>: 500 g de *Azolla filiculoides* y T<sub>1</sub>: 300 g con un valor (622.9) y (603.57) respectivamente.

Este orden de mérito se dio envase a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$ .



**Figura 48**

*Monitoreo de sólidos totales suspendidos a los 60 días*



En la figura 46, se observa que el parámetro de sólidos totales suspendidos en el efluente residual municipal a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 603.57 hasta 1229.33 lo que indica que existe diferencia marcada entre estos resultados, siendo de alto valor el tratamiento T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal, además existe una elevación en este parámetro debido a que la especie vegetativa posterior a los 45 días del tratamiento para este estudio alcanza una saturación en su desarrollo óptimo por ende se observa una eutrofización dentro de cada poza de tratamiento lo que limita a la planta la continuidad en la absorción de contaminantes, debido al exceso de nutrientes durante su crecimiento y putrefacción generando fango en abundancia.



#### 4.2.4. Demanda Química de Oxígeno

##### 4.2.4.1. Resultado de monitoreo del parámetro Demanda Química de Oxígeno a los 0 días.

**Tabla 23**

*Análisis de monitoreo del parámetro de Demanda Química de Oxígeno a los 0 días*

Parámetro Evaluado	Unidad	Resultados obtenidos del Primer análisis				LMP efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. (DS N° 003-2010-MINAM)
		T0	T1	T2	T3	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1638.7	1638.7	1638.7	1638.7	200

En la Tabla 22 se observa que para el monitoreo de DQO a los 0 días de haber iniciado el tratamiento con el efluente residual este sobrepasa el límite máximo permisible establecido, además de precisar que no se realiza el análisis estadístico respectivo debido a que no existe diferencia numérica en cada tratamiento.

##### 4.2.4.2. Resultado de monitoreo del parámetro Demanda Química de Oxígeno a los 45 días.

**Tabla 24**

*Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Demanda Química de Oxígeno a los 45 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	92145.667	30715.222	44.66	4,08	7,59	**	0,000
<b>Error Exp.</b>	8	5502.000	687.750					
<b>Total</b>	11	97647.667						

Nota: CV: 16.20%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,000

La tabla 23 del análisis de varianza del parámetro de Demanda Química de Oxígeno a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los



efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada ( $FC=44.66$ ) es mayor que F tabulada ( $FT=7.59$ ) con un nivel de significancia de ( $\alpha =0,01$ ), siendo FC altamente significativo, por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de ( $CV= 16.20\%$ ) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ), debido a que el P-valor = 0.000; es decir que si existe una diferencia marcada en los tratamientos realizados debido a la influencia que ejerce en la absorción de contaminantes por la especie vegetativa *Azolla Filiculoides*.

**Tabla 25**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de Demanda Química de Oxígeno a los 45 días*

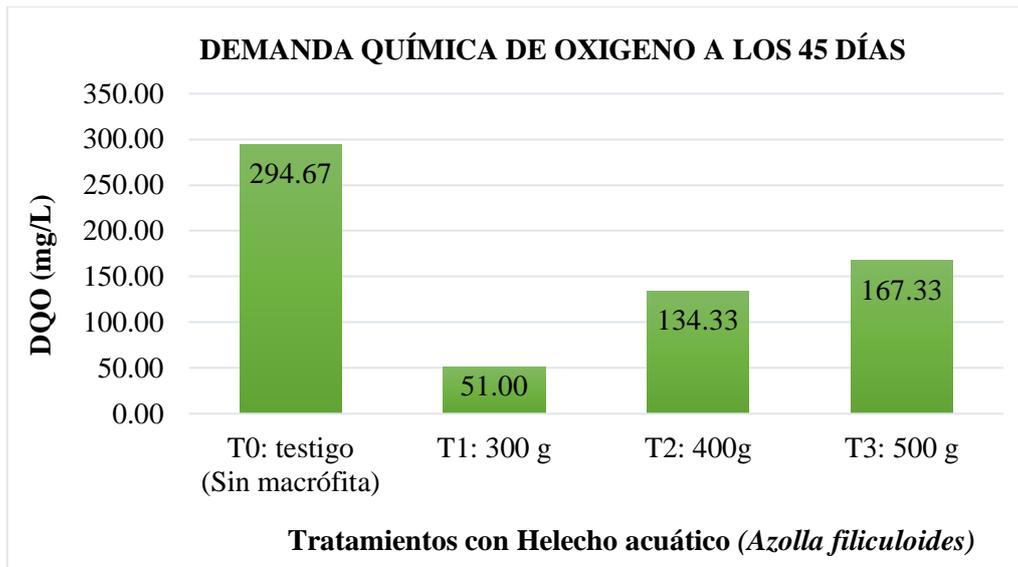
N°	Tratamiento con	Promedio (mg/L)	Sig	OM
1	Testigo (Sin macrófita)	294.67	C	3 <sup>er</sup>
2	500 g	167.33	B	2 <sup>do</sup>
3	400 g	134.33	B	2 <sup>do</sup>
4	300 g	51.00	A	1 <sup>ro</sup>

En la tabla 24 se muestra la comparación de las medias del parámetro de Demanda Química de Oxígeno para los cuatro tratamientos a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media el tratamiento;  $T_t$  = testigo con un valor de (294.67) ocupando el primer lugar denotado por la letra (c). El tratamiento  $T_3$ : 500 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (167.33) que ocupa el segundo lugar en orden de mérito denotado por la letra (b) y el  $T_2$ : 400 g de *Azolla filiculoides* con un valor (134.33) denotado por la letra (b); y como tercer lugar en orden de mérito está el tratamiento  $T_1$ : 300 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (51.00) denotado por la letra (a).

Este orden de mérito se dio envase a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$ .

**Figura 49**

*Monitoreo de Demanda Química de Oxígeno a los 45 días*



En la figura 47, se observa el parámetro de la Demanda Química de Oxígeno en el efluente residual municipal a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 51 mg/L hasta 294.67 mg/L, lo que indica que existe diferencia marcada entre estos resultados, siendo de alto valor el tratamiento T<sub>i</sub>: Testigo (Sin macrófita) y mayor disminución con el tratamiento 1 de una población de 300 g.

#### 4.2.4.3. Resultado de monitoreo del parámetro Demanda Química de Oxígeno a los 60 días

**Tabla 26**

*Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Demanda Química de Oxígeno a los 60 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	14493.177	4831.059	252.84	4,08	7,59	**	0,000
<b>Error Exp.</b>	8	152.860	19.108					
<b>Total</b>	11	14646.037						

Nota: CV: 3.01%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,000

La tabla 25 del análisis de varianza del parámetro de Demanda Química de Oxígeno a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los



efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada ( $FC=252.84$ ) es mayor que F tabulada ( $FT=7.59$ ) con un nivel de significancia de ( $\alpha =0,01$ ), siendo FC altamente significativo, por consiguiente, estadísticamente, existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de ( $CV= 3.01\%$ ) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ), debido a que el P-valor = 0.000.

**Tabla 27**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de Demanda Química de Oxígeno a los 60 días*

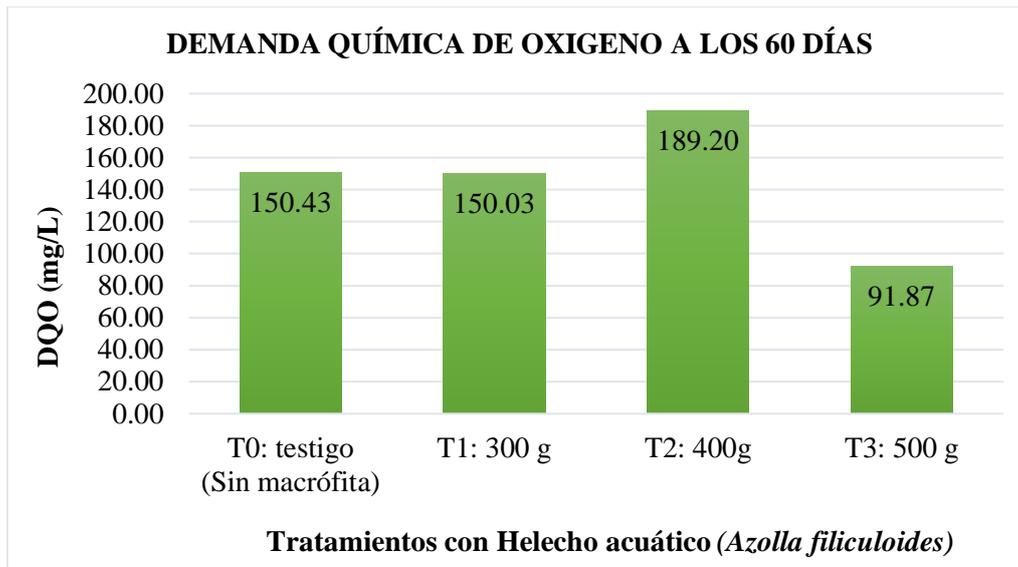
Nº	Tratamiento con	Promedio (mg/L)	Sig	OM
1	400 g	189.20	C	3 <sup>ro</sup>
2	Testigo (Sin macrófita)	150.43	B	2 <sup>do</sup>
3	300 g	150.03	B	2 <sup>do</sup>
4	500 g	91.87	A	1 <sup>er</sup>

En la tabla 26 se muestra la comparación de las medias del parámetro de Demanda Química de Oxígeno en los cuatro tratamientos después del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media el tratamiento; T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (189.20) ocupando el primer lugar denotado por la letra (c). El tratamiento T<sub>t</sub> = testigo con un valor de (150.43) y el T<sub>1</sub>: 300 g de *Azolla filiculoides* que ocupan el segundo lugar en orden de mérito denotado por la letra (b); como tercer lugar en orden de mérito está el tratamiento T<sub>3</sub>: 500 g de *Azolla filiculoides* con un valor (91.87).

Este orden de mérito se dio envase a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$ .

**Figura 50**

*Monitoreo de Demanda Química de Oxígeno a los 60 días*



En la figura 48, se observa que el parámetro de Demanda Química de Oxígeno en el efluente residual municipal a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 91.87 hasta 189.20 lo que indica que existe diferencia marcada entre estos resultados, siendo de alto valor el tratamiento T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal, además existe una elevación en este parámetro debido a que la especie vegetativa posterior a los 45 días del tratamiento para este estudio alcanza una saturación en su desarrollo óptimo por ende se observa una eutrofización y ello conlleva a que se consuma gran cantidad de oxígeno disuelto presente en el medio.

#### 4.2.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

##### 4.2.5.1. Resultado de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) a los 0 días.

**Tabla 28**

*Análisis de monitoreo del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) a los 0 días*

Parámetro Evaluado	Unidad	Resultados obtenidos del Primer análisis				LMP efluentes de PTAR Domésticas o Municipales. (DS N° 003-2010-MINAM)
		T0	T1	T2	T3	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	1035	1035	1035	1035	100



En la tabla 27 se observa que para el análisis de DBO<sub>5</sub> a los 0 días del tratamiento de las aguas residuales este sobrepasa el límite máximo permisible establecido, se precisa que no se realiza el análisis estadístico pertinente debido a que no existe diferencia numérica entre los tratamientos.

#### 4.2.5.2. Resultado de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) a los 45 días.

**Tabla 29**

*Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 45 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	173057.667	57685.889	4709.05	4,08	7,59	**	0,000
<b>Error Exp.</b>	8	98.000	12.250					
<b>Total</b>	11	173155.667						

Nota: CV: 3.80%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,000

La tabla 28 del análisis de varianza del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=4709.05) es mayor que F tabulada (FT=7.59) con un nivel de significancia de ( $\alpha = 0,01$ ), siendo FC altamente significativo, por consiguiente, estadísticamente, existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de (CV= 3.80%) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y se acepta la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>), debido a que el P-valor = 0.000.



**Tabla 30**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 45 días*

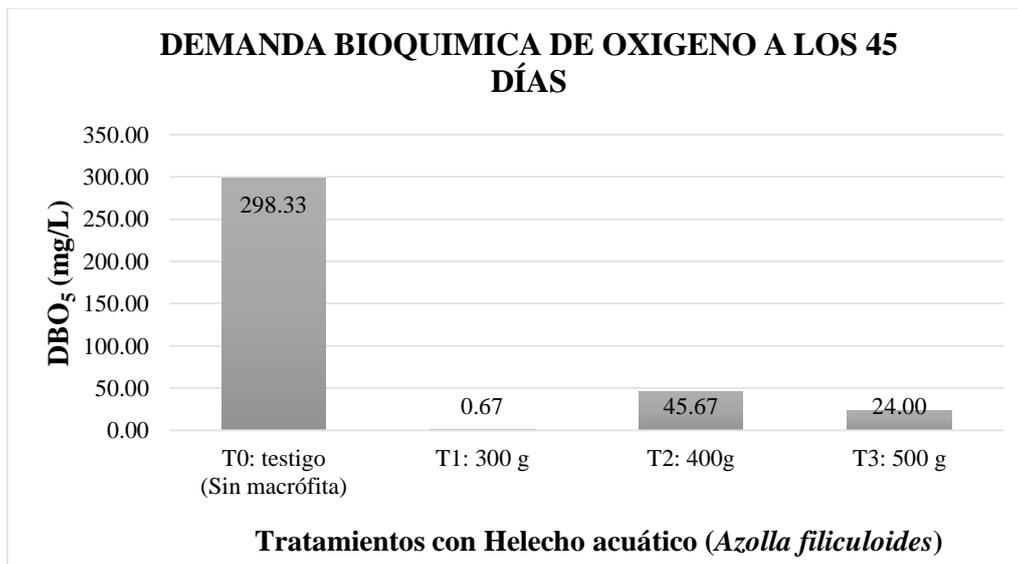
Nº	Tratamiento con	Promedio (mg/L)	Sig	OM
1	Testigo (Sin macrófita)	298.33	D	4 <sup>to</sup>
2	400 g	45.67	C	3 <sup>ro</sup>
3	500 g	24.00	B	2 <sup>do</sup>
4	300 g	0.67	A	1 <sup>er</sup>

En la tabla 29 se muestra la comparación de las medias del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno en los cuatro tratamientos a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media el tratamiento; T<sub>1</sub> = testigo con un valor de (298.33) ocupando el primer lugar denotado por la letra (d). El tratamiento T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* con un valor (45.67) denotado por la letra (c); como tercer lugar en orden de mérito se tiene el T<sub>3</sub>: 500 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (24.00) denotado por la letra (b); y en cuarto orden de mérito está el tratamiento T<sub>1</sub>: 300 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (0.67) denotado por la letra (a).

Este orden de mérito se dio envase a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$

**Figura 51**

*Monitoreo de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 45 días*





En la figura 49, se observa el parámetro de demanda Bioquímica de oxígeno en el efluente residual municipal a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 0.67 mg/L hasta 298.33 mg/L, lo que indica que existe diferencia marcada entre estos resultados, siendo de alto valor el tratamiento T<sub>t</sub>: Testigo (Sin macrófita) y teniendo mejor resultado en la reducción el Tratamiento 1 con una población de 300 g, ello significa que los microorganismos presentes en el medio realizan una adecuada estabilización de la materia orgánica biodegradable.

#### 4.2.5.3. Resultado de monitoreo del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 60 días

**Tabla 31**

*Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 60 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	13156.333	4385.444	657.82	4,08	7,59	**	0,000
<b>Error Exp.</b>	8	53.333	6.667					
<b>Total</b>	11	13209.667						

Nota: CV: 2.41%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,000

La tabla 30 del análisis de varianza del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=657.82) es mayor que F tabulada (FT=7.59) con un nivel de significancia de ( $\alpha = 0,01$ ), siendo FC altamente significativo, por consiguiente, estadísticamente, existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de (CV= 2.41%) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y se acepta la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>), debido a que el P-valor = 0.000.



**Tabla 32**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 60 días*

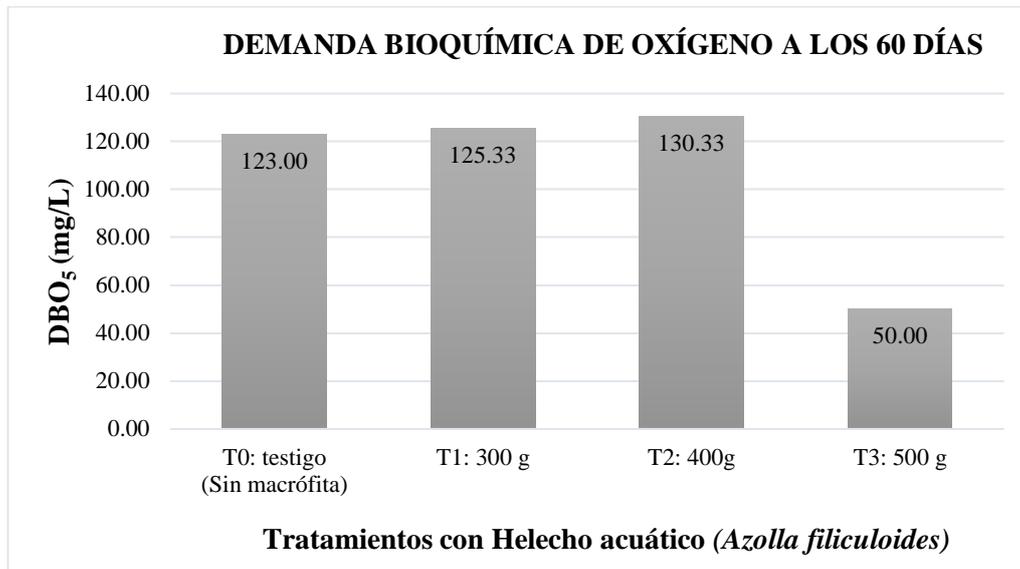
N°	Tratamiento con	Promedio (mg/L)	Sig	OM
1	400 g	130.33	C	3 <sup>er</sup>
2	Testigo (Sin macrófita)	125.33	B	2 <sup>do</sup>
3	300 g	123.00	B	2 <sup>do</sup>
4	500 g	50.00	A	1 <sup>er</sup>

En la tabla 31 se muestra la comparación de las medias del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno en los cuatro tratamientos después del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media el tratamiento; T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (130.33) ocupando el primer lugar denotado por la letra (c); El tratamiento T<sub>i</sub> = testigo con un valor de (775.30) con un valor de (125.33) ocupando el segundo lugar en orden de mérito denotado por la letra (bc); como tercer lugar en orden de mérito está el tratamiento y T<sub>1</sub>: 300 g con un valor (622.9) y T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* (603.57).

Este orden de mérito se dio con base a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$ .

**Figura 52**

Monitoreo de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 60 días



En la figura 50, se observa el parámetro de demanda Bioquímica de oxígeno a los 60 días en el efluente residual municipal a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 50.00 hasta 130.33 lo que indica que existe diferencia marcada entre estos resultados, siendo de alto valor el tratamiento T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal, a diferencia del tratamiento de 45 días se contempla una elevación dentro de este parámetro debido a la eutrofización presente en la cada una de las pozas de tratamiento, porque la cantidad de oxígeno que es demandada por los microorganismos es limitada.

#### 4.2.6. Aceites y grasas

##### 4.2.6.1. Resultado de monitoreo del parámetro aceites y grasas a los 0 días

**Tabla 33**

Análisis de monitoreo del parámetro de aceites y grasas a los 0 días

Parámetro Evaluado	Unidad	Resultados obtenidos del Primer análisis				LMP efluentes de PTAR Domésticas o Municipales. (DS N° 003-2010-MINAM)
		T0	T1	T2	T3	
Aceites y Grasas	mg/L	130.14	130.14	130.14	130.14	20



En la tabla 32 se puede observar que para el tratamiento de aceites y grasas a los 0 días de las aguas residuales sobrepasa el límite máximo permisible establecido por la normativa, además no se realiza el análisis estadístico debido a que no existe diferencia numérica entre los tratamientos.

#### 4.2.6.2. Resultado de monitoreo del parámetro aceites y grasas a los 60 días

**Tabla 34**

*Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de aceites y grasas a los 60 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	15.902	5.301	1213.87	4,08	7,59	**	0,000
<b>Error Exp.</b>	8	0.035	0.004					
<b>Total</b>	11	15.937						

Nota: CV: 2.78%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,000

La tabla 33 del análisis de varianza del parámetro de aceites y grasas a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=1213.87) es mayor que F tabulada (FT=7.59) con un nivel de significancia de ( $\alpha = 0,01$ ), siendo FC altamente significativo, por consiguiente, estadísticamente, existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de (CV= 2.91%) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ), debido a que el P-valor = 0.000.



**Tabla 35**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de aceites y grasas a los 60 días*

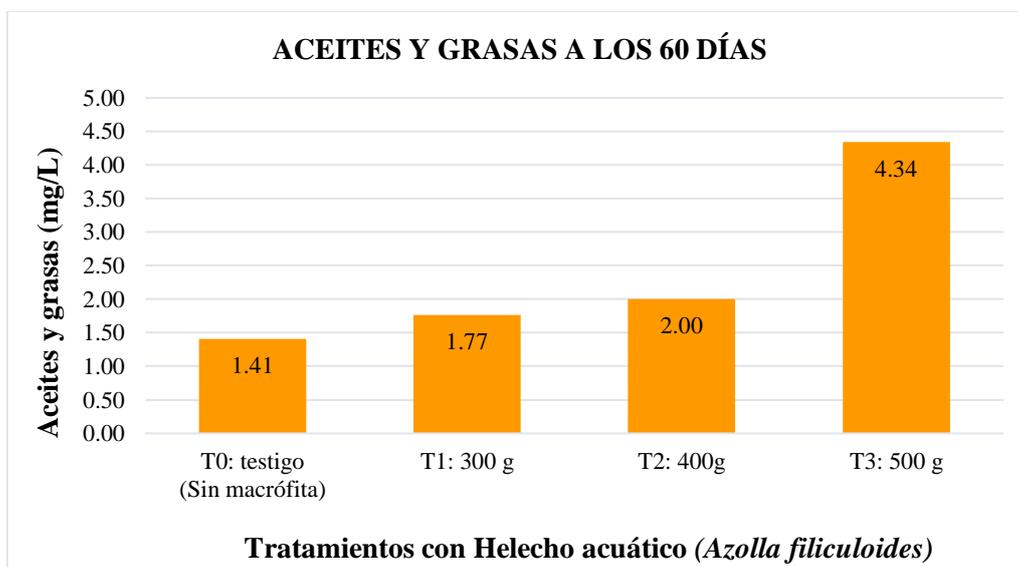
Nº	Tratamiento con	Promedio (mg/L)	Sig	OM
1	500 g	4.34	D	4 <sup>to</sup>
2	400 g	2.00	C	3 <sup>ro</sup>
3	300 g	1.77	B	2 <sup>do</sup>
4	Testigo (Sin macrófita)	1.41	A	1 <sup>ro</sup>

En la tabla 34 se muestra la comparación de las medias del parámetro de aceites y grasas en los cuatro tratamientos después del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media el tratamiento; T<sub>3</sub>: 500 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (4.34) ocupando el primer lugar denotado por la letra (d). El tratamiento T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (2.0) que ocupa el segundo lugar en orden de mérito denotado por la letra (c); como tercer lugar en orden de mérito está el tratamiento y T<sub>1</sub>: 300 g con un valor (1.77) y en cuarto lugar en orden de mérito está el tratamiento T<sub>t</sub> = testigo con un valor de (1.41) denotado por la letra (a).

Este orden de mérito se dio envase a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$ .

**Figura 53**

*Monitoreo de aceites y grasas a los 60 días*





En la figura 51, se observa el parámetro de demanda aceites y grasas en el efluente residual municipal a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 1.41 hasta 4.34 lo que indica que existe diferencia marcada entre estos resultados, siendo de alto valor el tratamiento T<sub>3</sub>: 500 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal y de mejor resultado el tratamiento testigo en la reducción para este parámetro, esto decir que a más tiempo de permanencia al aire libre de este efluente mayor será la reducción además de que no es relevante la influencia de la macrófita en estudio.

#### 4.2.7. Oxígeno Disuelto

##### 4.2.7.1. Resultado de monitoreo del parámetro Oxígeno Disuelto a los 0 días

**Tabla 36**

*Análisis de varianza de monitoreo de Oxígeno Disuelto a los 0 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	0.001	0.000	1.19	4,08	7,59	NS	0,345
<b>Error Exp.</b>	8	0.002	0.000					
<b>Total</b>	11	0.003						

Nota: CV: 3.04%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = NS. (NO significativo). P-valor: 0,345

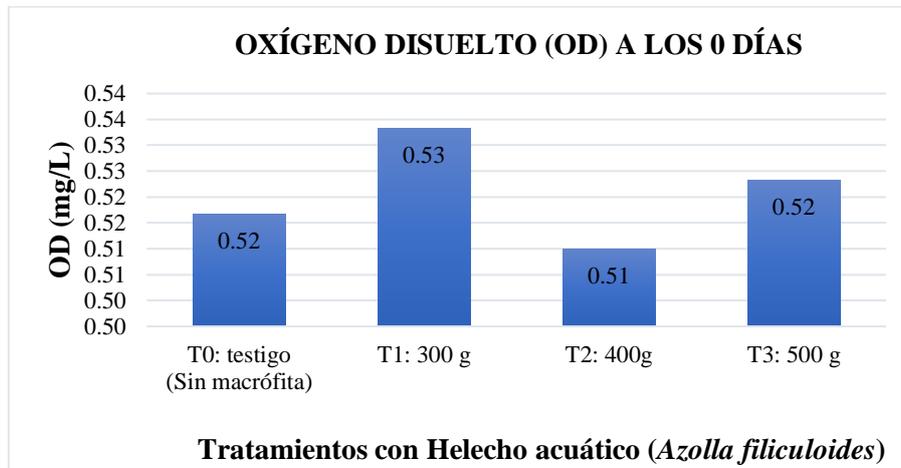
La tabla 35 del análisis de varianza del parámetro de Oxígeno Disuelto a los 0 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=1,19) es menor que F tabulada (FT=4,08) con un nivel de significancia de ( $\alpha=0,05$ ), siendo FC no significativo, por consiguiente, estadísticamente no existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de (CV= 3.04%) existiendo una mayor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se acepta la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y rechazamos la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>), debido a que el P-valor=0.345.



**Figura 54**

*Monitoreo de Oxígeno Disuelto a los 0 días*



En la figura 52, se observa el contenido de Oxígeno Disuelto a los 0 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 0.51 hasta 0.53, lo que indica que no existe diferencia marcada entre estos resultados, contrastándose con la prueba ANOVA.

#### 4.2.7.2. Resultado de monitoreo del parámetro Oxígeno Disuelto a los 45 días

**Tabla 37**

*Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Oxígeno Disuelto a los 45 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	70.901	23.634	157558.72	4,08	7,59	**	0,000
<b>Error Exp.</b>	8	0.001	0.000					
<b>Total</b>	11	70.903						

Nota: CV: 0.28%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,000.

La tabla 36 del análisis de varianza del parámetro de Oxígeno Disuelto a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=157558.72) es mayor que F tabulada (FT=7.59) con un nivel de significancia de ( $\alpha = 0,01$ ), siendo FC altamente significativo, por consiguiente, estadísticamente, existe una diferencia entre las medias de los



tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de (CV= 0.28%) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Ha), debido a que el P-valor = 0.000.

**Tabla 38**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de oxígeno disuelto a los 45 días*

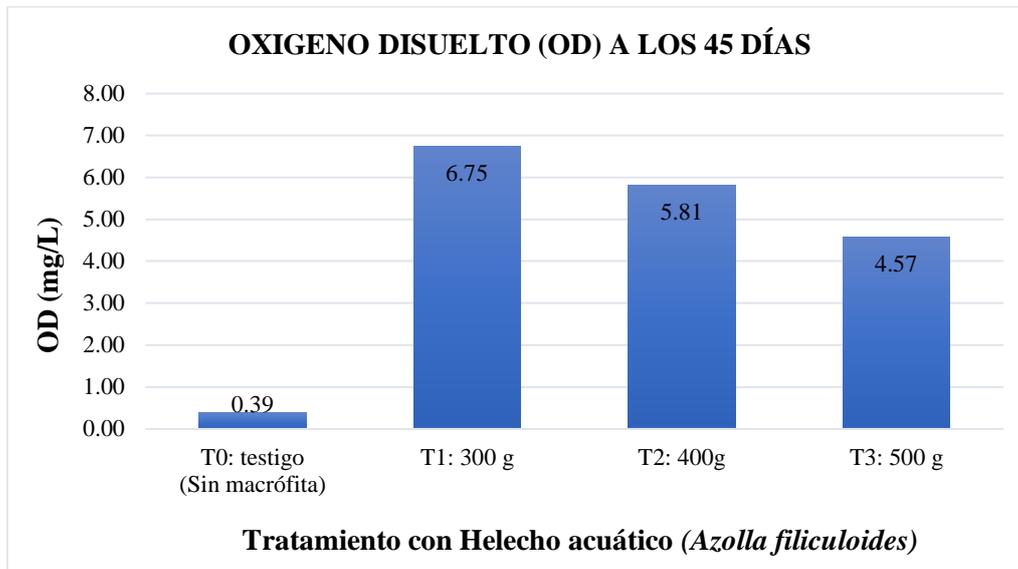
Nº	Tratamiento con	Promedio (mg/L)	Sig	OM
1	300 g	6.75	D	4 <sup>to</sup>
2	400 g	5.81	C	3 <sup>ro</sup>
3	500 g	4.57	B	2 <sup>do</sup>
4	Testigo (Sin macrófita)	0.39	A	1 <sup>ro</sup>

En la tabla 37 se muestra la comparación de las medias del parámetro de oxígeno disuelto para los cuatro tratamientos después del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media el tratamiento; T<sub>1</sub>: 300 g con un valor (6.75) ocupando el primer lugar denotado por la letra (d). El tratamiento T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (8,62) ocupan el segundo lugar en orden de mérito denotado por la letra (c); como tercer lugar en orden de mérito está el tratamiento T<sub>3</sub>: 500 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (4.57) denotado por la letra (b) y en cuarto lugar en orden de mérito está el tratamiento T<sub>1</sub> = testigo con un valor de (0.39) denotado por la letra (a).

Este orden de mérito se dio envase a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$ .

**Figura 55**

Monitoreo de Oxígeno Disuelto a los 45 días



En la figura 53, se observa el parámetro de oxígeno disuelto a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 0.39 hasta 6.75, lo que indica que existe diferencia marcada entre estos resultados, siendo de alto valor el tratamiento T<sub>1</sub>: 300 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal, la diferencia con el tratamiento testigo la cantidad de oxígeno presente en el resto de los tratamiento es buena lo que favorece el buen desarrollo de la planta.

#### 4.2.7.3. Resultado de monitoreo del parámetro Oxígeno Disuelto a los 60 días

**Tabla 39**

Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Oxígeno Disuelto a los 60 días

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	16.392	5.464	32783.53	4,08	7,59	**	0,000
<b>Error Exp.</b>	8	0.001	0.000					
<b>Total</b>	11	16.393						

Nota: CV: 0.59%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,000

La tabla 38 del análisis de varianza del parámetro de Oxígeno Disuelto a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes



residuales municipales, se observa que el valor de F calculada ( $FC=32783.53$ ) es mayor que F tabulada ( $FT=7.59$ ) con un nivel de significancia de ( $\alpha =0,01$ ), siendo FC altamente significativo, por consiguiente, estadísticamente, existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de ( $CV= 0.59\%$ ) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ), debido a que el P-valor = 0.000.

**Tabla 40**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de oxígeno disuelto a los 60 días*

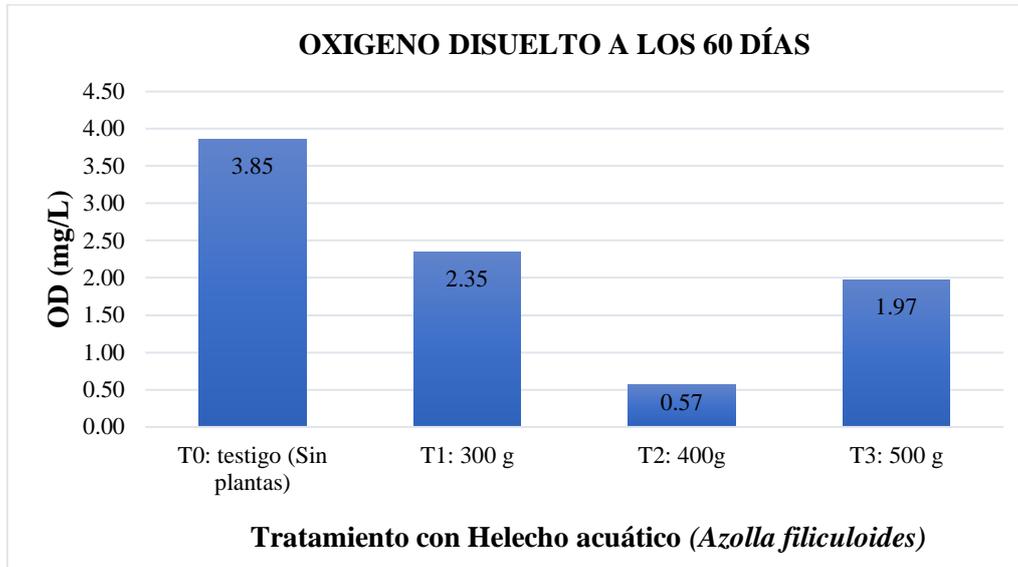
Nº	Tratamiento con	Promedio (mg/L)	Sig	OM
1	Sin plantas	3.85	D	4 <sup>to</sup>
2	300 g	2.35	C	3 <sup>ro</sup>
3	500 g	1.97	B	2 <sup>do</sup>
4	400 g	0.57	A	1 <sup>ro</sup>

En la tabla 39 se muestra la comparación de las medias del parámetro de oxígeno disuelto en los cuatro tratamientos después del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media el tratamiento;  $T_t$  = testigo con un valor de (3.85) ocupando el primer lugar denotado por la letra (d). El tratamiento  $T_1$ : 300 g de *Azolla filiculoides* con un valor (2.35) que ocupan el segundo lugar en orden de mérito denotado por la letra (c); como tercer lugar en orden de mérito está el tratamiento  $T_3$ : 500 g de *Azolla filiculoides* con un valor (1.97) denotado por la letra (b) y en cuarto lugar en orden de mérito está el tratamiento  $T_2$ : 400 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (0.57) denotado por la letra (a).

Este orden de mérito se dio envase a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$ .

**Figura 56**

*Monitoreo de Oxígeno Disuelto a los 60 días*



En la figura 54, se observa el parámetro de oxígeno disuelto a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 0.57 hasta 3.85 lo que indica que existe diferencia marcada entre estos resultados, siendo de alto valor el tratamiento T<sub>0</sub>: testigo (sin macrófitas), es decir la disminución de Oxígeno disuelto es indicador que existe una eutrofización debido a una mala calidad que existe en las pozas porque la planta presenta mayor putrefacción y biomasa muerta.

#### 4.2.8. Coliformes Termotolerantes

##### 4.2.8.1. Resultado de monitoreo del parámetro Coliformes Termotolerantes a los 0 días

**Tabla 41**

*Análisis de monitoreo del parámetro de Coliformes Termotolerantes a los 0 días*

Parámetro Evaluado	Unidad	Resultados obtenidos del Primer análisis				LMP efluentes de PTAR Domésticas o Municipales. (DS N° 003-2010-MINAM)
		T0	T1	T2	T3	
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	4884000	4884000	4884000	4884000	10,000

En la Tabla 40 se observa que para el parámetro de coliformes termotolerantes a los 0 días del tratamiento de las aguas residuales sobrepasa el límite máximo permisible establecido por la



normativa además se precisa que no se realiza el análisis estadístico respectivo debido a que no existe diferencia numérica entre los tratamientos.

#### 4.2.8.2. Resultado de monitoreo del parámetro Coliformes Termotolerantes a los 45 días

**Tabla 42**

*Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Coliformes Termotolerantes a los 45 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	37989981819.6	12663327273.2	5802.21	4,08	7,59	**	0,000
<b>Error Exp.</b>	8	17460015.3	2182501.9					
<b>Total</b>	11	38007441834.9						

Nota: CV: 4.54%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,000.

La tabla 41 del análisis de varianza del parámetro de Coliformes Termotolerantes a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=5802.21) es mayor que F tabulada (FT=7.59) con un nivel de significancia de ( $\alpha = 0,01$ ), siendo FC altamente significativo, por consiguiente, estadísticamente, existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de (CV= 4.54%) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

**Tabla 43**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de oxígeno disuelto a los 45 días*

Nº	Tratamiento con	Promedio (mg/L)	Sig	OM
1	Testigo (Sin macrófita)	130000.00	B	2 <sup>do</sup>
2	500 g	97.33	A	1 <sup>ro</sup>
3	400 g	61.33	A	1 <sup>ro</sup>
4	300 g	21.00	A	1 <sup>ro</sup>

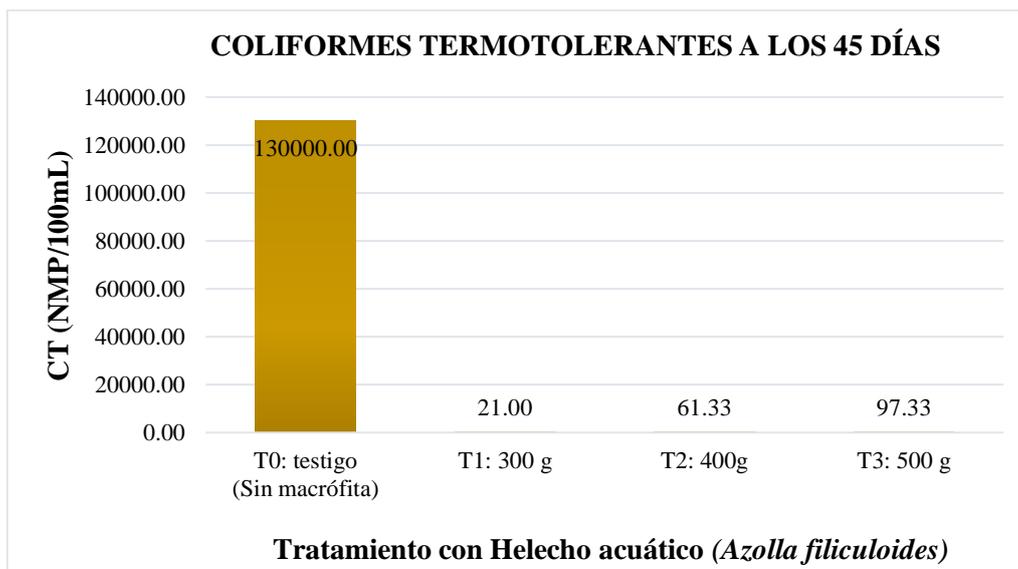


En la tabla 42 se muestra la comparación de las medias del parámetro de Coliformes termotolerantes en los cuatro tratamientos a los 45 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media el tratamiento; T<sub>t</sub> = testigo con un valor de (130000.00) ocupando el primer lugar denotado por la letra (b). El tratamiento T<sub>3</sub>: 500 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (97.33) que ocupa el segundo lugar en orden de mérito denotado por la letra (a); como tercer lugar en orden de mérito T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* con un valor (61.33) denotado por la letra (a); y en cuarto orden de mérito está el tratamiento T<sub>1</sub>: 300 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (21.00) denotado por la letra (a).

Este orden de mérito se dio envase a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$

**Figura 57**

*Monitoreo de Coliformes Termotolerantes a los 45 días*



En la figura 55, se observa el parámetro de Coliformes Termotolerantes a los 45 días del tratamiento de aguas residuales con el helecho acuático *Azolla filiculoides*, evaluando de esta manera la capacidad fitorremediadora del mismo, con valores que van desde 21.00 mg/L hasta 130000.00 mg/L cabe resaltar que existe una diferencia marcada entre estos resultados, siendo el de menor valor Tratamiento T<sub>t</sub>: Testigo (sin macrófita); la disponibilidad de nutrientes favorece al desarrollo y crecimiento de la planta, por ello la absorción de la materia orgánica presente en el efluente por lo que habrá una disminución en este parámetro para los tratamientos 1,2 y 3.



#### 4.2.8.3. Resultado de monitoreo del parámetro Coliformes Termotolerantes a los 60 días

**Tabla 44**

*Análisis de varianza de monitoreo del parámetro de Coliformes Termotolerantes a los 60 días*

Fuentes de variación	GL	SC	CM	FC	FT		Sig.	P-valor
					0,05	0,01		
<b>Tratamientos</b>	3	8911156.333	2970385.444	16.00	4,08	7,59	**	0,001
<b>Error Exp.</b>	8	1485611.333	185701.417					
<b>Total</b>	11	10396767.667						

Nota: CV: 67.67%; GL = grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = media cuadrática; FC = F calculada; FT = F tabular; Sig = \*\*. (Altamente significativo). P-valor: 0,001

La tabla 43 del análisis de varianza del parámetro de Coliformes Termotolerantes a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales, se observa que el valor de F calculada (FC=16.00) es mayor que F tabulada (FT=7.59) con un nivel de significancia de ( $\alpha = 0,01$ ), siendo FC altamente significativo, por consiguiente, estadísticamente, existe una diferencia entre las medias de los tratamientos. Por otro lado, el coeficiente de variabilidad presenta un valor de (CV= 67.67%) existiendo una menor uniformidad del valor de la variable.

Por consiguiente, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Ha), debido a que el P-valor = 0.000.

**Tabla 45**

*Prueba de significancia de Tukey para el parámetro de oxígeno disuelto a los 60 días*

N°	Tratamiento con	Promedio (mg/L)	Sig	OM
1	400 g	2106.67	B	2 <sup>do</sup>
2	500 g	390.00	A	1 <sup>ro</sup>
3	Testigo (Sin macrófita)	49.67	A	1 <sup>ro</sup>
4	300 g	1.00	A	1 <sup>ro</sup>

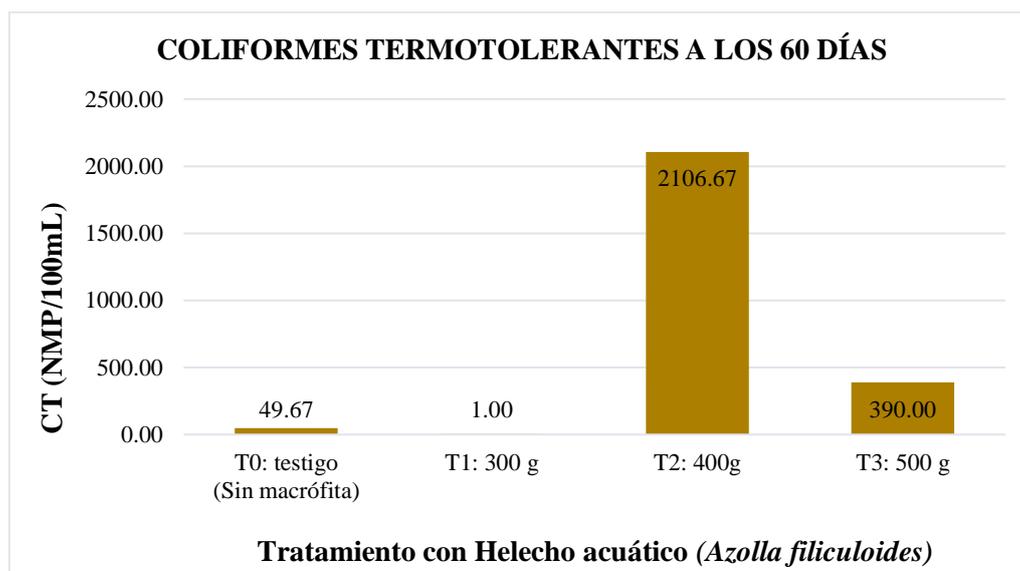


En la tabla 44 se muestra la comparación de las medias del parámetro de Coliformes termotolerantes en los cuatro tratamientos del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), los resultados muestran la diferencia relevante entre cada una de las unidades experimentales, teniendo como media el tratamiento; T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (2106.67) ocupando el primer lugar denotado por la letra (b). El tratamiento T<sub>3</sub>: 500 g de *Azolla filiculoides* con un valor de (390.00) que ocupan el segundo lugar en orden de mérito denotado por la letra (a); como tercer lugar en orden de mérito está el tratamiento T<sub>t</sub> = testigo con un valor (49.67) denotado por la letra (a) y T<sub>1</sub>: 300 g con un valor (1.00) denotado por la letra (a).

Este orden de mérito se dio envase a la prueba Tukey a un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$

**Figura 58**

*Monitoreo de Coliformes Termotolerantes a los 45 días*



En la figura 56, se observa el parámetro de Coliformes Termotolerantes a los 60 días del proceso de fitorremediación con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), presenta valores que van desde 1.00 hasta 2106.67 lo que indica que existe diferencia marcada entre estos resultados, siendo de alto valor el tratamiento T<sub>2</sub>: 400 g de *Azolla filiculoides* + efluente residual municipal, para los tratamientos 2 y 3 se evidencia una elevación debido a la saturación en el crecimiento vegetativo que producto de la eutrofización ya que es característica propia de este que exista gran cantidad de nutrientes que la planta ya no sea capaz de absorber además de que se genere biomasa muerta, un factor importante a resaltar es la falta de disponibilidad de espacio, sin embargo la reducción en el tratamiento testigo es debido a que pesar de no estar



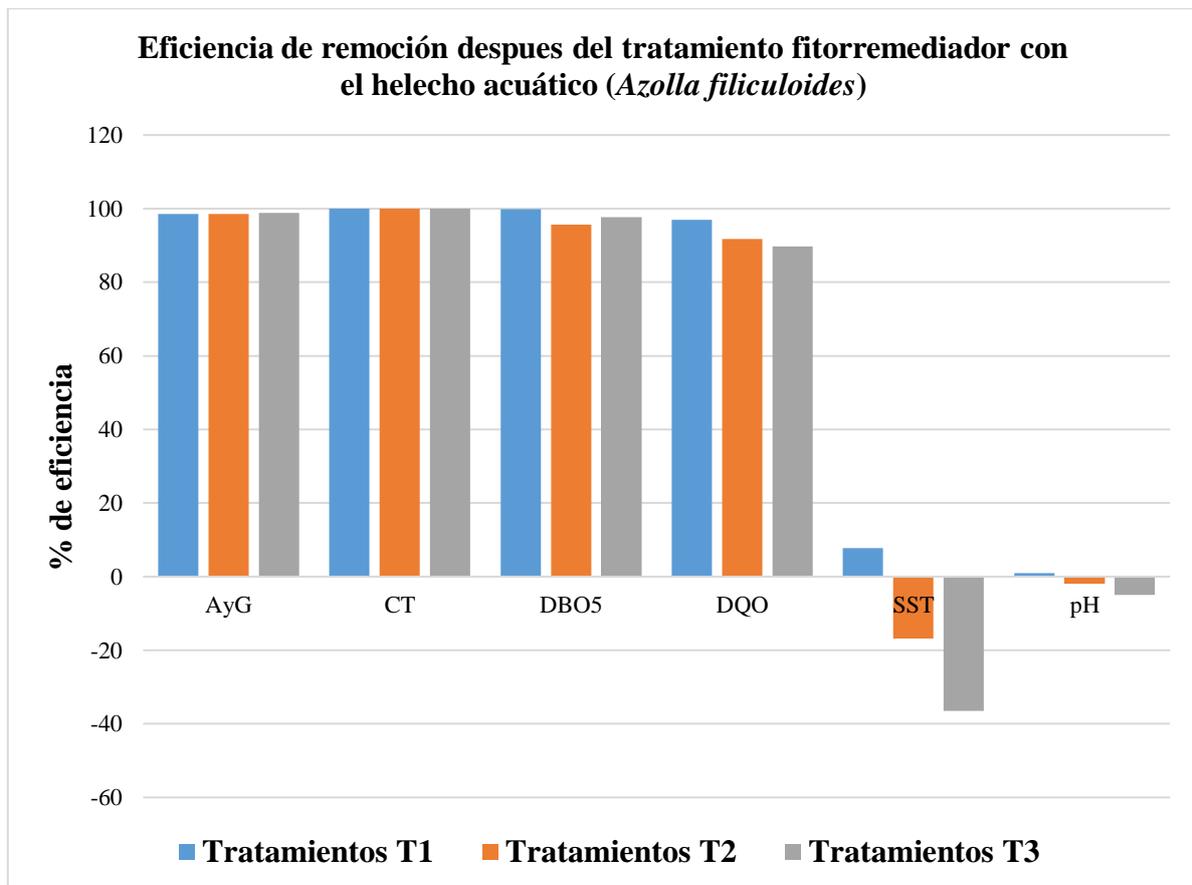
en contacto con la especie vegetativa estuvo en contacto con el medio es decir organismos externos favorecieron al consumo de la materia orgánica.

#### 4.2.9. Eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos después del proceso fitorremediador con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en el efluente residual municipal.

En la figura 57 se observa que para el humedal artificial con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*), el tratamiento (T<sub>1</sub>) es el mas eficiente en la remoción de los parámetros aceites y grasas (98.6%), coliformes termotolerantes (100%), DBO<sub>5</sub> (99.9%), DQO (96.9%) y los sólidos totales en suspensión (7.8%) respectivamente. Mientras que el parámetro de pH presenta un ligero aumento de acuerdo a la normativa ambiental, dicho cálculo es realizado por el porcentaje de remoción mencionado anteriormente de acuerdo con Merino y Vásquez (2014).

**Figura 59**

*Eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos después del proceso fitorremediador con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en el efluente residual municipal.*





**1.2. Influencia del Perifiton en la efectividad fitorremediadora del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, 2022.**

La metodología empleada para la identificación de especies pertenecientes a la comunidad del perifiton consiste en 2 pasos, que son el muestreo en campo y el análisis de laboratorio, de manera que se describe las características más importantes de cada uno de los microorganismos identificados y su influencia en el proceso fitorremediador del helecho acuático.

**4.3.1. Evaluación de los Microorganismos identificados en el Perifiton asociados al helecho acuático (*Azolla filiculoides*) antes y después del proceso fitorremediador.**

Al efectuar el análisis del ensayo cuantitativo de perifiton (Organismos, Células o Unidades/mm<sup>2</sup>) a las muestras de las plantas acuáticas en estudio, se determinó la cantidad de Unidades Formadoras de Colonia.

**Tabla 46**

*Organismos (Células o Unidades) /mm<sup>2</sup> encontradas en las raíces del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) antes y después del procedimiento fitorremediador.*

TAXA	ANTES DEL TRATAMIENTO	DESPUÉS DEL TRATAMIENTO
<b>PHYLUM BACILLARIOPHYTA</b>		
<i>Epithemia sp.</i>	119	2
<i>Nitzschia sp.</i>	90	29161
<b>PHYLUM CHLOROPHYTA</b>		
<i>Oedogonium sp.</i>	201	20
<i>Pandorina sp.</i>	No existe	151
<i>Acutodesmus sp.</i>	2	39
<i>Microthamnion sp.</i>	No existe	14
<b>PHYLUM EUGLENOZOA</b>		
<i>Euglena sp</i>	No existe	136
<b>PHYLUM CYANOBACTERIA</b>		
<i>Cylindrospermum sp.</i>	196	Desaparece



<i>Merismopedia sp.</i>	2	Desaparece
<i>Pseudanabaena sp.</i>	345	Desaparece
<i>Chroococcus sp.</i>	No existe	6

En la tabla 45 se presentan las diferentes comunidades de microorganismos perifíticas encontradas antes y después (0 - 60 días) del proceso fitorremediador del efluente residual municipal del distrito de Talavera - provincia de Andahuaylas.

Antes del proceso fitorremediador se encontró 32 especies distribuidas en 8 géneros, estas comunidades están constituidas por ocho grupos funcionales: Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Euglenozoa, Ochrophyta: Xanthophyceae, Ciliophora, Gastrotricha. De las especies anteriormente mencionadas, las más abundantes fueron: *Epithemia sp.*, *Nitzschia sp.*, *Oedogonium sp.*, *Cylindrospermum sp.*, *Pseudanabaena sp.* Por otro lado, después del tratamiento se encontró 13 especies constituidas por siete grupos funcionales: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Euglenozoa, Ciliophora, Nematoda, Rotifera: Eurotatoria. Cabe mencionar que en este último análisis algunos microorganismos desaparecieron y surgieron otros, la especie más abundante fue la *Nitzschia sp.*, *Euglena sp.*

Entre las características más importantes de las especies encontradas tenemos:

- *Epithemia sp.*: cianobacterias endosimbióticas capaces de fijar nitrógeno húmedo en aguas ricas en carbonato (alcalinas) y también pueden tolerar una conductividad relativamente alta.
- *Nitzschia sp.*: habitan en condiciones extremas de temperatura desarrollándose de manera óptima por debajo de 6°C, otras en ambientes hipersalinos o en presencia de altas concentraciones de diferentes sustancias químicas o de materia orgánica
- *Phylum Chlorophyta*: Son capaces de generar energía a partir de la luz solar y hoy en día se encuentran en hábitats de agua dulce y su distribución es cosmopolita
- *Oedogonium sp.*: Está correlacionado con la carga contaminante, el caudal, la temperatura, el pH y la disponibilidad de oxígeno y luz.
- *Pandorina sp.*: Se desarrolla en aguas lénticas y en ríos de poca corriente. Es propia de aguas dulces, de pH neutro y se ha encontrado tanto en aguas muy limpias como intensamente contaminadas o eutróficas. Sin embargo, tiene preferencia por agua de nivel trófico de medio a alto.

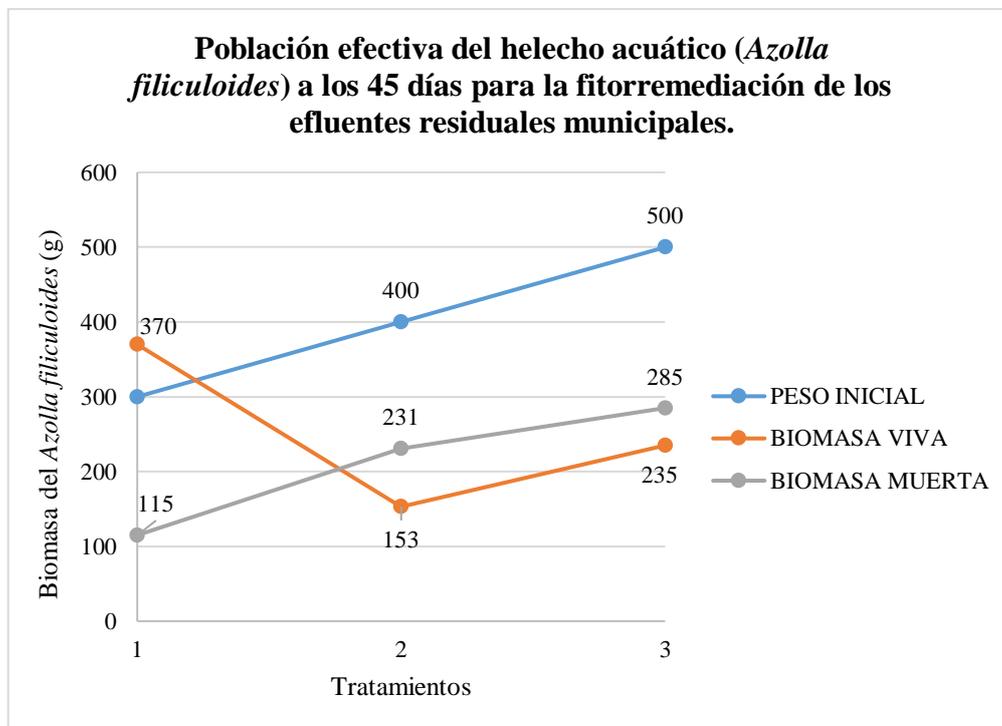


- *Acutodesmus sp.*: Generalmente viven en pantanos, charcas, estanques. reduce más del 90% el nivel del DQO, asimismo consume por completo el nitrógeno amoniacal. Convirtiéndolo en una excelente opción de biocombustible (bioetanol y biodiésel).
- *Microthamnion sp.*: puede vivir en aguas limpias, *Microthamnion* tiene una alta capacidad para fijar sales de hierro y manganeso y también compuestos fosforados, tanto orgánicos como inorgánicos, por lo que se está empezando a utilizar de forma experimental para tratar aguas contaminadas, aplicándola como filtro verde.
- *Euglena sp.*: Estos organismos son incluso capaces de resistir altas concentraciones de arsénico inorgánico (<0,35g/l), al modificar su toxicidad. también exhiben propiedades remediadoras, al intervenir mediante procesos de biomineralización, bioacumulación y precipitación de minerales que les permiten controlar la acidez y la concentración de minerales de su entorno, lo que puede llevar a la atenuación de los efectos nocivos de ambientes contaminados con drenajes ácidos de minería.
- *Cylindrospermum sp.*: *Cylindrospermum* generalmente se encuentra en aguas poco profundas asociadas con la vegetación de la costa en lagos y estanques pobres en nutrientes, especialmente en aguas ligeramente ácidas, pantanosas o turbias.
- *Cylindrospermum* es capaz de fijar gas nitrógeno disuelto, lo que ayuda a proporcionar nitrógeno en sitios pantanosos donde el nitrógeno inorgánico (amonio, nitrato y nitrito) limita a otros tipos de algas.  
Cabe resaltar que las células de *Cylindrospermum* pueden producir anatoxinas (toxina nerviosa), lipopolisacáridos (irritantes de la piel) y BMAA (beta-metilamino-L-alanina; toxina nerviosa). Estas toxinas se liberan al medio ambiente cuando se rompe la pared celular (lisis celular). (Milstead, 2022).
- *Merismopedia sp.*: este género puede producir neurotoxinas además de las microcistinas, las cuales resultan ser hepatotóxicas en humanos (Falconer, 1999), aunque también dan lugar a alteraciones gastrointestinales (Carmichel, 1996a), reacciones alérgicas o irritación
- *Pseudanabaena sp.*: la *Pseudanabaena* es uno de los géneros principales productores de microcistinas (Vela et al., 2007) que está implicada en el envenenamiento de animales y personas.
- *Chroococcus sp.*: Han sido encontradas en aguas salobres, dulces ligeramente eutrofizadas

### 1.3. Población efectiva del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) para la fitorremediación de los efluentes residuales municipales del distrito de Talavera, Provincia de Andahuaylas, 2022.

Para la evaluación de la población efectiva se realizó la medición de la biomasa viva y muerta que presentó el helecho acuático con la finalidad de observar el desarrollo y crecimiento que tuvo durante todo el tratamiento con las condiciones reales del medio, además con estos resultados se demostró la cantidad adecuada en peso para el tratamiento en volumen de 30 L de efluente residual.

Figura 60

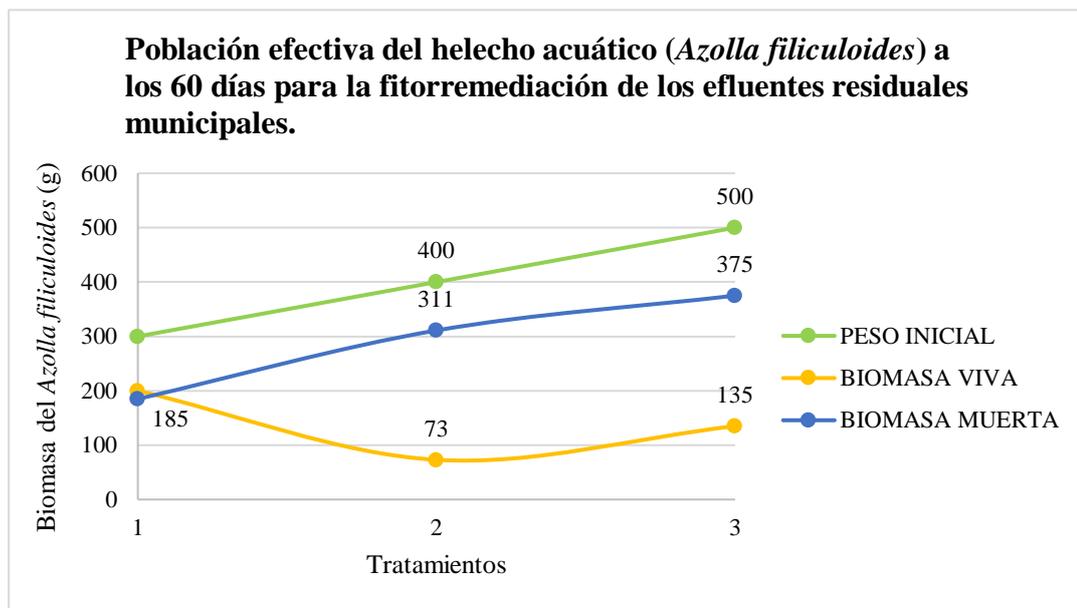


En la figura 58 se observa que a los 45 días del proceso fitorremediador con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) el tratamiento T<sub>1</sub> inicio el proceso con una población de 300 g de la especie vegetativa y a los 45 días la producción aumenta a 370 g, demostrando que la especie vegetativa tuvo mayor desarrollo y crecimiento por la absorción de nutrientes presente en la materia orgánica, el T<sub>2</sub> presenta una disminución de peso de 153 g y el T<sub>3</sub> a 235 g, presentando un incremento de la biomasa muerta dando el inicio al proceso de eutrofización. Según la experimentación aparentemente la especie vegetativa en estudio alcanzó su punto de saturación en la absorción de contaminantes para un volumen de 30 litros del efluente residual municipal.



Además, es preciso señalar que la absorción de los contaminantes analizados coincide con los datos obtenidos en los laboratorios, por lo que podríamos indicar que el tratamiento T<sub>1</sub> en el proceso fitorremediador a los 45 días es el más efectivo con una biomasa viva de 370 g en comparación con el T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> que disminuyen en comparación con la biomasa inicial.

**Figura 61**



En la figura 59 se observa que a los 60 días del proceso fitorremediador con el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) el tratamiento T<sub>1</sub> inicio el proceso con una población de 300 g de la especie vegetativa y a los 60 días la producción de este disminuye a 200 g, el T<sub>2</sub> presenta un peso de 73 g y el T<sub>3</sub> 135 g, demostrando que la especie vegetativa a comparación de los 45 días reduce su efectividad fitorremediadora para un volumen de 30 litros del efluente residual municipal , ello se corrobora con los datos obtenidos de laboratorio teniendo un alza en los parámetros debido al incremento de biomasa muerta y en estado de putrefacción que se encuentra en cada poza como sedimento, además de la aparición de un color verduzco en el agua, siendo este indicador de un proceso de eutrofización y en mayor medida en los T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>.



## Capítulo V: Discusión

### 4.4. Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos

Entre los hallazgos más relevantes para este trabajo de investigación se tiene la influencia positiva del perifiton al proceso fitorremediador a través del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) para el efluente residual del distrito de Talavera - Andahuaylas. Según (Jöbgen et al., 2004) el conocimiento de las características del perifiton es de suma importancia para evaluar los efectos auténticos del perifiton en los procesos de autodepuración en los cuerpos de agua superficial, así mismo el monitoreo de los factores abióticos como la temperatura, pH, luz y los nutrientes tendrán influencia directa en la composición y en la abundancia de las algas perifíticas, demostrando que estos microorganismos son muy sensibles a las modificaciones sistémicas en la hidrodinámica y en la calidad del agua.

De los resultados obtenidos podemos inferir que existe una relación significativa entre la influencia del perifiton con el proceso fitorremediador, una de las razones más importantes observadas durante el trabajo experimental fue la coloración de las Azollas, esta especie al momento de su recolección presentaba una coloración rojiza intensa, en el transcurso de los días el pigmento rojizo de la macrófita fue desapareciendo, visualizando así un color verduzco, esta coloración rojiza como menciona (Rojas. J, 2005) es sinónimo de que existe una alta contaminación en el sistema acuático. Según este mismo autor la intensidad de luz que llegue al sistema también puede provocar tal coloración en las plantas por lo que no podríamos afirmar con tanta certeza las diferencias en contaminación.

Otra de las razones para poder relacionar los resultados con respecto a la depuración del efluente residual municipal, es que, a mayor cantidad de helecho acuático, hay mayor probabilidad que la cantidad de bacterias asociadas a ellas aumente, ayudando a que el proceso de depuración del efluente, también sea mayor.

### 4.5. Limitaciones del estudio

Entre las principales limitaciones del presente trabajo de investigación tenemos:

- El proceso de fitorremediación al emplear macrófitas acuáticas son de depuración más lenta, además de que el crecimiento de las mismas es limitado por las concentraciones tóxicas de contaminantes, cabe destacar que no todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.



- La macrófita en análisis presenta un déficit en estudios de investigación lo que reduce en síntesis la facultad de referenciar, criticar y/o comparar resultados del presente estudio con otros.

#### 4.6. Comparación crítica con la literatura existente

Una vez Obtenido los resultados, estos se contrastan con los estudios citados en el presente trabajo de investigación, cabe resaltar que nuestro principal objetivo es evaluar la capacidad fitorremediadora del helecho acuático (*Azolla filiculoides*).

Según el Autor (Callohuanca, 2019) de la tesis "**Uso de Macrofitas Flotantes en la Remoción de Nitrógeno, Fósforo y Sulfatos de las Aguas Residuales de Puno**", afirma que los factores ambientales son determinantes para una buena absorción de contaminantes ya que se observó que la especie vegetativa (*Azolla filiculoides*) en temporada lluviosa aumenta su capacidad depuradora, a diferencia de nuestra investigación que se realizó en temporada de estío, con ello se demostró que la especie vegetativa en mención posee alta adaptabilidad a los cambios de temperatura y humedad, demostrando que tuvo efectividad en la absorción de parámetros.

Por otro lado, Marquez (2018) en su tesis: "**Dos especies de Macrofitas en la Fitorremediación de aguas residuales en una granja porcina de Zungarococha, San Juan Bautista, 2018**", asevera como parte de su resultado que el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) a los 90 días demuestra una diferencia significativa para el parámetro de DBO<sub>5</sub>, y en cuanto a nuestro estudio la especie vegetativa en mención marca esta diferencia a los 45 días, y para los 60 días alcanza un punto de saturación y eutrofización. Demuestra que producir biomasa de algas en humedales artificiales limita de forma natural la capacidad de eliminar la materia orgánica y el color turbio del agua, además de adquirir un tono verdoso propio de la eutrofización. Por tanto, es importante restringir el crecimiento mediante cubierta vegetal que resulte ser efectiva.

Al igual que en el estudio del autor León, R. et al (2018) denominado "**Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y Escherichia coli en aguas servidas**" obteniendo un 99% en la remoción de la carga bacteriana con *Azolla filiculoides*, dentro de esta investigación para el parámetro de coliformes termotolerantes la capacidad depuradora fue de un 90% para los 3 tratamientos realizados, distinguiéndose estos en el número de población de microorganismos E. coli y coliformes totales, y a diferencia de (García,



2012), no se emplea un flujo continuo es decir que no existe la circulación continúa de agua, además si se desea mayor efectividad y evitar que la especie vegetativa se sature de nutrientes se debe considerar este procedimiento, y con ello obtener subproductos como el autor (Miranda, A. et al, 2020) menciona en su estudio.

Cabe resaltar que en la presente investigación no se ha realizado el estudio de absorción de metales pesados para esta especie vegetativa en específico, sin embargo con datos obtenidos dentro del estudio de los autores (Pérez de Arco, K. et al , 2020), denominado: **“Especies acuáticas de los humedales de Bogotá, Colombia con capacidad para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados”** y (Huayamave,A. et al , 2018) denominado **“Determinación de la capacidad de absorción de metales pesados de la Azolla caroliniana en el Río Guayas/ Isla Santay”**, el helecho acuático *Azolla filiculoides* no sólo es rápida en la disminución de parámetros establecidos en los límites máximos permisibles para una PTAR, también posee las mismas propiedades para Zinc, Cadmio, Cobre y Plomo.

#### 4.7. Implicancias del estudio

Actualmente dentro del distrito de Talavera los efluentes residuales se vierten de manera directa a las aguas del Río Chumbao, con esta investigación se pretende realizar un mecanismo de fitorremediación a través del helecho acuático (*Azolla filiculoides*), y así contribuir con la disminución de la carga contaminante mejorando la calidad del recurso hídrico.



## Conclusiones

- La especie vegetativa helecho acuático *Azolla filiculoides* para tratar las aguas residuales del municipio de Talavera, en esta investigación demuestra ser eficiente, alcanzando el porcentaje más alto de remoción para un volumen de 30 L de efluente residual a los 45 días del estudio, además se observó que a los 60 días de estudio este alcanza un punto de sobresaturación y eutrofización, debido a la falta de circulación del agua, además se evidenció que la mayor absorción se da en los primeros días.
- La capacidad depuradora del sistema radicular del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) en el efluente residual municipal para cada parámetro analizado a los 45 días: DBO<sub>5</sub> fue de 99.9% para el tratamiento 1, 95.6% para tratamiento 2 y 97.7% para tratamiento 3; DQO para tratamiento 1 fue del 96,9%, el tratamiento 1 con un 91.8% y tratamiento 3 con 89.8%; para los Sólidos Totales Suspendedos el tratamiento 1 con 78%, aceites y grasas en el tratamiento 1 y 2 con un 98.6% y el Tratamiento 3 con un 98.8% y coliformes termotolerantes con un 100% .
- Se logró demostrar que la comunidad perifítica alojada en la raíz del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) influye de manera positiva al proceso fitorremediador en los efluentes residuales municipales, disminuyendo la carga contaminante e indicando la relación o asociación que poseen los distintos microorganismos identificados con el helecho acuático. Los microorganismos más relevantes son *Epithemia sp*, *Nitzschia sp.*, *Oedogonium sp*, *Pandorina sp*, *Acutodesmus sp*, *Microthamnion sp*, *Euglena sp*, *Cylindrospermum sp.*, *Merismopedia sp*, *Pseudanabaena sp.*, *Chroococcus sp*. las cuales actúan como bioindicadores ya que por sus características responden a perturbaciones ambientales. Referente a los parámetros fisicoquímicos, el pH registró un valor ligeramente básico, lo que asevera que las comunidades perifíticas presentan un mejor desarrollo en aguas con pH básico, la justificación de dicha afirmación es que bajo esta condición los nutrientes, están más disponibles.
- En este estudio el peso óptimo de una población efectiva del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) para 30 L de efluente residual es de 300 g porque a un período de 45 días alcanza una máxima remoción de contaminantes con este peso inicial.



### Recomendaciones

- Establecer para el distrito de Talavera – Andahuaylas políticas de manejo interno que permitan el aseguramiento y tratamiento de aguas residuales generados, además se debe involucrar a todo ámbito sectorial tanto de gobierno y población a través de la formación, deben detallarse medidas de minimización, corrección y compensación ante los posibles efectos, de modo que se mitiguen los daños ambientales.
- Se sugiere un estudio más detallado y específico que permita conocer como el helecho acuático (*Azolla filiculoides*) es capaz metabólicamente de fitorremediar aguas residuales domésticas.
- Se propone la aplicación del helecho acuático (*Azolla filiculoides*) como un tratamiento secundario de efluentes residuales ya que en este estudio se corroboró la adaptabilidad, facilidad de manejo y mantenimiento, además de su capacidad en la remoción de parámetros como: OD, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Coliformes Termotolerantes, aceites y grasas.
- Continuar el presente estudio a concentraciones y tiempo mayores a los presentados en la investigación.



## Referencias

- Álvarez, D. (19 de abril de 2022). *Cianobacterias: qué son, características y ejemplos*. Obtenido de EcologíaVerde: [https://www.ecologiaverde.com/cianobacterias-que-son-caracteristicas-y-ejemplos-3546.html#anchor\\_0](https://www.ecologiaverde.com/cianobacterias-que-son-caracteristicas-y-ejemplos-3546.html#anchor_0)
- Andrade, A. (2019). *Diatomeas*. Obtenido de SaberMás Revista de Divulgación: <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/la-ciencia-en-pocas-palabras/339-numero-39/614-diatomeas.html>
- Berman, J. (2012). *Euglenozoa*. Obtenido de Guía taxonómica de enfermedades infecciosas: [https://www-sciencedirect-com.translate.goog/topics/agricultural-and-biological-sciences/euglenozoa?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es-419&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://www-sciencedirect-com.translate.goog/topics/agricultural-and-biological-sciences/euglenozoa?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)
- Biodiversity Heritage Library. (2022). *Género Euglena*. Obtenido de Creative Commons Attribution-Share-Alike License 3.0.: <https://colombia.inaturalist.org/taxa/203631-Euglena>
- Bory. (1824). *Pandorina*. Obtenido de Chlorophyceae : Volvocales: Volvocaceae: <http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/images/Chlorophyta/Pandorina/index.html>
- Buitrón, G., Reino, C., & Carrera, J. (2017). *Manual técnico sobre tecnologías biológicas aerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales*. Red Tritón. Obtenido de [https://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento\\_aerobio\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](https://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento_aerobio_de_aguas_residuales.pdf)
- Cabezas, R. (2011). Relación simbiótica de azolla (*Azolla caroliniana*, *A. filiculoides*, *A. mexicana*) – anabaena (*Anabaena azollae*) para la producción de nitrógeno en ecosistemas acuáticos de la zona de Cayambe, 2010. [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional UPS. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1830/12/UPS-YT00098.pdf>
- Callohuanca, M. (2019). Uso de macrófitas flotantes en la remoción de nitrógeno, fósforo y sulfatos de las aguas residuales de Puno. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional UNAP. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13816>



- Cengage. (11 de mayo de 2018). *Clorofita*. Obtenido de Encyclopedia.com: <https://www.encyclopedia.com/plants-and-animals/microbes-algae-and-fungi/moneran-and-protistan/chlorophyta>
- Cerezo, J. (2011). *Estación depuradora de aguas residuales*. Universitat Politècnica de Catalunya. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12885/PFC.pdf>
- Chase, Y. (24 de julio de 1849). *Microthamnion kuetzingianum Nägeli ex Kützing*. Obtenido de AlgaeBase: [https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\\_id=17923](https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=17923)
- Chokshi, K., Pancha, I., Ghosh, A., & Mishra, S. (2016). Microalgal biomass generation by phycoremediation of dairy industry wastewater: An integrated approach towards sustainable biofuel production. *Bioresource Technology*, 221, 455-460. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.070>
- Cubillos, J. (2011). Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos. [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio institucional UTP. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/71396864.pdf>
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. (2010). *Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*. Ministerio de Ambiente. Obtenido de <http://sial.segat.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>
- Delgadillo, Á., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597-612. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- División Calidad Ambiental. (2020). *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en agua superficial*. Obtenido de Ambiente Gubernamental : [https://www.ambiente.gub.uy/indicadores\\_ambientales/ficha/oan-demanda-bioquimica-de-oxigeno/](https://www.ambiente.gub.uy/indicadores_ambientales/ficha/oan-demanda-bioquimica-de-oxigeno/)



- Fernández, A. (2006). *Aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura*. Ministerio de Agricultura. Obtenido de [https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod\\_page/content/128/Peru%20INFORME%20DE%20PAIS.pdf](https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/128/Peru%20INFORME%20DE%20PAIS.pdf)
- Fernández, J. (2020). *Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. Proyecto Life. Obtenido de [https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual\\_fitodepuracion.pdf](https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual_fitodepuracion.pdf)
- Flores Cornejo, J. (2018). Propuesta de Simulación de Remoción parcial de Cromo en suelos contaminados utilizando como fitorremediador el tagete sp. marigold. 16. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6484/QUflcojm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- FLORES CORNEJO, J. M. (2018). *PROPUESTA DE SIMULACIÓN DE REMOCIÓN PARCIAL DE CROMO EN SUELOS CONTAMINADOS UTILIZANDO COMO FITORREMIADOR EL Tagete sp MARIGOLD*. Obtenido de Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín : <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6484/QUflcojm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Frers, C. (15 de diciembre de 2015). *El uso de las plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de México Ambiental: <https://www.mexicoambiental.com/el-uso-de-las-plantas-acuaticas-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/>
- Galan, C. (2022). *Phylum Cyanobacteria*. Obtenido de Taxateca.com: <https://taxateca.com/filocyanobacteria.html>
- Gao, J., Zhu, J., Maowei, W., & Dong, W. (2018). Dominancia y Factores de Crecimiento de *Pseudanabaena* sp. en embalses de Fuentes de agua potable, sur de China. *Sostenibilidad*, 10(11), 3936. doi:<https://doi.org/10.3390/su10113936>
- García, M., Sánchez, F., Guzmán, H., Verdugo, N., Domínguez, E., Vargas, O., . . . Gómez, J. (29 de abril de 2012). *El agua*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia.
- 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 licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional UNI. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1292>

Gobierno Regional de Apurímac. (2021). *Plan Regional de Saneamiento*. DRVCS Apurímac. Obtenido de <https://drvcs.regionapurimac.gob.pe/doc/plan-saneamiento-apurimac-2021-2025.pdf>

Gonzales, B. (17 de febrero de 2021). *Rizomas: definición y ejemplos de plantas*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/rizomas-definicion-y-ejemplos-de-plantas-1884.html>

Google Arts & Culture. (2020). *Gloquidio*. Obtenido de Google Arts & Culture: [https://artsandculture.google.com/entity/m09bqn\\_?hl=es](https://artsandculture.google.com/entity/m09bqn_?hl=es)

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill Education.

Huayamave, A., & Layana, V. (2018). Determinación de la capacidad de absorción de metales pesados de la Azolla caroliniana en el Río Guayas/ Isla Santay. [Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional UG. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33641/1/BCIEQ-T-0311.pdf>

INEI. (2020). *Anuario de estadísticas ambientales*. Instituto Nacional de Estadística e Informática.

INVASEP. (s.f.). *Protocolos de prevención, detección temprana y erradicación y control de Azolla filiculoides Lam.* Life INVASEP.

Itziar, C. (1999). Utilización de microorganismos modificados genéticamente (GEM) para la biorremediación. *Revista de Tecnología Química y Biotecnología*, 74(7), 599-606. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/>

Jhon, D., Whitton, B., & Brook, A. (2002). *The freshwater algal flora of the british isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae*. Cambridge University Press. Obtenido de <http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/images/Chlorophyta/Oedogonium/index.html>

Jöbgen et al. (2004). Phosphorus removal from eutrophic lakes using periphyton on submerged artificial substrata. *Hydrobiologia*. 528 (1-3), 123.



- Las Cañadas. (2021). *Fichas técnicas. Plantas para sistemas agroecológicos*. Obtenido de Bosque de Niebla: <https://bosquedeniebla.com.mx/wp-content/uploads/2021/06/azolla-ficha-tecnica-bosquedeniebla-2.pdf>
- León, R., Perni, B., Sigüencia, R., Franco, S., Noboá, A., & Cornejo, X. (2018). Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas servidas. *Enfoque UTE*, 9(4), 131-144. doi:<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.286>
- Ley N° 28611. (2005). *Ley General del Ambiente*. Congreso de La República.
- Ley N° 29338. (2009). *Ley de Recursos Hídricos*. Congreso de La República. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-29338.pdf>
- Lora, M., López, F., & Pérez, C. (2020). Algas de Cristal; diatomeas. *Recursos Naturales y Sociedad*, 6(1), 25-42. doi: <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2020.06.06.01.0003>
- Márquez, A. (22 de febrero de 2021). *Rizosfera: qué es, para qué sirve, composición e importancia*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/rizosfera-que-es-para-que-sirve-composicion-e-importancia-3266.html>
- Marquez, C. (2018). Dos especies de Macrofitas en la Fitorremediación de aguas residuales en una granja porcina de Zungarococha, San Juan Bautista, 2018. [*Tesis pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana*]. Repositorio institucional UNAPIQUI. Obtenido de [https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/5710/Carlo\\_tesis\\_titulo\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/5710/Carlo_tesis_titulo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Martelo, J., & Borrero, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Universidad EAFIT*, 8(15), 221-243. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf>
- Martín, L. (2008). Capítulo 3. Elementos del canal abierto de saneamiento. En L. Martín, *Diseño y control de procesos de CAS* (págs. 10-51). Universidad de Sevilla. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70076/fichero/MEMORIA+DEL+PROYECTO+DE+FIN+DE+M%C3%81STER%252F3.+ELEMENTOS+DEL+CAS.pdf>



- Matthews, R. (2022). *Cylindrospermum*. Obtenido de INaturalist: [https://www-inaturalist-org.translate.goog/guide\\_taxa/711595?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es-419&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://www-inaturalist-org.translate.goog/guide_taxa/711595?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc)
- Mazzeo, N. (2006). *Hidrofítas*. Universidad de la República de Uruguay. Obtenido de [http://hydrobio.fcien.edu.uy/cursos%20nestor/curso\\_vegetal\\_acuat\\_archivos/CLASE3.pdf](http://hydrobio.fcien.edu.uy/cursos%20nestor/curso_vegetal_acuat_archivos/CLASE3.pdf)
- Mendoza, Y., Castro, F., Marín, J., & 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 del Zulia*, 39(2), 71-79. Obtenido de <http://ve.scielo.org/pdf/rftiuz/v39n2/art04.pdf>
- Merino, A., & Vásconez, P. (2014). Evaluación de la eficiencia de biorremediación en la recuperación de efluentes porcinos in vitro con helecho *Azolla filiculoides* mediante análisis DQO y DBO<sub>5</sub> caso: Centro Experimental Uyumbicho- Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UCE. [Tesis de licenciatura, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio institucional UCE.
- MINAM . (03 de Mayo de 2013). *Resolución Ministerial N°135 - 2013 - MINAM*. Obtenido de MINAM.gob.pe: [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/02/rm\\_135-2013-minam.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/02/rm_135-2013-minam.pdf)
- MINAM . (2014 ). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) del Perú* . Obtenido de Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Departamentos de Limnología e Ictiología: <https://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/M%C3%A9todos-de-Colecta-identificaci%C3%B3n-y-an%C3%A1lisis-de-comunidades-biol%C3%B3gicas.compressed.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2020). *Límite Máximo Permisible (LMP)*. Obtenido de OEFA: <https://infoaireperu.minam.gob.pe/limite-maximo-permisible-lmp/>
- Miranda, A., Kumar, R., Spangenberg, G., Subudhi, S., Lal, B., & Mouradov, A. (2020). Aquatic plants, *landoltia punctata*, and *azolla filiculoides* as bio-converters of wastewater to biofuel. *Plants*, 9(4), 437. doi:<https://doi.org/10.3390/plants9040437>



- Montoya, Y., & Aguirre, N. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 16(3), 91-117. doi:<https://www.redalyc.org/pdf/1694/169429726007.pdf>
- Nägeli. (1985). Microthamnion. *Microbial Digital Specimen Archives*. Obtenido de <http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/images/Chlorophyta/Microthamnion/index.html>
- OEFA. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. Obtenido de [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- ONU. (2020). Desafíos globales - agua. Obtenido de [https://www.un.org/es/global-issues/water#:~:text=Los%20desaf%C3%ADos%20del%20agua,\(OMS%20FUNICEF%202020\)](https://www.un.org/es/global-issues/water#:~:text=Los%20desaf%C3%ADos%20del%20agua,(OMS%20FUNICEF%202020))
- OPS. (6 de noviembre de 2012). *Cianobacteria, cianotoxinas y salud*. Obtenido de Organización Panamericana de la Salud: [https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=7398:2012-cianobacteria-cianotoxinas-salud&Itemid=39623&lang=es#gsc.tab=0](https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=7398:2012-cianobacteria-cianotoxinas-salud&Itemid=39623&lang=es#gsc.tab=0)
- Orenda Technologies. (2006). *CO<sub>2</sub> y el pH: La ley Henry*. Obtenido de Artículo de investigación de la Universidad Estatal de Utah: <https://blog.orendatech.com/es/co2-y-ph-ley-de-henry?hsLang=es>
- Pérez de Arco, K., & Caltelblanco, J. (2019). Especies acuáticas de humedales de Bogotá, Colombia con capacidad para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados: revieww. *Suelos Ecuatoriales*, 1(84-95), 49. doi:[https://doi.org/10.47864/SE\(49\)2019p84-95\\_108](https://doi.org/10.47864/SE(49)2019p84-95_108)
- Pérez, J., & Gardey, A. (4 de abril de 2022). *Definición de depuración*. Obtenido de Definicion.de: <https://definicion.de/depuracion/>
- Pérez, J., & Merino, M. (4 de noviembre de 2022). *Definición de bifurcación*. Obtenido de Definicion.de. : <https://definicion.de/bifurcacion/>
- Pineda, R., Martínez, F., Garduño, G., & Olvera, R. (2011). Caracterización morfológica y molecular de cianobacterias filamentosas aisladas de florecimientos de tres lagos urbanos eutróficos de la ciudad de México. *Polibotánica*, 31, 31-50. Obtenido de



[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682011000100003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682011000100003)

Plantas y hongos. (s.f.). *Esporangio*. Obtenido de Plantas y hongos contenidos herbarium taxones: <https://www.plantasyhongos.es/glosario/esporangio.htm>

Plantas y hongos. (s.f.). *másula*. Obtenido de Glosario Herbarium Taxones: <https://plantasyhongos.es/glosario/masula.htm>

Proyecto Agua. (2022). *Alga a conveniencia, Nitzschia Palea*. Obtenido de Flickr: <https://www.flickr.com/photos/microagua/8338940257>

Química.es. (2022). *Esporófito*. Obtenido de Química.es: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Espor%C3%B3fito.html>

Resolución Jefatural N° 010 – 2016 – ANA. (2016). *Aprueban el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Autoridad Nacional del Agua.

Rojas, J. (2005). Diversidad bacteriana en el perifiton de raíces de *Eichhornia* sp, *Pistia* sp. y *Azolla* sp., EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE LA UNIVERSIDAD EARTH. 78. Obtenido de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/460/rojas\\_alvarado\\_jose\\_david.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/460/rojas_alvarado_jose_david.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Scientific Committes. (s.f.). *Absorción*. Obtenido de Glosario de términos: [https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/opinions\\_layman/amalgams-alternatives/es/glosario/abc/absorcion.htm](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/amalgams-alternatives/es/glosario/abc/absorcion.htm)

Serrano, A., Mateo, P., & Perona, E. (2004). Estructura y composición de la comunidad de cianobacterias bentónicas de un arroyo de montaña mediterráneo, el arroyo Mediano (Madrid). *Limnetica*, 23(1), 83-95. doi:10.23818/limn.23.07

Souza, D. (2016). Eficiência de remoção de cianobactérias em filtração direta descendente. [Tesis de licenciatura, Universidade Federal Do Ceará]. Repositorio insitucional UFC. Obtenido de [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/35284/1/2016\\_tcc\\_dsmoura.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/35284/1/2016_tcc_dsmoura.pdf)

Spaulding, S. (02 de setiembre de 2022). *Guía de Epitemia*. Obtenido de En Diatomeas de América del Norte: [DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS](https://diatoms-</a></p></div><div data-bbox=)



[org.translate.google.com/genera/epithemia?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es-419&\\_x\\_tr\\_pto=sc# citations](https://org.translate.google.com/genera/epithemia?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc# citations)

UNESCO. (2016). *Agua y empleo. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244103>

UNESCO. (2019). *No dejar a nadie atrás. Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Obtenido de <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>

Valdivia, C. (2019). Eficiencia de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms Laub -pontederiaceae y *Nasturtium officinale* W.T. Aiton – brassicaceae en la remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional UNC. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3458>

Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155-165. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/compression-y-redaccion-de-textos-i/vargas-la-investigacion-aplicada-2009/15112485>

Vázquez, J. (15 de enero de 2020). *Oedogonium*, sp. Obtenido de Mundo microscópico: <https://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Oedogonium-sp.-img3962.html>

Vela, L., Sevilla, E., & Martén, B. P. (2007). Las Microcistinas. *Real Academia de Ciencias Zaragoza*, 62, 135 - 146. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/28300534\\_Las\\_Microcistinas/link/547888b30cf205d1687f7521/download](https://www.researchgate.net/publication/28300534_Las_Microcistinas/link/547888b30cf205d1687f7521/download)

Vera, A., Ramos, K., Camargo, E., Andrade, C., Núñez, M., Delgado, J., . . . Morales, E. (2016). Fitorremediación de aguas residuales con alto contenido de plomo utilizando *Typha domingensis* y *Canna generalis*. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(2), 88-95. Obtenido de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702016000200006](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200006)



Villalobos, M. (2016). *Fitorremediación de aguas residuales domesticas procedentes de la laguna de estabilización de la provincia de Jaén, mediante el uso de la especie Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) en la Provincia de Jaén*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana:  
<https://www.unj.edu.pe/images/pdf/invest/ResumenesEjecutivos/.pdf>



## **ANEXOS**



Anexo 01: Informes de laboratorio



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN CONTROL  
Y ANÁLISIS DE AGUAS



INFORME DE ENSAYO N° 010-2022

**Razón social:** ---  
**Solicitado por:** Borda romero Yuliana  
**Muestreado por:** Cliente.  
**Fecha de muestreo:** 02/06/2022  
**Fecha de recepción de muestras:** 02/06/2022  
**Fecha de inicio de análisis:** 02/06/2022  
**Tipo de análisis:** Laboratorio  
**Lugar de muestreo:** ---

**Punto de muestreo:** ---  
**Referencia:** ---  
**Ubicación:** ---  
**Vol. de reservorio:** No aplica  
**Sistema de Clorado:** No aplica  
**Coordenadas:** ----  
**Presión atmosférica:** ---

**DE LA MUESTRA**

Código del cliente	Código de laboratorio	Condiciones	Tipo de agua	Hora de muestreo
ERT-01	ERT-01	Refrigerada	ARM*	10:15

\* Agua residual municipal

**RESULTADOS**

Muestra	PARÁMETROS FÍSICOS- QUÍMICOS		
	SST (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
ERT-01	446.0±50.0	1638.7±79.0	1035.0
ECA**	≤100	---	10
LMP***	150	200	100
Método	Electrodo selectivo	USEPA 410.4	Standard Method 5210 B
Límite de detección	---	1.0	1.0

\*\*Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

\*\*\*Límite máximo permisible PTAR

Muestra	PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)
ERT-01	4884000
ECA**	2000
LMP***	10000
Método	NMP

\*\*Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

\*\*\*Límite máximo permisible PTAR.

Andahuaylas, 10 de junio de 2022

-----  
 Ing. David Choque Quispe  
 Responsable Laboratorio de Investigación  
 en Control y Análisis de Aguas – UNAJMA

-----  
 Ing. Diego E. Peralta Guevara  
 CIP. N° 233878  
 Especialista LICAA



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN CONTROL  
Y ANÁLISIS DE AGUAS



INFORME DE ENSAYO N° 015-2022

Razón social: ---

Solicitado por: Borda Romero Yuliana; Angely  
Palomino Iturriaga

Muestreado por: Cliente.

Fecha de muestreo: 17/07/2022

Fecha de recepción de muestras: 17/07/2022

Fecha de inicio de análisis: 17/07/2022

Tipo de análisis: Laboratorio

Lugar de muestreo: ---

Punto de muestreo: ---

Referencia: ---

Ubicación: ---

Vol. de reservorio: No aplica

Sistema de Clorado: No aplica

Coordenadas: ---

Presión atmosférica: ---

DE LA MUESTRA

Código del cliente	Código de laboratorio	Condiciones	Tipo de agua	Hora de muestreo
Testigo 0	T0	Refrigerada	ARM*	12:00
EET 1	T1	Refrigerada	ARM*	12:02
EET 2	T2	Refrigerada	ARM*	12:04
EET 3	T3	Refrigerada	ARM*	12:06

\* Agua residual municipal

RESULTADOS

Muestra	PARÁMETROS FÍSICOS- QUÍMICOS		
	SST (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
T0	878.4±8.3	350.0±0.0	295.0
T1	412.7±3.0	55.0±0.0	<0
T2	510.0±2.7	140.0±0.0	50.0
T3	608.3±7.2	160.0±0.0	24.0
ECA**	≤100	---	10
LMP***	150	200	100
Método	Gravimétrico	USEPA 410.4	Standard Method 5210 B
Límite de detección	---	1.0	1.0

\*\*Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

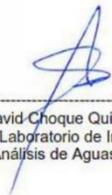
\*\*\*Límite máximo permisible (PTAR).

Muestra	PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)
T0	129100.0
T1	20.0
T2	63.0
T3	98.0
ECA**	2000
LMP***	10000
Método	NMP

\*\*Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

\*\*\*Límite máximo permisible (PTAR).

Andahuaylas, 27 de julio de 2022

  
Ing. David Choque Quispe  
Responsable Laboratorio de Investigación  
en Control y Análisis de Aguas – UNAJMA

  
Ing. Diego E. Perote Guevara  
CIP. N° 233878  
Especialista LICAA

Servicio pagado con numero de operación 913385 con fecha 18/07/2022



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN CONTROL  
Y ANÁLISIS DE AGUAS



INFORME DE ENSAYO Nº 016-2022

Razón social: ---

Solicitado por: Borda Romero Yuliana; Angely Palomino Iturriaga.

Muestreado por: Cliente.

Fecha de muestreo: 02/08/2022

Fecha de recepción de muestras: 02/08/2022

Fecha de inicio de análisis: 02/08/2022

Tipo de análisis: Laboratorio

Lugar de muestreo: ---

Punto de muestreo: ---

Referencia: ---

Ubicación: ---

Vol. de reservorio: No aplica

Sistema de Clorado: No aplica

Coordenadas: ---

Presión atmosférica: ---

**DE LA MUESTRA**

Código del cliente	Código de laboratorio	Condiciones	Tipo de agua	Hora de muestreo
Testigo 0	T0	Refrigerada	ARM*	12:00
EET 1	T1	Refrigerada	ARM*	12:02
EET 2	T2	Refrigerada	ARM*	12:04
EET 3	T3	Refrigerada	ARM*	12:06

\* Agua residual municipal

**RESULTADOS**

Muestra	PARÁMETROS FÍSICOS- QUÍMICOS		
	SST (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
T0	773.6±3.9	152.3±2.5	120.0
T1	608.4±38.1	157.7±2.5	126.0
T2	1268.0±1.0	190.3±5.5	131.0
T3	631.3±4.5	94.3±4.0	50.0
ECA**	≤100	---	10
LMP***	150	200	100
Método	Gravimétrico	USEPA 410.4	Standard Method 5210 B
Límite de detección	---	1.0	1.0

\*\*Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

\*\*\*Límite máximo permisible (PTAR).

Muestra	PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS
	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)
T0	<1
T1	<1
T2	2880.0
T3	410.0
ECA**	2000
LMP***	10000
Método	NMP

\*\*Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

\*\*\*Límite máximo permisible (PTAR).

Andahuaylas, 15 de agosto de 2022

  
Ing. David Choque Quispe  
Responsable Laboratorio de Investigación  
en Control y Análisis de Aguas – UNAJMA

  
Ing. Diego E. Peralta Guevara  
CIP. Nº 233878  
Especialista LICAA



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL ORGANISMO  
INTERNATIONAL ACCREDITATION  
SERVICE, INC. - IAS  
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 047



## INFORME DE ENSAYO N° 163075-2022 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : BORDA ROMERO YULIANNA  
**DOMICILIO LEGAL** : PACUCHA - TALAVERA - ANDAHUAYLAS  
**SOLICITADO POR** : BORDA ROMERO YULIANNA  
**REFERENCIA** : FITORREMEDIACIÓN AZOLLA FILICULOIDES  
**PROCEDENCIA** : PACUCHA - TALAVERA - ANDAHUAYLAS  
**FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS** : 2022-05-07  
**FECHA(S) DE ANÁLISIS** : 2022-05-07 AL 2022-05-14  
**FECHA(S) DE MUESTREO** : 2022-05-04  
**MUESTREADO POR** : EL CLIENTE  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA** : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

### I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Oil and Grease Aceites y grasas	ASTM D7678 - 17. Standard Test Method for Total Oil and Grease (TOG) and Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) in Water and Wastewater with Solvent Extraction using Mid-IR Laser Spectroscopy.	0.50	mg/L
Perifiton	SHERWIN-APHA-AMWA-WEF Part 10200 C, Items 1 y 2. Periphyton, Sample Analysis. Sedwick-Rafter Counts, Inverted Microscope Method Counts. 23rd. 2017.	---	Organismos (células o unidades) /mm <sup>2</sup>

L.C.: límite de cuantificación.

### II. RESULTADOS:

Producto declarado	Aguo Residual	
Muestra analizada	Aguo Residual	
Fecha de muestreo	2022-05-04	
Hora de inicio de muestreo (h)	16:30	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	
Código del Cliente	ERT-03	
Código del Laboratorio	22069480	
<b>ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829</b>		
Ensayo	Unidades	Resultados
Oil and Grease Aceites y grasas	mg/L	130.14

Ing. Mariño Tello Paucar  
Director Técnico  
C.T.P. N° 219624  
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU

**OBSERVACIONES:** • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento o menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados analíticos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo: [laboratorio@siggenera.com](mailto:laboratorio@siggenera.com). • Cualquier modificación no autorizada, faulse o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables podrán ser procesados de acuerdo a ley.

### SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Clarinda Matto de Tamar N° 2070 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima  
• Central Telefónica (511) 875-8885 • Web: [www.siggenera.com](http://www.siggenera.com) • Contacto Electrónico: [siggenera@siggenera.com](mailto:siggenera@siggenera.com)

Página 1 de 3



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL ORGANISMO  
INTERNATIONAL ACCREDITATION  
SERVICE, INC. - IAS  
CON REGISTRO TL - 839



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 047



**INFORME DE ENSAYO N° 163075 - 2022  
CON VALOR OFICIAL**

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Agua superficial
Matriz analizada	Agua superficial
Fecha de muestreo	2022-06-04
Hora de inicio del muestreo (H)	10:36
Condiciones de la muestra	Preservado; Área: 10 000 mm <sup>2</sup>
Código del Cliente	AST-01
Código del Laboratorio	22060481
<b>ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 2)</b>	
Taxa <sup>(1)</sup>	Ensayo Cuantitativo de Fertilizantes (Organismos (células o unidades)/mm <sup>2</sup> )
<b>PHYLUM BACILLARIOPHYTA</b>	
Ampelodesma sp.	5
Cyclotella sp.	2
Epithemia sp.	119
Navicula sp.	24
Witzschia aciculans	3
Witzschia sp.	90
Achnanthes sp.	4
FRAGILARIACEAE	1
<b>PHYLUM CHARDONIA</b>	
Neopetitia sp.	11
Sphaerocapsa sp.	5
Zygnema sp.	10
<b>PHYLUM CHLOROPHYTA</b>	
Acutodesmus sp.	2
Coelastrum sp.	17
Comenella sp.	2
Crucigenia sp.	2
Desmodesmus sp.	16
Octosephaeria sp.	11
Kirchneriella sp.	1
Monoraphidium sp.	9
Oedogonium sp.	201
Stauridium tetras	2
Tetradion minimum	2
CHLAMYDOMONADALES	1
RADIOLACCAEAE	2
SELENASTRACEAE	15

<sup>(1)</sup> La identificación se realizará hasta el menor nivel taxonómico posible, dependiendo del estado de la muestra.

**Nota 1:** <1 es equivalente a cero, lo que indica la no detección de Organismos (células o unidades)/mm<sup>2</sup>.

ND: No determinado

EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU

**OBSERVACIONES:** • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego de este tiempo • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente Informe comunicarse al correo laboratorio@saggen.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio: Av. Naciones Unidas N° 1585 Urb. Cruzca Ríos Norte - Lima y Pasaje Clorinda Matto de Tarnes N° 2079 Urb. Chaca Ríos Norte - Lima  
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.saggen.com • Contacto Electrónico saggen@saggen.com

Página 2 de 3



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL ORGANISMO  
INTERNATIONAL ACCREDITATION  
SERVICE, INC. - IAS  
CON REGISTRO TL - 829



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 047



## INFORME DE ENSAYO N° 163075 - 2022 CON VALOR OFICIAL

### II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua superficial	
Matriz analizada	Agua superficial	
Fecha de muestreo	2022-05-04	
Hora de inicio del muestreo (H)	10:35	
Condiciones de la muestra	Preservada; Área: 10 000 mm <sup>2</sup>	
Código del Cliente	AST-01	
Código del Laboratorio	22000481	
<b>ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 2)</b>		
Taxa <sup>(1)</sup>	Ensayo Cuantitativo de Perifiton (Organismos (células o unidades)/mm <sup>2</sup> )	
<b>PHYLUM CYANOBACTERIA</b>		
Coelomonas sp.		3
Cylindrocapsa sp.		196
Merismopedia sp.		2
Pseudanabaena sp.		345
<b>NOSTOCACEAE</b>		489
<b>LEPTOLYNGBYACEAE</b>		272
<b>PHYLUM EUGLEROZOA</b>		
Euglena sp.		95
Phacus sp.		1
Trachomonas sp.		1
<b>PHYLUM OCHROSPHYTA: XANTHOPHYCEAE</b>		
Opheocyctus sp.		1
<b>PHYLUM CHLOROPHYTA</b>		
Vodocella sp.	ND	1
ND	ND	1
<b>PHYLUM GASTROTRICHA</b>		
ND	ND	1
<b>OTROS</b>		
Ritoflagelados < 20 µm		1

<sup>(1)</sup> La identificación se realizará hasta el menor nivel taxonómico posible, dependiendo del estado de la muestra.

**Nota 1:** <1 es equivalente a cero, lo que indica la no detección de Organismos (células o unidades)/mm<sup>2</sup>.

ND: No determinado

Lima, 14 de Junio del 2022.

EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU

Cod. FI 004 / Versión 03 / FE.: 06/2022

**OBSERVACIONES:** • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento y menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para los muestreos referidos en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo [laboratorio@sagperu.com](mailto:laboratorio@sagperu.com). • Cualquier modificación no autorizada, hace o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables podrán ser procesados de acuerdo a ley

**SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.**

Laboratorios: Av. Naciones Unidas N° 1953 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Pasaje Civerda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima  
• Central Telefónica (511) 425-6805 • Web: [www.sagperu.com](http://www.sagperu.com) • Contacto Electrónico: [sagperu@sagperu.com](mailto:sagperu@sagperu.com)

Página 3 de 3



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO  
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC. - IAS  
CON REGISTRO TL - 829



**INFORME DE ENSAYO N° 164913-2022  
CON VALOR OFICIAL**

**RAZÓN SOCIAL** : YULIARNA BORDA ROMERO - ANGELY NETHABEL PALOMINO ITURRIAGA  
**DOMICILIO LEGAL** : ANDAHUAYLAS - APURÍMAC - ANDAHUAYLAS  
**SOLICITADO POR** : YULIARNA BORDA ROMERO - ANGELY NETHABEL PALOMINO ITURRIAGA  
**REFERENCIA** : EFECTIVIDAD FITORREMIEDIADORA DE HELECHO ACUÁTICO (AZOLLA FELICULOIDES) EN LOS EFLUENTES RESIDUALES MUNICIPALES DEL DISTRITO DE TALAVERA, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS 2022  
**PROCEDENCIA** : TALAVERA - ANDAHUAYLAS  
**FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS** : 2022-08-15  
**FECHA(S) DE ANÁLISIS** : 2022-08-15 AL 2022-08-31  
**FECHA(S) DE MUESTREO** : 2022-08-12  
**MUESTREADO POR** : EL CLIENTE  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA** : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

**I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:**

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Oil and Grease Aceites y grasas	ASTM D7678 - 17. Standard Test Method for Total Oil and Grease (TOG) and Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) in Water and Wastewater with Solvent Extraction using Mid-IR Laser Spectroscopy.	0.50	mg/l
Perifiton	SMEWW-APHA-MWWA-WEF Part 10300 C, Items 1 y 2. Periphyton. Sample Analysis, Sedgwick-Rafter Counts, Inverted Microscope Method Counts. 23rd. 2017	---	Organismos (células o unidades) /mm <sup>2</sup>

L.C.: Límite de cuantificación.

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2022-08-12	2022-08-12	2022-08-12	2022-08-12	
Hora de inicio de muestreo (h)	08:00	08:00	08:00	08:00	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada	Refrigerada/ Preservada	
Código del Cliente	T-01	T-02	T-03	TESTIGO	
Código del Laboratorio	22080997	22080998	22080999	22081000	
<b>ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829</b>					
Ensayo	Unidades	Resultado			
Oil and Grease Aceites y grasas	mg/L	1.44	1.73	2.01	4.29

*Manuel*  
Ing. Marilú Tello Paucar  
Director Técnico  
C.I.P. N° 219624  
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU

**OBSERVACIONES:** • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de retención legal del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para constatar la AUTENTICIDAD del presente informe comuníquese al correo: laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1560 Urb. Chacaritas Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Mato de Turner N° 2079 - Lima  
• Central Telefónica (011) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico: sagperu@sagperu.com

Página 1 de 2

Cód. F: 005/Versión: 00/FE/04/2021



**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO  
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC. - IAS  
CON REGISTRO TL - 829



**INFORME DE ENSAYO N° 164913-2022  
CON VALOR OFICIAL**

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Agua residual	
Matriz analizada	Agua residual	
Fecha de muestreo	2022-08-12	
Hora de inicio del muestreo (h)	08:00	
Condiciones de la muestra	Preservada; Área: 10 000 mm <sup>2</sup>	
Código del Cliente	T-01FE	
Código del Laboratorio	22081001	
Taxa <sup>(1)</sup>	Estado	*Ensayo Cuantitativo de Parfiteo (Organismos (células o unidades)/mL)
<b>PHYLUM BACILLARIOPHYTA</b>		
Mitschia sp.		29161
Amphora sp.		22
Cyrtolite sp.		0
Epithemia sp.		2
<b>PHYLUM CHLOROPHYTA</b>		
Desmodesmus sp.		19
Microthumion sp.		14
Pandora sp.		351
Oedogonium sp.		20
Acutodesmus sp.		39
<b>PHYLUM CHANOBACTERIA</b>		
Chroococcus sp.		6
<b>LEPTOLYNGBYACEAE</b>		
<b>PHYLUM EUGLLENZOA</b>		
Euglena sp.		136
Phacus sp.		1
<b>PHYLUM CILIOPHYSA</b>		
ND	ND	60
<b>PHYLUM NEMATODA</b>		
ND	ND	1
<b>PHYLUM ROTIFERA: EUROTATONIA</b>		
Cephalodella sp.	ND	15
BDELLOIDEA	ND	1

\*El método indicado no ha sido acreditado por el INACAL-DA e IAS, en la matriz de Agua residual.  
<sup>(1)</sup> La identificación se realizará hasta el menor nivel taxonómico posible, dependiendo del estado de la muestra.  
**Nota 1:** «1 es equivalente a cero, lo que indica la no detección de Organismos (células o unidades)/mL»  
 ND: No determinado

Lima, 01 de Septiembre del 2022.

**EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU**

Ver: 005/VerSic02FE.04/2021

**RESERVACIONES:** • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras entregadas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para confirmar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagpera.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los colchales pueden ser procesados de acuerdo a ley.

**SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.**

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacaritas Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Tumar N° 2079 - Lima  
 • Central Telefónica (511) 425-8885 • Web: www.sagpera.com • Contacto Electrónico sagpera@sagpera.com

Página 2 de 2



Anexo 02. Recolección del *Azolla filiculoides* y toma de muestra para el Perifiton





**Anexo 03. Inoculación de la *Azolla filiculoides***



**Anexo 04. Medición de pH y Temperatura del efluente residual.**





**Anexo 05. Fotografías del proceso de recojo de muestras para el análisis en laboratorio.**



**Anexo 06: Análisis de los parámetros en el laboratorio de la UNAJMA.**





Anexo 07: Pesaje de *Azolla filiculoides* después del proceso fitorremediador.





## Glosario

Adventicia: “El término adventicia proviene del latín *adventicius*, que significa “venido de afuera, extraño”

Bifurcación: acción o resultado de bifurcar, que refiere a la partición de dos ramas (Pérez & Merino, Definición de bifurcación, 2022).

Cyanobacteria: “filo de organismos procariotas, autótrofos y unicelulares capaces de realizar la fotosíntesis oxigénica. Pertenecen al grupo de las bacterias gramnegativas y su nombre puede traducirse como ‘bacterias azules’, pues el prefijo ciano- hace referencia a su color azulado característico” (Álvarez, 2022).

Esporangio: “estructura en forma de saco que contiene esporas, puede estar sostenido por un pedúnculo o esporangióforo” (Plantas y hongos, s.f.).

Esporofito: “se llama esporófito a la fase diploide multicelular, la cual produce por meiosis esporas haploides (meiosporas), de cuyo desarrollo derivan individuos haploides, llamados gametófitos” (Química.es, 2022).

Gloquidios: “son espinas foliares delgadas, generalmente poco visibles, que poseen numerosas barbas retrorsas a lo largo y son deciduas, que se encuentran en las areolas de los cactus opuntioides. Conviven con las típicas espinas foliares de las cactáceas en la misma planta, que son más grandes, insertas más firmemente a la areóla y sin barbas” (Google Arts & Culture, 2020).

Másulas: “Tipo de dispersión de los granos de polen en los que aparecen en grandes grupos o masas. En algunos helechos (Salviales) material alveolar que rodea a las macrósporas y micrósporas que llega a endurecerse” (Plantas y hongos, s.f.).

Rizoma: “Tallo que crece por debajo de la tierra y en horizontal, considerado subterráneo al igual que bulbos o tubérculos, son capaces de almacenar nutrientes y funcionan como órganos de reserva para la planta cuando esta se enfrenta a condiciones extremas o de escasez de nutrientes. Además, al crecer horizontalmente también puede sostener a la planta” (Gonzales, 2021)

Rizósfera: “ecosistema terrestre más grande, es la parte del suelo próxima a las raíces de la planta, que se extiende concretamente entre 1 y 3 mm desde la superficie de las raíces al interior del suelo” (Márquez, 2021). g